

6144 62461

GOV. BIBLIOTHEK

DIE EKSEMPLAAR MAG ONDER
OMSTANDIGHEDE UIT DIE
BIBLIOTHEEK VERWYDER WORD NIE

University Free State



34300001920994

Universiteit Vrystaat

**GRONDVERSURING EN BEKALKING VAN OOS-
VRYSTAATSE GRONDE ONDER DROËLANDKORING**

deur

HENDRIK JOHANNES JAKOBUS VAN ZYL

'n Verhandeling ter vervulling van die graad

M.Sc. Agric

in die

**FAKULTEIT NATUUR- EN LANDBOUWETENSKAPPE
DEPARTEMENT GROND-, GEWAS- EN
KLIMAATWETENSKAPPE**

**UNIVERSITEIT VAN DIE VRYSTAAT
BLOEMFONTEIN**

April 2003

STUDIELEIER: Prof. C.C. du Preez

MEDESTUDIELEIER: Mnr. W.H. Kilian

Universiteit van Oos-
Oranje-Vrystaat
BLOEMFONTEIN

2 - DEC 2003

DOVS SAZOL BIBLIOTEK

INHOUDSOPGAWE

Erkenning en bedanking	i
Verklaring	ii
Opsomming	iii
Summary	v
Hoofstuk 1: Motivering en doel	
1.1 Motivering	1
1.2 Doel	5
Hoofstuk 2: Materiaal en Metodes	
2.1 Lokaliteite en gronde	6
2.2 Proefuitlegte en behandelings	10
2.2.1 Kalk	10
2.2.2 Kalkpeile vir inkubasieproewe	11
2.2.3 Kalkpeile vir veldproewe	12
2.3 Agronomiese praktyke	15
2.4 Metings	16
2.4.1 Grondontledings	16
2.4.2 Biomassa	17
2.4.3 Plantontledings	17
2.4.4 Graanopbrengs	18
2.4.5 Graankwaliteit	18
2.4.6 Dataverwerking	18
Hoofstuk 3: Effek van kalktoediening op sekere parameters van gronduurheid.	
3.1 Inleiding	19
3.2 Resultate en bespreking	23
3.2.1 Verwantskap tussen kalktoediening en parameters van gronduurheid	24
3.2.1.1 Inkubasieproewe	24
3.2.1.2 Veldproewe	26
3.2.1.2.1 Bogronde (0-200 mm)	26

3.2.1.2.2	Ondergrond (200-400 mm).....	29
3.2.1.3	Kalkbehoefte.....	31
3.2.1.4	Bekalkingsriglyne.....	33
3.2.2	Effek van kalktoediening op parameters van grondvrugbaarheid.....	38
3.2.2.1	Inkubasieproewe.....	38
3.2.2.2	Veldproewe.....	45
3.2.2.2.1	Bogronde (0-200 mm).....	45
3.2.2.2.2	Ondergronde (200-400 mm).....	51
3.2.3	Herversuring van gronde na bekalking.....	57
3.3	Gevolgtrekking	61

Hoofstuk 4: Effek van kalktoediening op die opbrengs, kwaliteit en ontwikkeling van koring.

4.1	Inleiding	63
4.2	Resultate en bespreking	67
4.2.1	Opbrengs	67
4.2.1.1	Kestell.....	68
4.2.1.2	Fouriesburg	70
4.2.1.3	Prinsloo.....	72
4.2.1.4	Melrose.....	74
4.2.2	Graanproteïen.....	80
4.2.2.1	Kestell.....	80
4.2.2.2	Fouriesburg	82
4.2.2.3	Prinsloo.....	84
4.2.2.4	Melrose.....	85
4.2.3	Hektolitermassa	86
4.2.3.1	Kestell.....	87
4.2.3.2	Fouriesburg	88
4.2.3.3	Prinsloo.....	89
4.2.4	Biomassa	90
4.2.4.1	Fouriesburg	90
4.2.4.2	Prinsloo.....	91
4.2.5	Voedingstofonttrekking.....	93

4.2.5.1	Fouriesburg	95
4.2.5.2	Prinsloo.....	97
4.3	Gevolgtrekking.....	99
Hoofstuk 5:	Samevatting en aanbevelings	101
Verwysings		106

Erkenning en bedankings

- Aan God al die eer.
- My vrou, Hendra vir haar ondersteuning en aanmoediging.
- My familie en vriende vir hulle belangstelling en ondersteuning.
- Dr. le Roux van die LNR-Kleingraaninstituut vir toestemming om data te gebruik vanuit die volgende projek: Die invloed van grondsuurheid op koringproduksie in die Oos-Vrystaat (07/04).
- LNR-Kleingraaninstituut en die Wintergraannavorsingstrust vir die befondsing van bogemelde projek.
- Prof. Chris du Preez vir sy kundigheid, hulp en leiding as studieleier, dit word opreg waardeer.
- Omnia Kunsmis Beperk vir hulle finansiële ondersteuning.
- Mnre. Willem Kilian en Willem Otto vir hulle hulp en tegniese ondersteuning tydens die uitvoering van die studie.
- Mev. Vicki Tolmay vir haar hulp met die versorging van literatuur verwysings.
- Mev. Marie Smith en die Biometriese Afdeling van die LNR vir hulle hulp met die statistiese verwerking van die data.
- Die Grondontledingslaboratorium van LNR-Kleingraaninstituut vir die ontleding van grondmonsters.
- Mev. Verna Wessels vir haar hulp met die tegniese versorging van die verhandeling.
- Die tegniese span van die Grondbestuur-afdeling by LNR-Kleingraaninstituut.

Verklaring

Ek verklaar dat die verhandeling wat hierby vir die graad M.Sc. Agric. aan die Universiteit van die Vrystaat deur my ingedien word, my selfstandige werk is en nie voorheen deur my vir 'n graad aan 'n ander universiteit/fakulteit ingedien is nie. Ek doen voorts afstand van outeursreg in die verhandeling ten gunste van die Universiteit van die Vrystaat.



Opsomming

Grondversuring en bekalking van Oos-Vrystaatse gronde onder droëlandkoring.

Die waarde van bekalking op landbougronde is wêreldwyd bevestig gedurende die afgelope eeu. Daarom word bekalking as 'n agro-ekonomiese praktyk wyd deur boere aanvaar, met 'n voordelige impak op volhoubare gewasproduksie vir die volgende generasie. Ten spyte van bogenoemde, is grondsuurheid nog 'n algemene opbrengsbeperkende faktor vir verskeie gewasse in die Vrystaat, Mpumalanga, Kwa-Zulu Natal en gedeeltes van die Wes-Kaap.

Weens bogenoemde redes is inkubasie- en veldproewe oor 'n aantal jare gedoen om die volgende te kwantifiseer na bekalking van verskeie Oos-Vrystaatse gronde: Eerstens, die verandering in grondsuurheidsparameters en tweedens, die groei en ontwikkeling van koringcultivars wat verskil in verdraagsaamheid teenoor aluminium (Al).

Bekalking het oor tyd die pH(KCl) betekenisvol verhoog en die persentasie suurversadiging (%SV) betekenisvol verlaag in die bo- (0-200 mm) en ondergrond (200-400mm) van al die lokaliteite. In die bogronde is daar 'n goeie korrelasie tussen pH(KCl) en %SV gekry. 'n Styging in pH(KCl) van 0.1 sal min of meer gepaard gaan met 'n daling van 5.5 in %SV. Die hoeveelheid kalk wat nodig was om die pH(KCl) te verhoog of die %SV te verlaag tot by 'n spesifieke vlak, het egter verskil tussen die verskillende lokaliteite, as gevolg van bufferkapasiteit. Aangesien pH(KCl) beter gekorreleer het met bekalking as %SV, is pH(KCl) as parameter gebruik vir die ontwikkeling van 'n model waarmee die kalkbehoefte van 'n grond bereken kan word: $Y = 8.3240X_1 - 0.0459X_2 - 1.0370$, waar Y =kalkbehoefte (ton ha⁻¹), X_1 = Δ pH(KCl) en X_2 =klei-inhoud (%).

By al die lokaliteite het die goeie Al-verdraagsame cultivar betekenisvol hoër opbrengste as die medium en swak Al-verdraagsame cultivars gegee, wanneer geen kalk toegedien is nie. Op die onbekalkte gronde het die goeie Al-verdraagsame cultivar 'n ekonomiese opbrengs gegee, wat nie die geval met die medium en swak Al-verdraagsame cultivars was nie. Die medium en swak Al-verdraagsame cultivars het dus goed op bekalking gereageer met opbrengsverhogings van tot 90%. Die goeie, medium en swak Al-verdraagsame cultivars het 'n opbrengsafname van 15% getoon by %SV-vlakke van onderskeidelik 30, 10 en 8. Aangesien %SV beter as pH(KCl) met opbrengs gekorreleer het, kan daar dus moontlik bekalk word tot by die vereiste %SV van 'n cultivar.

Verskille in Al-verdraagsaamheid tussen cultivars bring egter mee dat die optimum ekonomiese kalkpeil tussen cultivars sal verskil. Die optimum kalkpeil van die cultivar met goeie Al-verdraagsaamheid was die laagste, gevolg deur die medium en swak Al-verdraagsame cultivars.

Bekalking van suurgronde het 'n duur praktyk geword vir boere, wat gelei het tot die plant van Al-verdraagsame cultivars om die grondsuurheidsprobleem te oorbrug. Gedurende die periode het die gronde stadig agteruit gegaan, met 'n verlies aan opbrengs en inkomste per hektaar. Die resultate van die studie dui duidelik die ekonomiese waarde van bekalking vir koringproduksie aan.

Summary

Soil acidification and liming of Eastern Free State soils under dryland wheat.

The value of liming of agricultural land has been demonstrated all over the world during the past century. Therefore liming as an agro-economical practice has been adopted widely by farmers with a beneficial impact on sustainable crop production for future generations. However, soil acidity is still a common yield limiting factor for a variety of crops in the Free State, Mpumalanga, KwaZulu-Natal and parts of the Western Cape.

Due to above mentioned reasons incubation and field experiments were conducted over several years to quantify the following after liming of various Eastern Free State soils. Firstly, the changes in soil acidity parameters and secondly, the growth and development of wheat cultivars that differ in tolerance to aluminium (Al).

Over time liming increased the pH(KCl) and decreased the percentage acid saturation (%AS) significantly in the top- (0-200mm) and subsoil (200-400mm) of all the localities. In the topsoils a good correlation was obtained between pH(KCl) and %AS. An increase in pH(KCl) of 0.1 will more or less be concomitant with a decrease of 5.5 in %AS. The amount of lime needed to raise the pH(KCl) or to lower the %AS up to a specific level, differed between the localities because of buffer capacity. Since pH(KCl) showed a better correlation with lime than %AS, it was decided to use pH(KCl) as parameter to develop a model with which the lime requirement of a soil can be calculated: $Y = 8.3240X_1 - 0.0459X_2 - 1.0370$, where Y = lime requirement (ton ha^{-1}), $X_1 = \Delta\text{pH(KCl)}$ and $X_2 = \text{clay content (\%)}$

At all localities the good Al-tolerant cultivar gave significant higher yields than the medium and poor Al-tolerant cultivars. When no lime was applied on the unlimed soils the good Al-tolerant cultivar produced economical yields, which

was not the case with the medium and poor Al-tolerant cultivars. The medium and poor Al-tolerant cultivars responded therefore very well to liming with yield increases up to 90%. The good, medium and poor Al-tolerant cultivars showed a yield decrease of 15% at an %AS of 30, 10 and 8, respectively. Considering that %AS correlated better with yield than pH(KCl), liming to the required %AS of a cultivar is a possibility.

Differences in Al-tolerance between cultivars resulted in that the optimum economic lime levels differ between cultivars. The optimum lime level of the cultivar with good Al-tolerance was the lowest, followed by the medium and poor Al-tolerant cultivars.

Liming of acid soil has become an expensive practice for farmers, which led to the adoption of planting Al-tolerant cultivars to bridge the soil acidity problem. During this process soils has slowly started to deteriorate with an accompanying lost of yield and income per hectare. The results of this study clearly indicate the economical value of liming acid soils for wheat production.

Key words: aluminium tolerance, grain quality, grain yield, lime requirement, nutrient uptake, wheat cultivars.

HOOFSTUK 1

MOTIVERING EN DOEL

1.1 Motivering

Grondsuurheid word wêreldwyd erken as een van dié grootste produksiebeperkende faktore in gewasverbouing (Adams, 1984; Foy, 1988; Sumner, 2001). Versuring van grond is 'n natuurlike proses wat deur menslike aktiwiteite versnel word. Logging van basiskatione in hoër reënvalstreke, verwydering van sulke katione deur gewasse, die versnelde afbraak van organiese materiaal deur bewerking en die gebruik van suurvormende kunsmisstowwe, veral ammoniumbevattende produkte is enkele faktore wat bydra tot die ontstaan van suurgronde (Tisdale *et al.*, 1993).

Die totale hoeveelheid bogrond in die wêreld wat versuur is, word deur Von Uexküll & Mutert (1995) op 3 950 miljoen ha geraam. Dit verteenwoordig ongeveer 30% van die ysvrye aardoppervlakte. Suid-Afrika het ook nie die grondsuurheidsprobleem vrygespring nie. Volgens Venter *et al.* (2001) kom grondsuurheidsprobleme veral in die hoër reënvalgebied van Suid-Afrika voor, waar nagenoeg 5 miljoen ha bogrond ernstig versuur is en 'n verdere 11 miljoen ha matig versuur is. Daar word geraam dat 37% van die gronde in die somerreënvalgebied wat vir gewasverbouing aangewend word, tot 'n sekere mate versuur is. In die winterreënvalgebied beslaan suurgronde ongeveer 60% van die oppervlakte, wat vir gewasverbouing aangewend word.

Die klimaat en gronde van die Oos-Vrystaat maak die omgewing by uitstek geskik vir koringverbouing. Grondsuurheid verhoed maksimum benutting van water en voedingstowwe, en beperk dikwels die opbrengste van koring en ander gewasse in die gebied. Bosch & Otto (1995) beweer dat die oppervlakte van suurgronde ($\text{pH} < 4,5$) ongeveer 365 000 ha uitmaak in die Oos-Vrystaat en 134 000 ha in die ander koringproduserende streke van Suid-Afrika. Ongeveer 'n derde van die grondmonsters wat in 1997 deur die

grondontledingslaboratorium van die LNR-Kleingraaninstituut by Bethlehem ontleed is, het 'n pH(KCl) van 4.5 of laer en 'n suurversadiging van 8% of hoër gehad. 'n pH(KCl) laer as 4.5 en 'n suurversadiging groter as 8% word algemeen as die minimum aanvaarde grondsuurheidsvlakke vir koringverbouing beskou (Anon, 2001).

Versuring van grond kan tot gevolg hê dat die pH(H₂O) laer as 5.5 (pH(KCl) ~ 4.5) daal, waartydens groot hoeveelhede Al in oplossing kom en potensieel toksies is vir plante (Foy, 1976; Westerman, 1987; Wright, 1989). Aangesien Al 'n bestanddeel van kleiminerale is, is toksisiteit daarom teoreties moontlik in die meeste, indien nie alle gronde nie. Aluminium wat in kleiminerale voorkom, kan tydens die verwerking 'n reeks van hidrolitiese reaksies ondergaan, waartydens H⁺ geproduseer word en 'n verlaging in die grond-pH sal bewerkstellig (Tan, 1993). 'n Verdere daling in die pH kan die hoeveelheid Al in die grondoplossing drasties verhoog deurdat H⁺ die Al³⁺ in die oktahedrale laag van kleiminerale verplaas (Tan, 1993). Die Al in die grondoplossing kan aan 'n wye reeks van reaksies in die grond deelneem. 'n Gedeelte kan met fosfate, molibdaat of hidroksied reageer om die nie-uitruilbare fraksie in die grond te vorm, terwyl die oorblywende Al aan plantvoedingsreaksies kan deelneem.

By lae pH-toestande word plantegroei geïnhibeer deur hoë konsentrasies van Al, Mn en H. Toksisiteit van die bogenoemde elemente word algemeen aanvaar as 'n opbrengsbeperkende faktor in gewasproduksie (Ritchie, 1989). Volgens Westerman (1987), Foy (1988) en Wright (1989) is opgeloste Al die belangrikste groeibeperkende faktor by 'n pH (H₂O) laer as 5. Tekorte aan essensiële plantvoedingselemente, veral Ca, Mg, P en Mo kom ook dikwels onder die toestande voor (Barnard, 1979; Foy, 1984; Haynes, 1984). Probleme geassosieer met suurgronde is gewoonlik gekoppel aan die indirekte effekte van pH op plantwortelgroei en voedingselementopname.

Bekalking word wêreldwyd gebruik om grondsuurheid effektief op te hef en opbrengste op suurgronde te verbeter (Adams, 1984). Histories gesproke is daar hoofsaaklik bekalk, om die maklik bereikbare suurheid in die bogrond (0-

300 mm) te neutraliseer. Haynes (1984), beklemtoon ook die belangrikheid om ondergrondsuurheid op te hef. Wat ondergrondsuurheid ook meer aktueel maak, is die feit dat dit in lande voorkom wat sukkel om selfvoorsienend te wees ten opsigte van voedselproduksie. Farina & Channon (1988a) het voorgestel dat bekalking, gekombineer met diep bewerking effektief kan wees, maar dat enorme trekkrag vereis word. Die beskikbaarheid van hoë trekkrag is oor die algemeen ook beperk in ontwikkelende lande. Heelwat werk is daarom gedoen oor die effektiwiteit van gips vir die opheffing van ondergrondsuurheid in hoogsverweerde gronde (Shainberg *et al.*, 1989; McCray & Sumner, 1990; Farina *et al.*, 2000). Dit word dan vandag algemeen aanvaar dat gips die nadele van ondergrondsuurheid tot 'n mate kan teenwerk.

Dit is duidelik dat die omvang en die intensiteit van die grondsuurheidsprobleem, rampspoedige gevolge vir die koringbedryf in die Suid-Afrika, maar veral die Oos-Vrystaat kan inhou. Suid-Afrika produseer jaarliks sowat 2.3 miljoen ton koring, terwyl die verbruik ongeveer 2.5 miljoen ton beloop (Abstract of Agricultural Statistics, 2002). Die grootste gedeelte van die koring word in gebiede waar grondsuurheid algemeen voorkom geproduseer. Om die nadelige gevolge van grondsuurheid op koringproduksie tot die minimum te beperk, is 'n deeglike begrip van die grond-plant verwantskappe by lae grond-pH dus noodsaaklik om effektiewe bestuur op suurgronde te verseker.

Die belangrikste bestuursopsie om die grondsuurheidsprobleem te oorkom, is 'n goed beplande langtermyn bekalkingsprogram. Aangesien koringcultivars verskil in Al-verdraagsaamheid, kan cultivarkeuse ook 'n belangrike rol vervul om die nadelige effek van grondsuurheid oor die korttermyn te bestuur. Verskeie navorsers beklemtoon die voordele van aluminiumverdraagsame koringcultivars op suurgronde (Lafever *et al.*, 1977; Carver *et al.*, 1988; Knobel, 1991; Ruiz-torres *et al.*, 1992; Carver & Ownby, 1995; Bosch *et al.*, 1996a; Bosch *et al.*, 1996b; Scott *et al.*, 1997). Sekere Suid-Afrikaanse koringcultivars is byvoorbeeld, uiters gevoelig vir suurgronde met hoë konsentrasies van Al. Bosch *et al.* (1996a) het opbrengsverskille van tot 87%

gerapporteer waar die swak aluminiumverdraagsame cultivar, Karee op onderskeidelik bekalkte en onbekalkte gronde geplant is. Hy het ook gevind dat die cultivar Betta, wat ook swak verdraagsaam is, se opbrengs met 72% afgeneem het wanneer 'n grond se pH(KCl) vanaf 4.4 tot 3.8 gedaal en die suurversadiging van 11.6 tot 32.5% gestyg het. Die kombinerings van bekalking en aluminiumverdraagsame cultivars kan dus in die toekoms 'n sterker ekonomiese oorweging vir graanprodusente word.

Dit is algemeen bekend dat die verskillende metodes van kalkbehoeftebepaling van mekaar verskil en dus daartoe kan lei dat aanbevelings oor die hoeveelheid kalk wat toegedien moet word varieer. Die gevolg hiervan is dat na bekalking, die grondsuurheidstatus en dus die plantreaksie kan wissel na gelang van die metode wat gebruik is. Sover bekend neem nie een van die bestaande metodes van kalkbehoeftebepaling die plantreaksie van koring in aanmerking nie. Daar is genoegsame aanduidings dat koringcultivars nie dieselfde op verskillende gronde met dieselfde grondsuurheidstatus reageer nie (Knobel, 1991; Bosch *et al.*, 1996a), waarskynlik as gevolg van ander chemiese en ook fisiese verskille. Farina *et al.* (1981) rapporteer byvoorbeeld dat by dieselfde vlak van suurversadiging gronde met 'n lae organiese materiaalinhoud 'n hoër pH het as gronde met 'n hoër organiese materiaalinhoud. Volgens Westerman (1987) neem die voorkoms van grondsuurheid toe, namate die opbrengs toeneem omrede die onttrekking van basiskatione hoër is. Die aanplant van Al-verdraagsame koringcultivars op suurgronde kan dus met hoër opbrengste die probleem vererger.

'n Onderzoek was dus noodsaaklik om die reaksie van koringcultivars wat verskil in Al-verdraagsaamheid op Oos-Vrystaatse suurgronde na bekalking te kwantifiseer. Sulke inligting is noodsaaklik vir aanpassings aan produksiestelsels, ten einde volhoubaar op die gronde te boer. Voorkoming van die agteruitgang van die nie-hernubare hulpbron grond, is noodsaaklik om te verseker dat voedselproduksie sal kan byhou by die populasiegroei.

1.2 Doel

Die hoofdoel met hierdie ondersoek was om die verandering van gronduurheidsparameters en die opbrengs van koring, wat na bekalking voorkom, te kwantifiseer. Die volgende subdoelwitte is nagestreef:

1. Om die verwantskap tussen kalktoediening en parameters van gronduurheid onder inkubasie en veldtoestande te ondersoek.
2. Om 'n vergelyking te tref tussen inkubasiekalkbehoefte, laboratoriumkalkbehoefte en veldkalkbehoefte.
3. Om bekalkingsriglyne te ontwikkel vir die Oos-Vrystaat wat gebaseer is op eenvoudige parameters van grondchemiese en fisiese toestand.
4. Om die tempo van herversuring na bekalking te kwantifiseer.
5. Om die effek van kalktoediening op die opbrengs, kwaliteit, ontwikkeling en voedingstofonttrekking van koring te bepaal.

HOOFSTUK 2

MATERIAAL EN METODES

2.1 Lokaliteite en gronde

Vier lokaliteite is in die Oos-Vrystaat vir die ondersoek geselekteer, naamlik een elk naby Kestell en Fouriesburg, en twee naby Harrismith waarna as Prinsloo en Melrose verwys sal word. Die Kestell ($28^{\circ}15'33.3''\text{S}$; $28^{\circ}35'36.3''\text{O}$, 1798 m hoog) en Fouriesburg ($28^{\circ}37'51.0''\text{S}$; $28^{\circ}12'19.7''\text{O}$, 1781 m hoog) lokaliteite is onderskeidelik ongeveer 55 km oos en 60 km suidwes van Bethlehem geleë, terwyl die Prinsloo ($28^{\circ}28'7.5''\text{S}$; $29^{\circ}10'33.3''\text{O}$, 1729 m hoog) en Melrose ($28^{\circ}27'55.6''\text{S}$; $29^{\circ}10'51.1''\text{O}$, 1748 m hoog) lokaliteite beide ongeveer 110 km oos van Bethlehem geleë is.

Hierdie vier lokaliteite is gekies na aanleiding van die gronde se lae pH's en/of hoë suurversadigings. Die organiese materiaal- en klei-inhoud van die gronde is ook in aanmerking geneem om variasie te verseker, aangesien die kalkbehoefte volgens Haumann & Volschenk, (1979b) en Aitken *et al.* (1990) beide deur dié twee eienskappe beïnvloed word.

By drie van die vier lokaliteite, naamlik Kestell, Prinsloo en Melrose is die grond as 'n Avalonvorm (Ortiese A/ Geelbruin apedale B/ Sagte plintiese B) geklassifiseer (Grondklassifikasiewerkgroep, 1991). Die grond by Fouriesburg is as 'n Bainsvleivorm (Ortiese A/ Rooi apedale B/ Sagte plintiese B) geklassifiseer. Dus wat betref die horisonopeenvolging, verskil die twee grondvorme slegs ten opsigte van die kleur van die apedale B horison. Ten spyte hiervan is daar 'n groot variasie in die fisiese (Tabel 2.1) en chemiese (Tabel 2.2) eienskappe van die gronde by die vier lokaliteite. By al vier die lokaliteite was die bogrond se pH(KCl) laer as 4.5 en die suurversadiging hoër as 8% wat as drumpelwaardes vir koringverbouing beskou word (Anon., 2001).

Die bogrond van die vier lokaliteite is vir inkubasieproewe in die laboratorium gebruik in 1996, terwyl daar veldproewe by al die lokaliteite gedoen is in 1996,

Tabel 2.1 Morfologiese- en fisiese eienskappe van die gronde by die vier lokaliteite.

Eienskappe	Kestell	Fouriesburg	Prinsloo	Melrose
Grondvorm	Avalon	Bainsvlei	Avalon	Avalon
Grondfamilie	Mafikeng	Brandkraal	Vryheid	Avondale
Diepte van horisonte				
Ortiese A	0-200 mm	0-300 mm	0-200 mm	0-200 mm
Geelbruin of rooi apedale B	200-450 mm	300-800 mm	200-400 mm	200-600 mm
Sagte plintiese B	450-650 mm	800-1200 mm	400-700 mm	600-1000 mm
Tekstuurklas				
Ortiese A	Leemsand	Sandleem	Sandleem	Kleileem
Geelbruin of rooi apedale B	Sandleem	Sandleem	Sandkleileem	Leem
Sagte plintiese B	Sandkleileem	Leem	Sandkleileem	Kleileem
Klei: < 0.002 mm (%)				
Ortiese A	7.7	13.4	18.4	33.0
Geelbruin of rooi apedale B	15.8	15.0	30.5	25.9
Sagte plintiese B	24.4	18.0	27.7	31.7
Slik: 0.002-0.05 mm (%)				
Ortiese A	10.1	19.2	25.1	26.0
Geelbruin of rooi apedale B	14.3	23.7	21.2	38.7
Sagte plintiese B	20.8	35.5	24.6	26.8
Sand: 0.05-2.0 mm (%)				
Ortiese A	82.2	67.4	56.5	41.0
Geelbruin of rooi apedale B	69.9	61.3	48.3	35.4
Sagte plintiese B	54.8	46.5	47.7	41.5
Kleurmatriks van B1-horison*				
Droog	7.5 YR 4/6	5 YR 4/6	10 YR 5/3	7.5 YR 5/4
Nat	7.5 YR 3/2	5 YR 3/4	10 YR 3/3	7.5 YR 3/2

*Munsell, 1975

Tabel 2.2 Chemiese eienskappe van die bogronde (0-200 mm) by die vier lokaliteite voor die toepassing van enige behandeling.

Parameter	Kestell	Fouriesburg	Prinsloo	Melrose
pH (KCl)	4.1	3.6	3.5	3.7
P (mg kg ⁻¹)	38.2	62.2	10.0	12.7
K (mg kg ⁻¹)	117.7	127.6	92.2	130.8
Ca (mg kg ⁻¹)	96.8	119.4	287.3	463.2
Mg (mg kg ⁻¹)	25.6	14.42	80.7	149.5
Na (mg kg ⁻¹)	0.1	2.0	9.9	4.0
Uitruilbare suurheid (cmol _c kg ⁻¹)	0.7	1.1	1.9	2.0
Suurversadiging (%)	41.3	51.2	44.4	34.0
Koolstof (%)	0.3	0.5	1.1	2.5

Fosfor en katione is met Ambic bepaal (The Non-affiliated Soil Analysis Work Committee, 1990).

1998 en 1999, en slegs by Kestell en Fouriesburg in 2000. Daar is geen veldproewe in 1997 aangeplant nie weens 'n tekort aan personeel.

Die reënval vir die vier proefjare, naamlik 1996, 1998, 1999 en 2000 asook die langtermyn gemiddelde reënval by elk van die lokaliteite word in Tabel 2.3 gegee. Beide die reënval en verspreiding daarvan het gewissel tussen die jare, wat 'n drastiese verskil in opbrengs tot gevolg gehad het. Gedurende 1999 was die jaarliks reënval by al die lokaliteite laer as die langtermyn gemiddelde reënval. Die reënvalverspreiding gedurende dié jaar was ook nie goed nie, met die meeste reën wat aan die einde van die jaar geval het. Die lae reënval en wisselvallige verspreiding het aanleiding gegee tot laer opbrengste, met 'n gevolglike swak reaksie op kalkbehandelings in 1999.

Tabel 2.3 Reënvalgegewens van die naaste weerstasies aan die lokaliteite.

Lokaliteit	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Tot
Kestell													
1996	166	113	59	59	22	0	28	37	31	62	127	89	793
1998	48	98	127	6	0	0	0	0	26	48	247	96	696
1999	118	35	63	28	46	9	2	0	0	64	21	170	556
2000	154	171	65	42	51	8	0	0	29	116	81	63	780
LTGR*	108	86	76	49	24	8	10	16	30	77	87	95	666
Fouriesburg													
1996	132	105	49	38	33	0	115	22	39	140	146	100	919
1998	144	97	133	7	5	0	0	0	13	52	302	138	891
1999	74	59	61	15	45	13	2	0	5	42	23	183	522
2000	147	134	86	61	50	13	0	0	36	109	87	113	836
LTGR*	131	112	98	65	29	11	10	15	23	81	116	97	788
Harrismith													
1996	119	197	47	30	19	0	24	17	29	144	71	127	824
1998	182	123	95	13	0	0	0	0	56	54	196	127	846
1999	94	78	107	32	24	7	0	0	1	21	93	154	611
LTGR*	133	106	94	22	12	5	6	12	38	71	135	116	750

*Langtermyn gemiddelde reënval.

2.2 Proefuitlegte en behandelings

2.2.1 Kalk

Normaalweg word kalsiumkarbonaat met 'n 100% neutraliseringswaarde as bekalkingsbron gebruik in inkubasiestudies. In die geval, is landboukalk afkomstig vanaf Immerpan (Tabel 2.4) vir die inkubasie- sowel as die veldproewe gebruik. Die doel hiervan was om met die inkubasieproewe "akkurate" kalkbehoefte vir veldtoediening te bepaal ten einde verskillende vlakke van grondsuurheid by elke lokaliteit te skep.

Veldproewe om die reaktiwiteit van kalk te toets, kan heel moontlik verskillende resultate met inkubasieproewe in die laboratorium oplewer, soos wat bemestingsproewe in 'n glashuis dikwels slegs die voorloper vir 'n veldproewe is (Warman *et al.*, 2000). In laboratoriumproewe word ideale toestande geskep vir kalkreaksie. Sulke toestande kom egter selde of nooit in die veld voor nie. Twee van die mees kritiese aspekte van effektiewe neutralisering van grondsuurheid deur 'n kalkbron, is optimale grondwaterinhoud en deeglike vermenging wat dikwels nie in die veld voorkom nie.

Tabel 2.4 Kwaliteitseienskappe van die kalkbron wat vir die inkubasie- en veldproewe gebruik is.

Parameter	%
Kalsiumkarbonaatekwivalent (Hars)	75.30
Kalsiumkarbonaatekwivalent (HCl)	79.68
Kalsium	14.57
Magnesium	10.94
Sif <1 mm	91.66
Sif <0.6 mm	88.68
Sif <0.25 mm	83.04
Sif <0.106 mm	81.66
Sif <0.053 mm	76.50

2.2.2 Kalkpeile vir inkubasieproewe

Vanaf elk van die vier lokaliteite is slegs die bogrond (0-200 mm) vir die inkubasieproewe gebruik. Die grond is toegelaat om lugdroog te word, waarna dit gesif is met 'n 2 mm sif. Daarna is 200 g van die lugdroëgrond afgeweg in plastiekflesse. Die korrekte hoeveelheid kalk, soos getoon in Tabel 2.5 is bygevoeg en deeglik met die grond gemeng. Daarna is die grond tot by veldwaterkapasiteit benat en vir vier weke by $\pm 16^{\circ}\text{C}$ geïnkubeer. Na inkubasie is die grond toegelaat om lugdroog te word vir ontledings (Kyk afdeling 2.4.1). 'n Volledige ewekansige blokontwerp is per lokaliteit tydens die uitvoering van die inkubasieproewe gebruik om die verskillende kalkbehandelings met mekaar te vergelyk. Elke behandeling is drie keer herhaal.

Tabel 2.5 Kalkpeile wat vir die inkubasieproewe gebruik is.

Behandeling	Kalkpeil	
	ton ha ⁻¹	*g 200 g ⁻¹
1	0	0
2	0.75	0.07
3	1.50	0.13
4	2.25	0.20
5	3.00	0.27
6	3.75	0.33
7	4.50	0.40
8	5.25	0.47
9	6.00	0.53
10	6.75	0.60
11	7.50	0.67

*Gebaseer op 'n brutodigtheid van 1500 kg m⁻³ en 'n bewerkingsdiepte van 150 mm.

2.2.3 Kalkpeile vir veldproewe

Die proewe is by al vier lokaliteite uitgelê as 'n verdeelde perseel ontwerp om die behandelings met mekaar te vergelyk. Die verskillende grondsuurheidsvlakke (hoofbehandelings) is binne elke blok (herhaling) gerandomiseer, terwyl die cultivars (subbehandelings) binne elke grondsuurheidsvlak gerandomiseer is. Elke behandeling is vier keer herhaal (blokke) op 'n ewekansige basis.

Soos reeds gemeld, is die vier lokaliteite geselekteer na aanleiding van die gronde se lae pH's en/of hoë suurversadigings, sodat verskillende grondsuurheidsvlakke geskep kon word. Die oogmerk was ses verskillende grondsuurheidsvlakke vir elke lokaliteit, insluitende 'n 0% suurversadiging. Die hoeveelheid kalk wat hiervoor nodig was, is afgelei vanaf die verwantskappe wat tussen kalktoedienings en pH(KCl) of suurversadiging in die inkubasieproewe vasgestel is (Tabel 2.6). In die proewe het die hoogste kalktoediening van 7.5 ton ha^{-1} nie tot 'n 0% suurversadiging by die gronde van Prinsloo en Melrose gelei nie. Daarom is daar arbitêr op 'n hoogste kalkpeil van 15 ton ha^{-1} by Prinsloo en 20 ton ha^{-1} by Melrose vir die veldproewe besluit.

Ten einde die beoogde grondsuurheidsvlakke betyds vir die 1996 koringseisoen te skep, is die korrekte hoeveelheid kalk ten minste twee maande voor plant, eweredig met die hand op elke perseel uitgestrooi. Daarna is die kalk met 'n tweerigtingskotteleg tot op 'n diepte van 100 mm ingewerk.

Aangesien herversuring sedert die aanvanklike toediening van die kalk in 1996 plaasgevind het, moes die grondsuurheidsvlakke in 1998 by al vier die lokaliteite en in 1999 by Kestell en Fouriesburg weer reggestel word. Die hoeveelheid kalk wat hiervoor nodig was, is vir elke perseel individueel bereken omdat, die suurheidsvlakke van die persele vir 'n spesifieke kalkpeil op daardie stadium effens verskil het. Daar is soos volg te werk gegaan om die kalkbehoefte van 'n perseel te bereken:

$[(\text{teiken pH} - \text{huidige pH})/c]$, waar c die helling (Kestell=0.000178; Fouriesburg=0.000147; Prinsloo=0.0000582; Melrose=0.0000582) van die verwantskap tussen kalktoediening en pH(KCl) tydens inkubasie is. Die teiken pH's by elk van die lokaliteite word in Tabel 2.7 opgesom.

Tabel 2.7 Teiken pH(KCl)-waardes waarvoor in 1998 en 1999 gemik is.

Kalkpeil	Kestell	Fouriesburg	Prinsloo	Melrose
L1	4.0	3.8	3.9	3.9
L2	4.1	3.9	4.2	4.0
L3	4.4	4.1	4.4	4.2
L4	4.7	4.3	4.6	4.4
L5	5.0	4.5	5.0	4.8
L6	5.5	5.6	5.5	5

Net soos in 1996 is die korrekte hoeveelheid kalk ten minste twee maande voor plant, eweredig met die hand op elke perseel uitgestrooi en met 'n tweerigtingskotteleg tot op 'n diepte van 100 mm ingewerk. Dit is egter belangrik om te meld dat daar in 1998 geen addisionele kalk aan die L1 en L2 persele toegedien is nie. Indien die kalkbehoefte van die L3 tot L6 persele laer as 0.5 ton ha^{-1} was, is ook geen addisionele kalk toegedien nie.

Aluminiumverdraagsaamheid van koringcultivars word gewoonlik in die laboratorium bepaal aan die hand van 'n kleuringstoets (Polle *et al.*, 1978). Op grond hiervan is die cultivars Tugela-DN, SST 124 en Karee in 1996 geplant. Ongelukkig is van die cultivars uitgefaseer en moes daar Tugela-DN, Gariep en Limpopo in die 1998, 1999 en 2000 aangeplant word. Hierdie vyf cultivars wat almal goed aangepas is vir omstandighede in die Oos-Vrystaat, se Al-verdraagsaamheid word in Tabel 2.8 gegee. Die planttyd-spektrum oorvleuel ook, sodat die aanplantings by die onderskeie lokaliteite op dieselfde dag kon geskied.

Tabel 2.6 Aanvanklike bekalkingspeile en teikensuurheidsvlakke by die onderskeie lokaliteite.

Kalkkpeil	Kestell			Fouriesburg			Prinsloo			Melrose		
	ton ha ⁻¹	pH(KCl)	%SV	ton ha ⁻¹	pH(KCl)	%SV	ton ha ⁻¹	pH(KCl)	%SV	ton ha ⁻¹	pH(KCl)	%SV
L1	0	3.58	45	0	3.37	52	0	3.5	40	0	3.4	40
L2	0.4	3.8	37	0.8	3.5	35	1.5	3.6	33	0.8	3.45	36
L3	1.1	3.95	21	1.9	3.8	19	3.4	3.85	20	2.7	3.7	20
L4	1.9	4.35	7	3	4.2	6	5.3	4.05	10	4.5	4.1	7
L5	3	4.95	0	4.2	4.5	3	7.5	4.4	2	9	4.5	2
L6	4.9	5.6	0	7.5	5.6	0	15	5.0	0	20	5	0

Tabel 2.8 Aluminiumverdraagsaamheid van die vyf koringcultivars wat aangeplant is.

Cultivar	Verdraagsaamheid
Tugela-DN	Goed
SST 124	Medium
Gariep	Medium
Limpopo	Swak
Karee	Swak

2.3 Agronomiese praktyke

Alle grondbewerkings is deur die Kleingraaninstituut self gedoen. Bewerkings is deurgaans dieselfde gehou by al vier die lokaliteite. In 1996 is al die lokaliteite eers diep bewerk om moontlike verdigting uit te skakel. Soos reeds gemeld, is die kalk ten minste twee maande voor plant breedwerpig op die persele uitgestrooi en ingesny met 'n tweerigtigskottelsnyeg, waarna elke jaar geploeg is. Net voor plant, is 'n vlak bewerking vir finale saadbedvoorbereiding gedoen.

Die hoofpersele wat bekalk is, was 21 m lank en 3 m breed. In elk van hierdie hoofpersele is drie cultivars in subpersele met 'n Gaspardo-proefplanter aangeplant. Hierdie subpersele het bestaan uit ses rye, elk vyf meter lank en met 'n 400 mm tussenryspasiëring. Die twee buitekantse rye het as kantrye gedien en die totale oppervlakte wat geoes is, was agt vierkante meter.

Die proewe is in 1996, 1999 en 2000 gedurende Julie en in 1998, gedurende Augustus aangeplant (Tabel 2.9). Hierdie plantdatums val binne die aanbevole planttye vir al die cultivars. Die binneryspasiëring is 50 mm en die rywydte 400 mm, wat 'n plantdigtheid van ongeveer 20 kg ha⁻¹ meebring.

Tydens plant is 'n 3:1:0(28) kunsmismengsel teen 190 kg ha⁻¹, ongeveer 80 mm onder die saad gebandplaas. Hierdie bandplasing was ekwivalent aan ongeveer 40 kg N ha⁻¹ en 13 kg P ha⁻¹.

Tabel 2.9 Planttye vir die vier proefjare.

Jaar	Planttyd
1996	23-31 Julie
1998	6-13 Augustus
1999	2-7 Julie
2000	11-12 Julie

Die cultivars SST 124 en Karee is nie bestand teen Russiese koringluis nie, wat beheer van die plaag tydens die 1996 proefjaar genoodsaak het. Die cultivars Tugela-DN, Gariep, Limpopo en Elands is almal bestand teen Russiese koringluis. Nogtans is die saad voorkomend ook met Gaucho[®], 'n produk wat geregistreer is vir die beheer van Russiese koringluis behandel. Voorkomende geelroesbespuitings met Folicur[®] is slegs gedurende 1998 uitgevoer. Die nodige onkruidbeheermaatreëls is met verloop van elke seisoen toegepas.

2.4 Metings

2.4.1 Grondontledings

Boggrondmonsters (0-200 mm) en ondergrondmonsters (200-400 mm) is verskeie kere gedurende die vier proefjare geneem soos getoon in Tabel 2.10. Daar is van elke subperseel boggrondmonsters geneem, terwyl die ondergrondmonsters slegs van elke hoofperseel geneem is. By elk van die persele is drie submonsters met 'n Edelmangrondboor geneem en goed gemeng om 'n verteenwoordigende monster te verkry. Die grondmonsters is toegelaat om lugdroog te word, waarna dit gemaal en gestoor is vir ontleding.

Grondmonsters van die inkubasie- en veldproewe is met standaard metodes (The Non-affiliated Soil Analysis Work Committee, 1990) ontleed vir pH (1:2.5 grond tot KCl suspensie), ekstraheerbare P (Bray 1), uitruilbare katione Ca, Mg, K en Na ($1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NH}_4\text{OAc}$) asook uitruilbare suurheid ($1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ KCl}$). Die persentasie suurversadiging (%SV), kationuitruilkapasiteit (KUK) en kationverhoudings van elke monster is soos volg bereken, met alle

waardes in $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$: $\%SV = US/(KUK)$, $KUK = K+Ca+Mg+Na+US$, Ca/Mg , Mg/K , $(Ca+Mg)/K$.

Tabel 2.10 Stadiums van grondmonsterneming.

Stadium van trekking	Bogronnd (0-200 mm)	Ondergrond (200-400 mm)
Met plant 1996	✓	✓
Na oes 1998	✓	×
Met plant 1998	✓	✓
Na oes 1998	✓	×
Met plant 1999	✓	✓
Na oes 1999	✓	×
Met plant 2000	✓	✓
Na oes 2000	✓	×

✓ Monsters getrek × Geen monsters getrek

2.4.2 Biomassa

Biomassa is op groeistadium 15 (Joubert, 1974) bepaal. 'n Oppervlakte van 0.2 m^2 is ewekansig gemonster vir die bepalings. Die plante is gedroog by $\pm 70^\circ\text{C}$, waarna die droëmassa bepaal is en uitgedruk is in g m^{-2} . Alle monsters is deurgaans dieselfde hanteer.

2.4.3 Plantontledings

Plantontledings is op elke behandelingskombinasie op groeistadium 15, dit wil sê met vlagblaarverskyning in 1998 en 1999 op plante van die Fouriesburg en Prinsloo lokaliteite uitgevoer. Nadat die biomassa bepaal is, is die plantmonsters gemaal met 'n plantmeule, sodat die materiaal deur 'n 1 mm sif kon gaan. Daarna is die monsters verteer met 'n kombinasie van salpetersuur en perchloriedsuur, volgens die metode van Zasoski & Burau (1977). Die Ca, Mg en Mn in die oplossing is bepaal met 'n atoomabsorpsie-spektrofotometer, terwyl P kolorimetries bepaal is met 'n Technicon outomatiese analiseerder. Aluminium is ook kolorimetries bepaal volgens die metodes van Bertsch *et al.*, (1981) en Jayman & Sivasubramaniam (1974).

2.4.4 Graanopbrengs

Die oppervlakte soos beskryf in Afdeling 2.3 is met 'n Wintersteiger perseelstroper geoes. Die oppervlakte wat gebruik is vir die bepaling van biomassa is hiervan afgetrek om die ware oesoppervlakte te verkry. Na oes is die graan gedroog tot by 'n voginhoud van ongeveer 12%, waarna die massa per perseel bepaal is, en uitgedruk is in ton ha^{-1} .

2.4.5 Graankwaliteit

Hektolitermassa van die graan is bepaal op die verskillende behandelingskombinasies, nadat oortollige kaf verwyder is. Die proteïeninhoud van die graan is ook vir alle behandelingskombinasies met 'n infrarooi-analiseerder bepaal.

2.4.6 Dataverwerking

Daar is van 'n verdeelde perseel ontwerp gebruik gemaak om die behandelings met mekaar te vergelyk. Verskillende gronduurheidsvlakke (hoofbehandelings) is binne elke blok (herhaling) gerandomiseer. Binne elke gronduurheidsvlak is die cultivars (subbehandelings) gerandomiseer. Elke behandeling is vier keer herhaal (blokke).

Die statistiek pakket van Genstats 5 Release 3.2 vir Windows (Genstat 5 Committee, 1995) is gebruik vir variansie analise (Anova). Gekombineerde Anova's is gebruik om die behandelingsgemiddeldes oor jare en lokaliteite te vergelyk. Enkelvoudige- en meervoudige regressies is gebruik vir die ontwikkeling van 'n kalkvoorspellings-model. Die DSSTAT-program is gebruik vir die berekening van model statistiek (Du Toit *et al.*, 1997).

Deur van die AMMI-model (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) in GenStat for Windows(2000) gebruik te maak, kon die invloed van gronduurheid en die Al-verdraagsaamheid van cultivars as groepe geëvalueer word. Deur middel van die biplot, kon die omgewing en genotipes wat dieselfde reaksiepatrone getoon het, saam gegroepeer word.

HOOFSTUK 3

EFFEK VAN KALKTOEDIENING OP SEKERE PARAMETERS VAN GRONDSUURHEID

3.1 Inleiding

Die voordele van bekalking vir die opheffing van suurgronde word al vir baie jare erken (Farina *et al.*, 1981). Reeve & Sumner (1970) beweer dat die grootste voordeel van bekalking hoofsaaklik toegeskryf kan word aan die presipitering van uitruilbare Al met 'n styging in pH. Aluminium is veral in hoogsverweerde gronde nadelig vir plantegroei.

Wêreldwyd word verskillende grondsuurheidsparameters gebruik om die nadelige effek van grondsuurheid op plantegroei te kwantifiseer. Vandag word pH steeds gebruik as een van die algemeenste en maklik bepaalbare grondontledings om die vlakke van suurheid in gronde te monitor (Bache, 1988). Aangesien pH ook 'n groot rol speel by die oplosbaarheid en beskikbaarheid van voedingselemente, word dit steeds op 'n daaglikse basis gebruik (Slattery *et al.*, 1999).

Verskillende ekstraheringsmetodes kan vir die bepaling van pH gebruik word. Water, KCl en CaCl_2 is die algemeenste metodes. In Suid-Afrika word daar hoofsaaklik van die water en KCl ekstraheringsmetodes gebruik gemaak (The Non-affiliated Soil Analysis Work Committee, 1990) vir die bepaling van pH. Volgens Slattery *et al.* (1999) bevestig verskeie navorsers dat $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ goeie positiewe korrelasies met $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ oplewer. By pH-waardes laer as 4.5 (KCl) word Al, wat in oplossing is as die belangrikste groeibeperkende faktor beskou (Foy, 1988).

Die belangrikheid van Al as parameter of indikator van grondsuurheid het reeds vroeg in die 19de eeu al aandag geniet. Tydens die tydperk het Hartwell & Pember (1918) volgens Farina *et al.* (1981) vasgestel dat bekalking Al-toksisiteit elimineer. Aluminium was nie soseer 'n aanduiding van suurheid in die grond nie, maar eerder in grond-plantsisteme, wat duidelik gedui het op

die toksiese effek wat Al op plantegroei het. Aluminium kan op verskillende maniere uitgedruk word om die nadelige effek op plantegroei te kwantifiseer (Kamprath, 1970).

Aluminium kan in verhouding tot die som van die ander katione (Ca, Mg, K, Na, Al en H) uitgedruk word om die persentasie Al-versadiging te bereken. Dieselfde beginsel kan ook gebruik word om die persentasie suurversadiging (%SV) te bereken, waar die som van Al en H as verhouding tot die som van Ca, Mg, K, Na, Al en H uitgedruk word. Beide die twee bogenoemde uitdrukkings van Al, is veral op hoogsverweerde gronde suksesvol gebruik om die kalkbehoefte van die gronde te bereken volgens gewas- of cultivarbehoefte (Cochrane *et al.*, 1980; Farina & Channon, 1991). Farina & Channon (1991) het dan ook bevestig dat hoogsverweerde gronde in Natal waarop mielies verbou word, bekalk word sodat die suurversadiging nie 20% oorskry nie.

Kalkbehoefte van 'n grond kan volgens Tran & Van Lierop (1981) gedefinieer word as die hoeveelheid kalk wat benodig word om optimale opbrengs te realiseer. Die hoeveelhede kalk om optimale opbrengs te verseker, sal volgens Foy *et al.* (1965) nie net verskil as gevolg van die gewas of grond nie, maar ook as gevolg van die cultivar.

Volgens Brady & Weil (2002) is daar hoofsaaklik vier metodes wat aangewend word vir die bepaling van kalkbehoefte. Daar kan eerstens bekalk word om 'n teiken pH te bereik, of die bufferkapasiteit van die grond kan gebruik word om kalkbehoefte te bepaal, of pH-buffermetodes soos die SMP-metode (Shoemaker, McLean & Pratt, 1961) kan gebruik word, terwyl die chemiese ekwivalente hoeveelheid kalk ook toegedien kan word om die uitruilbare suurheid te neutraliseer.

Die bogenoemde vier metodes kan dan ook in twee benaderings verdeel word: Eerstens kan die suurheid wat deur 'n spesifieke suurheidsparameter aangedui is, deur bekalking tot by 'n vooraf bepaalde vlak geneutraliseer word, bv. om gronde te bekalk tot by 'n pH(KCl) van 4.5-5.5. Tweedens kan gronde bekalk word om 'n sekere gedeelte van die uitruilbare suurheid te

neutraliseer, wat sal afhang van die gewas of cultivar se gevoeligheid vir Al. Hierdie metode van bekalking kan op enige van die bogenoemde grondsuurheidsparameters toegepas word, indien die kritieke suurheidsvlakke van 'n gewas of cultivar bekend is.

Omdat bekalking beide die uitruilbare suurheid (US) en persentasie suurversadiging (%SV) verlaag en die pH verhoog, behoort die parameters gesamentlik gebruik te word om kalkbehoefte te bereken. Vir die doeleindes van die studie sal meer aandag aan pH(KCl) en %SV as grondsuurheidsparameter gegee word.

Soos reeds gemeld is sekere voedingselemente gevoelig vir pH-veranderings in die grond, wat die hoeveelheid plantbeskikbare voedingstowwe kan beïnvloed. Die lae produktiwiteit van suurgronde kan toegeskryf word aan die toksiese effek van Al, maar ook die indirekte effek van Al (Beukes, 1995). Tekorte aan basiskatione soos Ca, Mg en K is algemeen onder suur-toestande, aangesien dié katione deur die suurkatione (Al en H) vanaf die uitruilkompleks verplaas word. Die verplaasde basiskatione is dan onderworpe aan logging buite bereik van plantwortels. Soos wat gronde versuur, word die pH-afhanklike ladings beïnvloed met 'n geleidelike toename in die positiewe ladings (Tan, 1982). Die toename in positiewe ladings lei tot verhoogde absorpsie en vaslegging van anione soos P, Mo en B. Die laer poel van plantbeskikbare P, Mo en B kan dan sekondêre tekorte tot gevolg hê, wat groei, ontwikkeling, en uiteindelik die opbrengs sal benadeel.

Herversuring is 'n onafwendbare proses wat deur 'n korrekte bekalkingsprogram bestuur moet word. Die tempo van herversuring hang hoofsaaklik van die stikstofbemesting, logging van basisse en die verwydering van basisse in die vorm van graan, af (Sumner, 2001; Tisdale *et al.*, 1993). Die tempo kan deur middel van bestuurspraktyke vertraag word en tot die minimum beperk word. Onder natuurlike toestande heers daar gewoonlik 'n ewewig, en is die herversuringstempo baie stadig.

Herversuring kan gedefinieer word, as 'n afname in pH, of 'n toename in %SV oor 'n sekere periode nadat die grond bekalk is. Herversuring kan dan

gekwantifiseer word aan die hand van die hoeveelheid kalk wat benodig word om die herversuring wat plaasgevind het, te neutraliseer. Die tempo van herversuring word grootliks deur die gewas en klimaat bepaal en word in die geval uitgedruk as ton kalk ha^{-1} jaar $^{-1}$. Helyar & Porter (1989) omskryf die tempo van versuring van grond as die balans van in- en uitsette van protone tot die grond. Die teorie omskryf sekere reaksies in die grond wat alkaliniteit produseer en ander wat suurheid produseer. Tydens nitrifikasie sal H^+ geproduseer word wat dan basiskatione (bv. Ca^{2+}) vanaf die klei-kompeks kan verplaas. Indien die plantwortels die geproduseerde nitraat kan opneem, sal hidroksiede (OH^-) wat die plant uitskei om elektriese neutraliteit te bewerkstellig die suurheid neutraliseer. 'n Oormaat van stikstof, veral in die nitraatvorm, kan te weeg bring dat plante nie al die geproduseerde nitraat kan onderskep nie, wat dan lei tot die logging van nitraat. Die logging van nitraat gaan gepaard met basiskatione wat lei tot 'n versuring van die grond.

Die volgende doelwitte is met dié Hoofstuk nagestreef:

- Eerstens, om deur middel van verwantskappe tussen kalktoedienings en parameters van grondsuurheid, onder inkubasie- en veldtoestande die kalkbehoefte van Oos-Vrystaatse gronde te bepaal en bekalkingsriglyne daarvolgens op te stel.
- Tweedens, veroorsaak bekalking drastiese chemiese veranderings in die grond, wat dit noodsaak om die effek van kalktoediening op grondvrugbaarheidsparameters onder inkubasie- en veldtoestande te ondersoek.
- Derdens, vind daar herversuring na bekalking plaas, wat die effektiwiteit van bekalking kan beïnvloed. Dit noodsaak 'n ondersoek om die hoeveelheid en tempo van herversuring na bekalking te kwantifiseer.

3.2 Resultate en bespreking

3.2.1 Verwantskap tussen kalktoediening en parameters van grondsuurheid.

3.2.1.1 Inkubasieproewe

Die toediening van kalk aan die vier bogronde het die pH(KCl) daarvan betekenisvol verhoog (Tabel 3.1). Dienooreenkomstig het die US en %SV van die bogronde betekenisvol gedaal. Hierdie effek van bekalking op die bogronde word in Figuur 3.1 geïllustreer. Dus het die kalk vinnig en effektief onder laboratoriumtoestande in die bogronde gereageer.

Die hoeveelheid kalk wat toegedien moet word om 'n spesifieke suurheidsvlak te bewerkstellig, verskil baie tussen die vier bogronde ten spyte daarvan dat die pH's voor bekalking slegs tussen 3.4 en 3.6 gevarieer het. Byvoorbeeld om 'n pH van 4.9 of suurversadiging van 0% by die Kestell- en Fouriesburggronde te bewerkstellig, is 'n toediening van onderskeidelik 3.0 en 5.25 ton kalk ha⁻¹ nodig. By die Prinsloo- en Melrosegronde moet meer as 7.5 ton kalk ha⁻¹ toegedien word om dieselfde suurheidsvlakke te haal (Tabel 3.1). Volgens die hellings van die verwantskappe tussen pH(KCl) en kalktoediening (Kestell=0.39, Fouriesburg=0.31, Prinsloo=0.12, Melrose=0.12) asook %SV en kalktoediening (Kestell=0.93, Fouriesburg=0.68, Prinsloo=0.29 en Melrose=0.31) soos getoon in Figuur 3.1, neem die gronde se kalkbehoefte soos volg toe: Kestell < Fouriesburg < Prinsloo < Melrose.

Volgens Tisdale *et al.* (1993) sal gronde met 'n hoër organiese materiaal- en klei-inhoud se buffervermoë groter wees as gronde met 'n laer organiese materiaal- en klei-inhoud, weens 'n groter katioonuitruilkapasiteit (KUK). Die vier bogronde se klei-inhoud (%) en koolstof (%) neem soos volg toe: Kestell < Fouriesburg < Prinsloo < Melrose (Tabel 2.1 en 2.2). Die US van die vier bogronde het ook dienoooreenkomstig toegeneem (Tabel 3.1). 'n Moontlike rede waarom die kalkbehoefte van die Prinsloo- en Melrosegronde soortgelyk is ten opsigte van bogemelde verskille, kan die soort kleiminerale wees wat daarin voorkom.

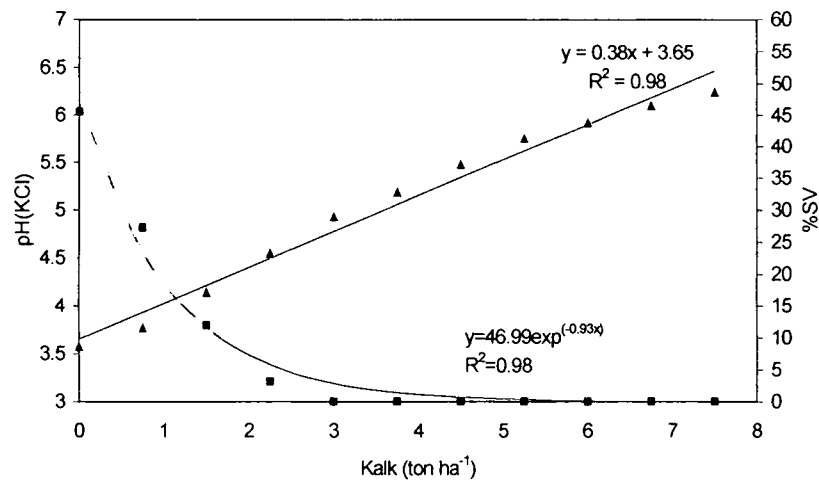
Tabel 3.1 Die effek van bekalking op die pH(KCl), uitruilbare suurheid (US) en persentasie suurversadiging (%SV) van die bogronde vanaf Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die inkubasieproewe.

Kalkpeil Ton ha ⁻¹	Kestell			Fouriesburg			Prinsloo			Melrose		
	pH(KCl)	US	%SV	PH(KCl)	US	%SV	pH(KCl)	US	%SV	pH(KCl)	US	%SV
0	3.6a	0.8a	45.8a	3.4a	1.2a	52.3a	3.5a	1.9a	44.7a	3.4a	2.3a	39.9a
0.75	3.8a	0.5b	27.3b	3.5b	0.8b	36.2b	3.5a	1.7a	37.5b	3.5ab	2.0b	35.8b
1.5	4.1b	0.2c	12.0c	3.7c	0.6c	24.0c	3.6b	1.4b	32.2c	3.5b	1.7c	29.8c
2.25	4.6c	0.06d	3.2d	3.9d	0.4d	14.2d	3.7c	1.2bc	26.4d	3.7c	1.5d	24.9d
3	4.9d	0d	0d	4.2e	0.2e	6.2e	3.8d	0.7d	21.7e	3.8d	1.0e	14.9e
3.75	5.2e	0d	0d	4.4f	0.1f	3.8ef	3.9e	1.0c	17.5f	3.9e	0.8f	13.2e
4.5	5.5f	0d	0d	4.6g	0.05fg	1.7f	4.0e	0.6de	12.2g	4.1f	0.5g	6.7f
5.25	5.8g	0d	0d	4.9h	0g	0f	4.1f	0.4ef	9.7h	4.0f	0.5g	7.1f
6	5.9gh	0d	0d	5.1i	0g	0f	4.2g	0.3fg	6.7hi	4.1f	0.4gh	6.5f
6.75	6.1hi	0d	0d	5.5j	0g	0f	4.3h	0.2fg	5.3ij	4.2g	0.3h	4.3f
7.5	6.3i	0d	0d	5.6k	0g	0f	4.4i	0.1g	2.0j	4.3g	0.3h	4.8f
Gemiddeld	5.1	0.1	8.0	4.4	0.3	12.6	3.9	0.9	19.6	3.9	1.0	17.1
KBV(P≤0.05)	0.19	0.078	4.03	0.15	0.089	4.20	0.084	0.28	4.19	0.079	0.17	3.70
KV (%)	2.2	32.7	29.6	1.9	17.7	19.6	1.3	18.7	12.5	1.2	9.9	12.7

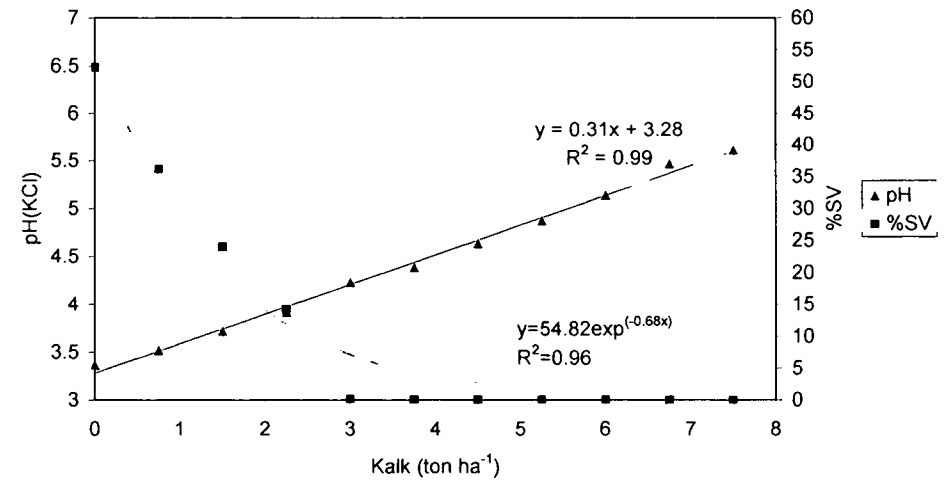
*US - cmol_c kg⁻¹

Behandelingsgemiddeldes in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

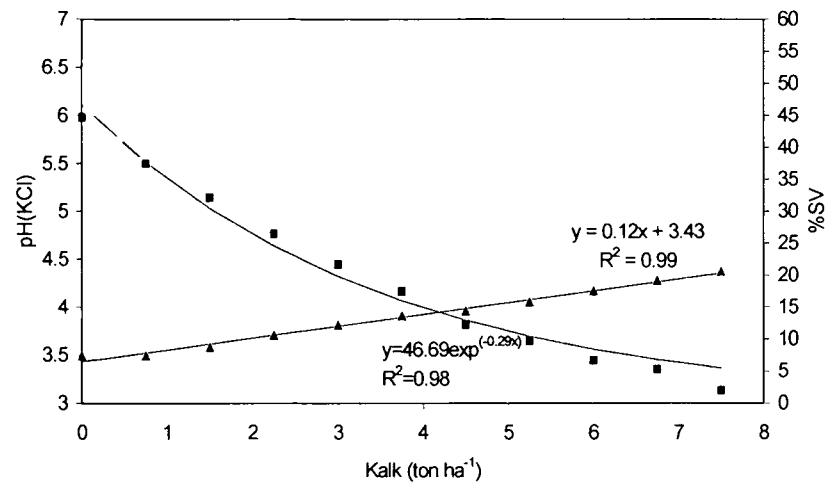
Kestell



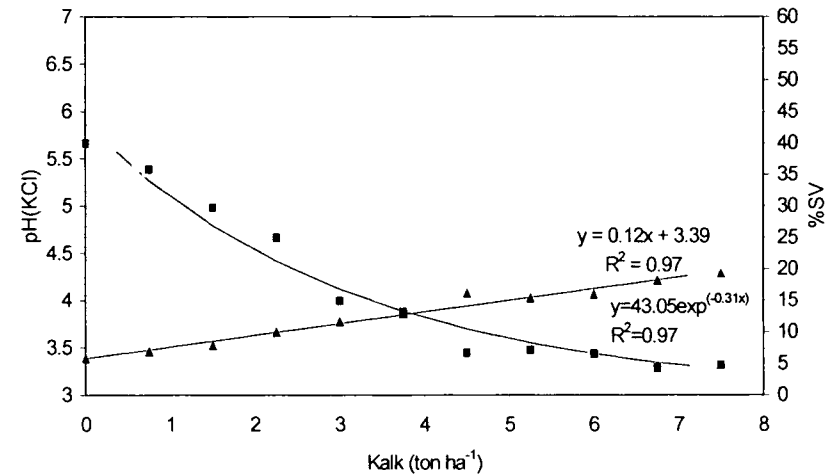
Fouriesburg



Prinsloo



Melrose



Figuur 3.1 Verwantskappe tussen pH(KCl) en bekalking asook persentasie suurversadiging (%SV) en bekalking vir die bogronde vanaf Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die inkubasieproewe.

3.2.1.2 Veldproewe

3.2.1.2.1 Bogronde (0-200 mm)

Soos verwag het die toediening van kalk die pH(KCl) van die bogronde by al vier lokaliteite betekenisvol laat styg (Tabel 3.2). Terselfdetyd het die US en %SV van die bogronde betekenisvol afgeneem. Die effek van bekalking op die pH(KCl) en persentasie suurversadiging van die bogronde word ook in Figuur 3.2 getoon. Dus het die kalk onder veldtoestande ook die grondsuurheid vinnig en effektief geneutraliseer.

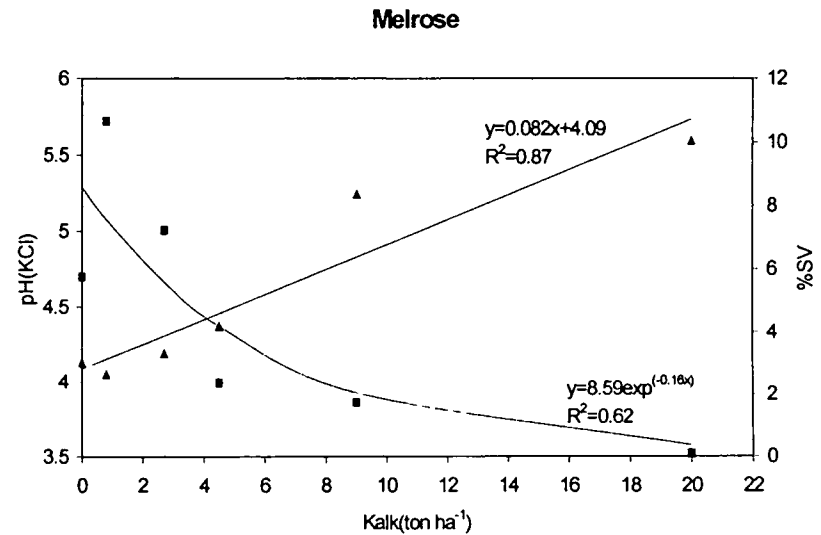
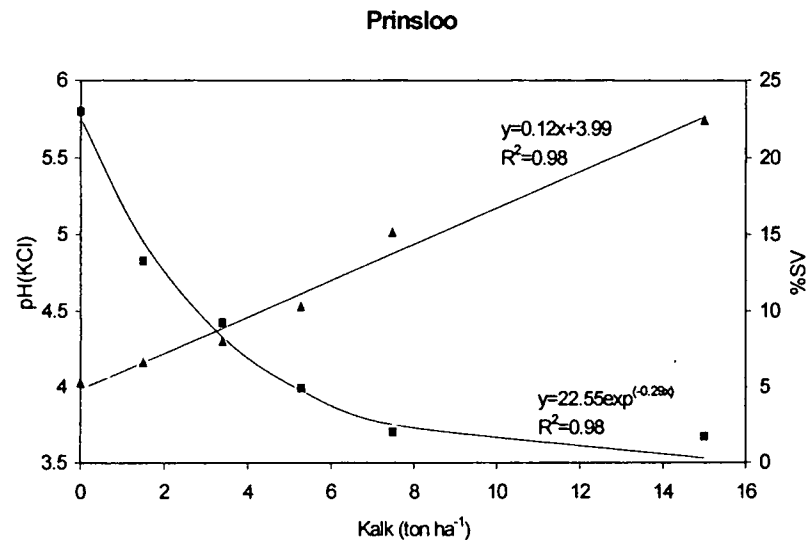
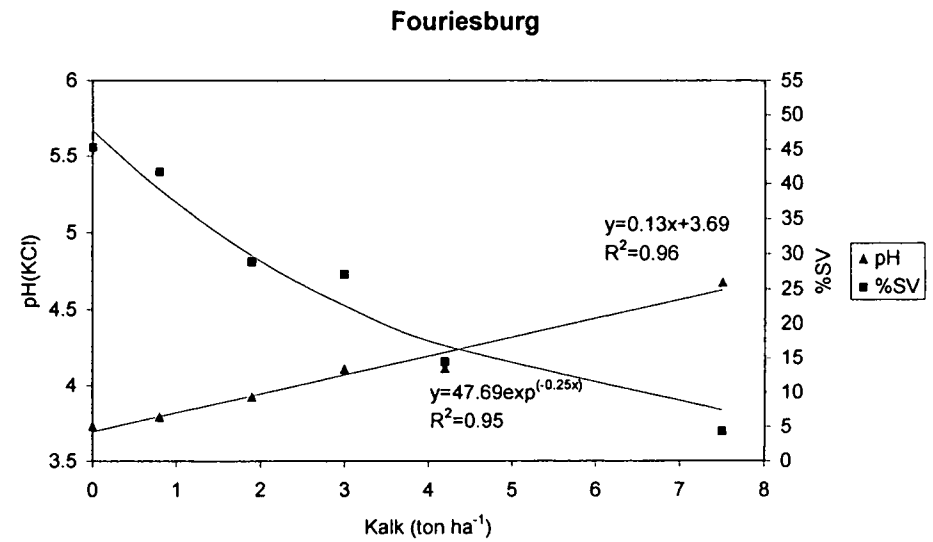
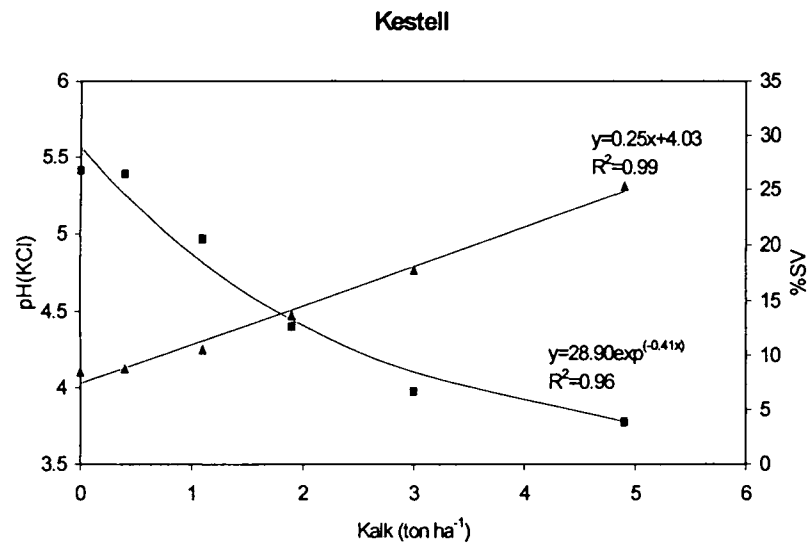
Volgens die hellings van die verwantskappe tussen pH(KCl) en kalktoediening (Kestell=0.25, Fouriesburg=0.13, Prinsloo=0.12 en Melrose=0.08) asook %SV en kalktoediening (Kestell=0.41, Prinsloo=0.29, Fouriesburg=0.25, Melrose=0.16) soos getoon in Figuur 3.2, blyk dit dat die bogrond se kalkbehoefte soos volg toeneem: Kestell < Fouriesburg = Prinsloo < Melrose. Hierdie volgorde verskil ietwat van die volgorde wat met die inkubasieproewe gevind is, naamlik Kestell < Fouriesburg < Prinsloo < Melrose. Die faktore wat die buffervermoë en dus ook die kalkbehoefte van hierdie bogronde beïnvloed is alreeds in Afdeling 3.2.1.1 bespreek.

Tabel 3.2 Die effek van bekalking op die pH(KCl), uitruilbare suurheid (US) en persentasie suurversadiging (%SV) van die bogronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die veldproewe.

Kestell				Fouriesburg			
Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV	Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV
0	4.1a	0.4a	27.0a	0	3.7a	1.1a	45.3a
0.4	4.1a	0.4a	26.4a	0.8	3.8ab	0.9a	41.7a
1.1	4.3ab	0.3b	17.8b	1.9	3.9b	0.6b	28.9b
1.9	4.5bc	0.2c	12.6bc	3	4.1c	0.6b	27.1b
3	4.8c	0.1d	6.7cd	4.2	4.1c	0.3c	14.4c
4.9	5.3d	0.05d	2.9d	7.5	4.7d	0.1d	4.4d
Gemiddeld	4.5	0.3	15.6	Gemiddeld	4.1	0.6	27.0
KBV(P≤0.05)	0.34	0.075	6.82	KBV(P≤0.05)	0.21	0.12	7.63
KV (%)	8.0	57.7	59.8	KV (%)	6.3	23.9	31.4

Prinsloo				Melrose			
Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV	Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV
0	4.0a	0.7a	23.0a	0	4.1a	0.3bc	5.7abc
1.5	4.2ab	0.4b	13.3b	0.8	4.0a	0.7a	11.3a
3.4	4.3ab	0.3c	9.3c	2.7	4.2a	0.4ab	7.2ab
5.3	4.6bc	0.1d	4.9d	4.5	4.4a	0.1bc	2.3bc
7.5	5.0c	0.06d	2.0d	9	5.3b	0.1bc	1.7bc
15	5.7d	0.05d	1.7d	20	5.6b	0c	1.0c
Gemiddeld	4.6	0.3	9.0	Gemiddeld	4.6	0.3	4.7
KBV(P≤0.05)	0.45	0.089	3.39	KBV(P≤0.05)	0.49	0.38	6.10
KV (%)	10.1	61.6	64.3	KV (%)	7.0	69.6	66.9

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.



Figuur 3.2 Verwantskappe tussen pH(KCl) en bekalking asook persentasie suurversadiging (%SV) vir die bogronde by die Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die veldproewe.

3.2.1.2.2 Ondergrond (200-400 mm)

Bekalking het 'n betekenisvolle toename in pH(KCl) met 'n gepaardgaande afname in US en %SV van die ondergronde by die Kestell, Prinsloo en Melrose lokaliteite tot gevolg gehad (Tabel 3.3). Om een of ander onverklaarbare rede het bekalking geen betekenisvolle invloed op hierdie drie suurheidsparameters in die ondergrond by Fouriesburg gehad nie.

Die feit dat betreklike lae kalkpeile van onderskeidelik 1.1, 3.4 en 2.7 ton ha⁻¹ by Kestell, Prinsloo en Melrose 'n betekenisvolle invloed op die drie suurheidsparameters in die ondergrond gehad het, is baie insiggewend. Wêreldwyd is die opheffing van suurheid in die ondergrond 'n groot probleem en baie metodes is al beproef. Volgens Farina & Channon (1988b) werk 'n kombinasie van kalk en gips die beste. Gips is meer oplosbaar as kalk en loog dieper. Die gevolg daarvan is dat Al vanaf die uitruilkompleks deur Ca verplaas word, wat op die wyse in die ondergrond beland. Die SO₄²⁻ komponent van gips reageer met die aluminium en ysterhidroksiedes, wat veroorsaak dat OH⁻-ione in die grondoplossing vrygelaat word. Die aluminium en yster reageer met die SO₄²⁻ om minder oplosbare sulfaatkomplekse te vorm, terwyl die OH⁻-ione die grondsuurheid neutraliseer. Daar word na die beginsel verwys as "selfbekalking".

Tabel 3.3 Die effek van bekalking op die pH(KCl), uitruilbare suurheid (US) en persentasie suurversadiging (%SV) van die ondergronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die veldproewe.

Kestell				Fouriesburg			
Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV	Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV
0	4.1a	0.5a	28.1a	0	3.9	0.9	40.9
0.4	4.1a	0.4a	25.6ab	0.8	3.9	0.8	35.4
1.1	4.3a	0.2b	14.6bc	1.9	3.9	0.8	32.6
1.9	4.7ab	0.2b	10.6cd	3	4.0	0.6	31.8
3	5.4bc	0c	0d	4.2	4.0	0.7	24.3
4.9	6.0c	0c	0d	7.5	4.1	0.6	26.4
Gemiddeld	4.8	0.2	13.1	Gemiddeld	4.0	0.7	31.9
KBV(P≤0.05)	0.73	0.18	12.9	KBV(P≤0.05)	NB	NB	NB
KV (%)	8.4	45.1	53.9	KV (%)	3.5	31.9	40.4

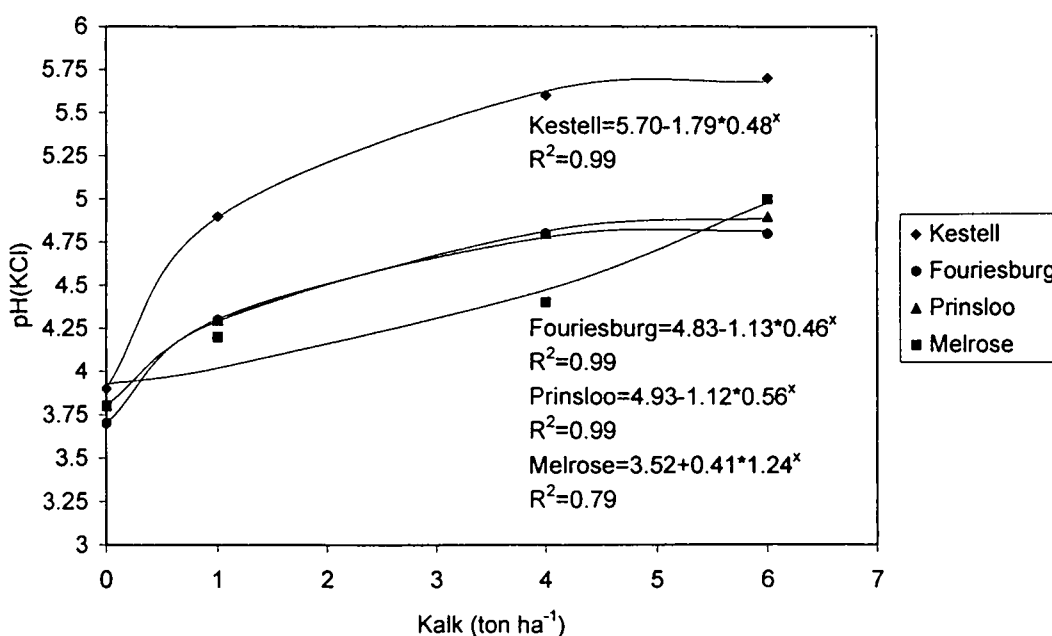
Prinsloo				Melrose			
Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV	Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	pH(KCl)	US (cmol _c kg ⁻¹)	%SV
0	4.0a	0.5a	20.3a	0	4.1a	0.3a	6.8a
1.5	4.2a	0.3b	11.3b	0.8	4.1a	0.2a	4.7a
3.4	4.3ab	0.2b	4.0cd	2.7	4.3ab	0.2a	3.5b
5.3	4.4ab	0.3b	9.3bc	4.5	4.5ab	0.08b	1.3bc
7.5	5.1bc	0.01c	0.4d	9	4.7b	0.04b	0.6c
15	5.3c	0.02c	0.5d	20	6.0c	0b	0c
Gemiddeld	4.5	0.2	7.5	Gemiddeld	4.6	0.2	2.8
KBV(P≤0.05)	0.81	0.18	6.82	KBV(P≤0.05)	0.56	0.12	2.5
KV (%)	9.6	43.8	47.5	KV (%)	6.6	45.7	49.0

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

3.2.1.3 Kalkbehoefte

Die regressievergelykings wat in Figuur 3.1 (Inkubasieproewe) en Figuur 3.2 (Veldproewe) gegee word, is gebruik om te bereken hoeveel kalk toegedien moet word om die bogronde by die vier lokaliteite se pH(KCl) tot 4.5 te verhoog en die persentasie suurversadiging na 8 te verlaag. As kontrole is die kalkbehoefte van die bogronde vir soortgelyke suurheidsvlakke ook volgens die metode van Peech (1965) vasgestel (Figuur 3.3). Hierdie metode word deur die LNR-Kleingraaninstituut vir die bepaling van kalkbehoefte gebruik. Die metode behels dat suiwer CaCO_3 teen hoeveelhede ekwivalent aan 0, 1, 4 en 6 ton ha^{-1} met 20 g grond gemeng word, waarna 50 ml van 'n 1 mol dm^{-3} KCl oplossing bygevoeg word. Hierdie suspensie moet oornag staan, voordat die pH bepaal word.

Die hoeveelheid kalk benodig volgens hierdie berekeninge om die gemelde suurheidsvlakke te bewerkstellig, word in Tabel 3.4 gegee. Hiervolgens is dit duidelik dat daar groot verskille is, wat aan verskeie faktore toegeskryf kan word, soos alreeds uitgespel. Dit is egter kommerwekkend dat daar ook nie 'n duidelike patroon uit die data na vore kom nie.



Figuur 3.3 Kalkbehoeftebepaling volgens die metode van Peech (1965).

Tabel 3.4 Kalkbehoefte (ton ha⁻¹) van die bogronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose soos bereken met regressievergelykings om die verlangde suurheidsvlakke te bewerkstellig.

Lokaleiteit	Metode	Verlangde pH=4.5	Verlangde %SV=8
Kestell	Peech (1965)	0.72*	-
	Inkubasie	2.24	1.90
	Veld	1.88	3.13
Fouriesburg	Peech (1965)	2.11*	-
	Inkubasie	3.94	2.83
	Veld	6.23	7.14
Prinsloo	Peech (1965)	2.20*	-
	Inkubasie	8.92	6.08
	Veld	4.25	3.57
Melrose	Peech (1965)	5.40*	-
	Inkubasie	9.25	5.43
	Veld	5.00	0.44

*Metode van Peech (1965) bereken met 'n KKE van 75.3.

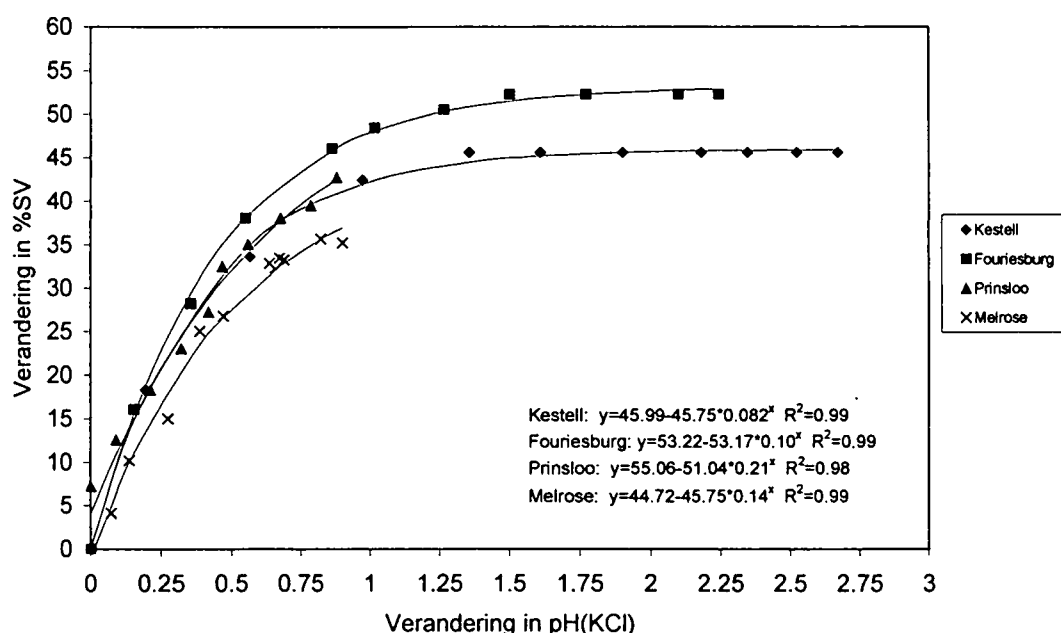
Volgens Warman *et al.* (2000) en verskeie ander navorsers, stem die kalkbehoefte van grond wat met verskillende buffermetodes vasgestel is, dikwels nie ooreen met mekaar nie, en dikwels ook nie met veldkalkbehoefte nie. In die opsig vaar die SMP-metode van kalkbehoeftebepaling (Shoemaker *et al.*, 1961) plaaslik (Haumann & Volschenk, 1979a) en oorsee (Tran & van Lierop, 1981; Edmeades *et al.*, 1984 en Warman *et al.*, 2000) baie beter. Haumann & Volschenk (1979a) rapporteer dat kalkbehoefte van gronde wat deur inkubasie vasgestel is, goed korreleer met die van die SMP-metode.

Uit die voorafgaande is dit duidelik dat die ideaal sou wees om riglyne vir bekalking op velddata te baseer. Ongelukkig is dit in die meeste gevalle nie prakties haalbaar nie.

3.2.1.4 Bekalkingsriglyne

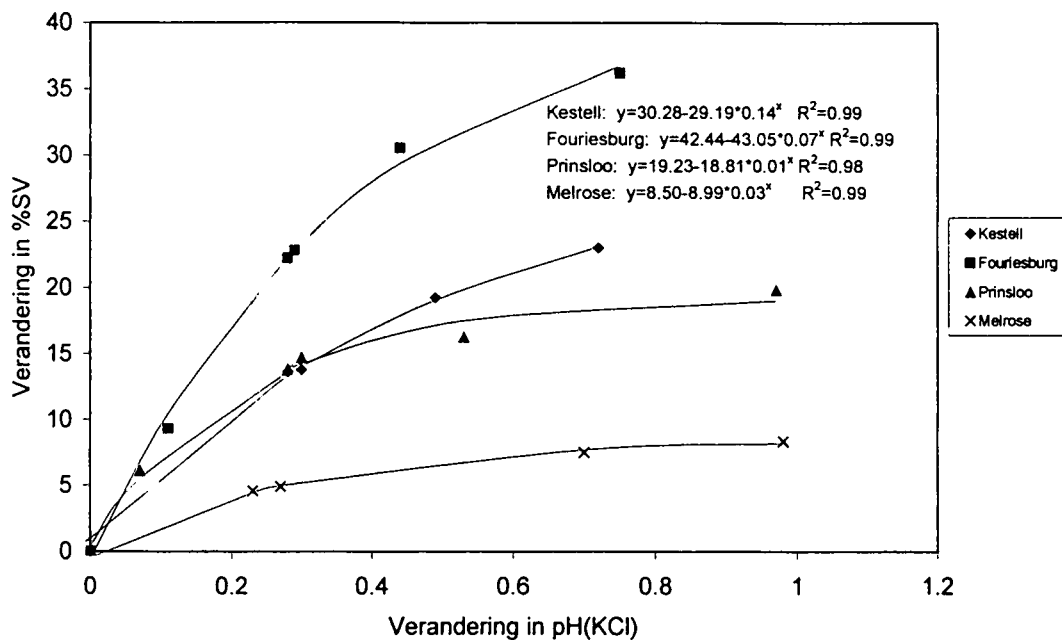
'n Poging is aangewend om bekalkingsriglyne vir die Oos-Vrystaatse gronde op te stel, met behulp van die data wat in die inkubasie- en veldproewe gegenereer is. 'n Vereiste was dat hierdie bekalkingsriglyne op maklike meetbare grondparameters gebaseer moes word.

Goeie verwantskappe is verkry tussen die verandering in persentasie suurversadiging ($\Delta\%SV$) en verandering in $pH(KCl)$ ($\Delta pH(KCl)$) wat deur bekalking in die inkubasieproewe (Figuur 3.4) en in die veldproewe (Figuur 3.5) veroorsaak is. Die $\Delta pH(KCl)$ vir elke kalkpeil is soos volg bereken: $L1=L1-L1$, $L2=L2-L1$, $L3=L3-L1$ ensovoorts. Daarenteen is die $\Delta\%SV$ vir elke kalkpeil soos volg bereken: $L1=L1-L1$, $L2=L1-L2$, $L3=L1-L3$ ensovoorts.



Figuur 3.4 Verwantskap tussen die verandering in %SV en die verandering in $pH(KCl)$ na bekalking van die vier bogronde in die inkubasieproewe.

Die waardes van $\Delta pH(KCl)$ en $\Delta\%SV$ in Figuur 3.4 is die gemiddelde van die herhalings vir elke kalkpeil. In Figuur 3.5 is die waardes van $\Delta pH(KCl)$ en $\Delta\%SV$ die gemiddelde van al 12 subpersele per kalkpeil, oor vier jaar by Kestell en Fouriesburg en oor drie jaar by Prinsloo en Melrose.



Figuur 3.5 Verwantskap tussen die verandering in %SV en die verandering in pH(KCl) na bekalking van die vier bogronde in die veldproewe.

Na aanleiding van die goeie verwantskappe tussen $\Delta\%SV$ en $\Delta pH(KCl)$ onder veldtoestande (Figuur 3.5) is tot die slotsom gekom dat bekalkingsriglyne op enigeen van die twee grondsuurheidsparameters gebaseer kan word. Stapsgewyse voorwaartse en terugwaartse meervoudige regressies, is toe gedoen op die data wat in 1996, 1998 en 1999 by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose ingesamel is. Die oogmerk met hierdie stapsgewyse voorwaartse en terugwaartse meervoudige regressies, was om die minimum aantal parameters te kry waarmee die $\Delta pH(KCl)$ van die bogrond na bekalking met redelike vertroue voorspel kon word. Hiervolgens het kalkpeile gemiddelde 64% van die variasie verklaar, gevolg deur $\Delta\%SV$ met gemiddeld 9.5% en klei-inhoud met gemiddeld 1.9%. Die bydrae van ander parameters was dus weglaatbaar klein.

Die regressiemodelle wat uit hierdie oefening voortgespruit het, word in Tabel 3.5 gegee. Volgens die R^2 -waardes is dit duidelik dat die $\Delta pH(KCl)$ na bekalking van die bogronde betroubaar ($P < 0.001$) deur enige van die sewe modelle voorspel word. Willmott (1981) is egter van opinie dat R^2 -waardes nie noodwendig 'n goeie aanduiding van modelle se akkuraatheid is nie.

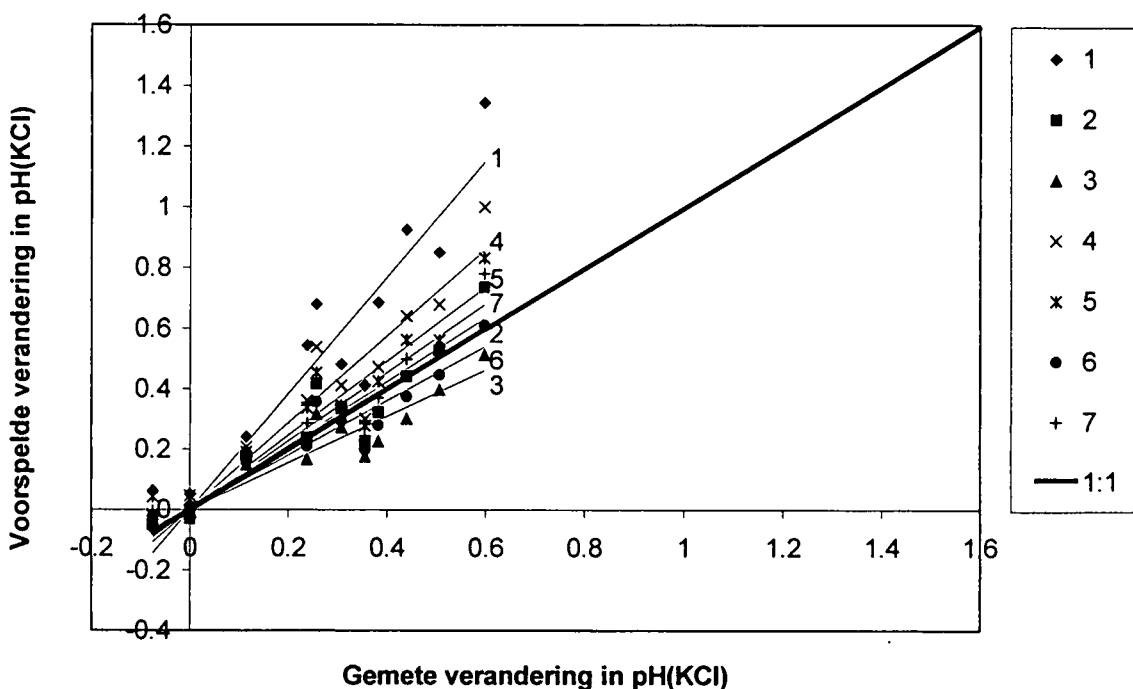
Tabel 3.5 Meervoudige regressiemodelle waarmee die $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ na bekalking van die bogronde voorspel kan word.

Model	Data	Regressie*	Se	R ²	n
1	1996	$Y=0.0920X_1-0.0074X_2+0.0084X_3+0.1100$	0.19	0.86	24
2	1998	$Y=0.0370 X_1+0.0025 X_2+0.0110 X_3-0.0510$	0.07	0.94	24
3	1999	$Y=0.0190 X_1+0.0013 X_2+0.0110 X_3-0.0230$	0.09	0.83	24
4	1996 en 1998	$Y=0.0590 X_1-0.0009 X_2+0.0110 X_3+0.0029$	0.22	0.73	48
5	1996 en 1999	$Y=0.0500 X_1-0.0025 X_2+0.0075 X_3+0.0660$	0.27	0.53	48
6	1998 en 1999	$Y=0.0290 X_1+0.0013 X_2+0.0097 X_3-0.0140$	0.10	0.81	48
7	1996, 1998 en 1999	$Y=0.0450 X_1-0.0006 X_2+0.0092 X_3+0.0210$	0.23	0.61	96

* $Y=\Delta\text{pH}(\text{KCl})$, $X_1=\text{kalkpeil (ton ha}^{-1}\text{)}$, $X_2=\text{klei-inhoud (\%)}$ en $X_3=\Delta\%\text{SV}$.

Daarom is die modelle ook volgens die metode van Willmott (1981) gevalideer vir hulle betroubaarheid. Data wat in 2000 by Kestell en Fouriesburg ingesamel is, is vir die doel gebruik omdat die modelle nie met dié data ontwikkel is nie.

Die verwantskappe tussen voorspelde en gemete $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ in 2000 by Kestell en Fouriesburg word in Figuur 3.6 getoon, terwyl die statistiese data in Tabel 3.6 gegee word. In al die gevalle is die R^2 -waardes van hierdie verwantskappe van dieselfde orde, moontlik 0.88 tot 0.90.



Figuur 3.6 Verwantskap tussen voorspelde verandering in $\text{pH}(\text{KCl})$ en gemete verandering in $\text{pH}(\text{KCl})$.

Die D-indeks van modelle 2, 6 en 7 was die hoogste, wat volgens Willmott (1981) 'n waardevolle maatstaf van modelle se akkuraatheid is. Hierdie drie modelle se hellings het ook nie betekenisvol van die 1:1 lyn afgewyk nie. Van dié drie modelle, blyk dit dat model 6 die betroubaarste sal wees, omdat dit die $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ met die kleinste fout, naamlik 'n RSME-waarde van 0.07 sal voorspel (Tabel 3.6).

Daarom is besluit om regressie model 6 (Tabel 3.5) te gebruik om die $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ te bereken met data vanaf die inkubasieproewe. Die $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ is bereken vir alle kombinasies van kalkpeile (0, 0.75, 1.50, 2.25, 3.00, 3.75, 4.50 en 5.25 ton ha^{-1}) en klei-inhoude (8, 13, 18 en 33%) met die gepaardgaande $\Delta\%SV$ by elkeen van die kombinasies.

Tabel 3.6 Statistiese data oor die validering van die regressiemodelle.

Model	RMSE	RMSE _s	RMSE _u	D-indeks	R ²	Helling	y-afsnit
1	0.34	0.31	0.13	0.67	0.88	1.77	0.07
2	0.08	0.02	0.08	0.97	0.89	1.06	0.00
3	0.09	0.08	0.06	0.93	0.88	0.74	0.01
4	0.17	0.14	0.10	0.88	0.90	1.38	0.02
5	0.11	0.08	0.08	0.93	0.89	1.08	0.06
6	0.07	0.03	0.06	0.97	0.89	0.85	0.02
7	0.09	0.05	0.07	0.96	0.90	1.06	0.03

RMSE=vierkantswortel van die gemiddelde kwadratiese fout, RMSE_s=vierkantswortel van die gemiddelde kwadratiese sistematiese fout en RMSE_u=vierkantswortel van die gemiddelde kwadratiese onsistematiese fout (Du Toit *et al.*, 1997).

Hierdie waardes van $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ wat bereken is, is gebruik om Vergelyking 3.1 te bereken waarmee die kalkbehoefte van die gronde voorspel kan word.

$$Y = 8.3240X_1 + 0.0459X_2 - 1.0370 \quad R^2 = 0.86 \quad 3.1$$

waar Y=kalkbehoefte (ton ha^{-1}), $X_1 = \Delta\text{pH}(\text{KCl})$ en $X_2 = \text{klei-inhoud } (\%)$.

Vergelyking 3.1 is gebruik om Tabel 3.7 op te stel waarvan die kalkbehoefte van gronde afgelei kan word. Dus, indien 'n grond met 'n sekere klei-inhoud se $\text{pH}(\text{KCl})$ of $\%SV$ nie optimaal is nie, kan die kalkbehoefte daarvan of met Vergelyking 3.1 bereken word, of vanaf Tabel 3.7 afgelei word. Daar moet net besluit word op die $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ of $\Delta\%SV$ wat met bekalking verlang word.

Tabel 3.7 Hoeveelheid *kalk (ton ha⁻¹) nodig om 'n $\Delta\text{pH}(\text{KCl})$ of $\Delta\%SV$ van gronde met verskillende klei-inhoude te veroorsaak.

Klei (%)	$\Delta\text{pH}(\text{KCl}) >0.5$ $\Delta\%SV >32$	$\Delta\text{pH}(\text{KCl}) 0.5-0.4$ $\Delta\%SV 32-25$	$\Delta\text{pH}(\text{KCl}) 0.4-0.3$ $\Delta\%SV 25-15$	$\Delta\text{pH}(\text{KCl}) 0.3-0.2$ $\Delta\%SV 15-10$	$\Delta\text{pH}(\text{KCl}) 0.2-0.1$ $\Delta\%SV <10$
5-10	3.9	3.0	2.2	1.4	0.5
10-15	4.1	3.3	2.5	1.6	0.8
15-20	4.4	3.5	2.7	1.9	1.0
20-25	4.6	3.8	2.9	2.1	1.3
25-30	4.8	4.0	3.2	2.3	1.5
30-35	5.1	4.2	3.4	2.6	1.7

*Kalkkwaliteit: $\text{KKE}(\text{HCl})=79.7$ en $\text{KKE}(\text{Hars})=75.3$

3.2.2 Effek van kalktoediening op parameters van grondvrugbaarheid

3.2.2.1 Inkubasieproewe

Die effek van bekalking op vrugbaarheidsparameters van die bogronde vanaf Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose word onderskeidelik in Tabele 3.8, 3.9, 3.10 en 3.11 opgesom. In Tabel 3.12 word die R^2 -waardes van die lineêre verwantskappe tussen die grondvrugbaarheidsparameters en kalkpeile gegee.

Ekstraheerbare P: By die bogronde vanaf Kestell (Tabel 3.8), Fouriesburg (Tabel 3.9) en Melrose (Tabel 3.11) met P-inhoude van 23 tot 31 mg kg⁻¹ het bekalking 'n betekenisvolle afname in ekstraheerbare P veroorsaak. Byvoorbeeld, die hoogste kalkpeil van 7.5 ton ha⁻¹ het die ekstraheerbare P by die Kestell-, Fouriesburg- en Melrosegroude onderskeidelik met 5.7, 8.0 en 4.8 mg kg⁻¹ laat daal. Daarenteen, het die toediening van kalk aan die bogrond vanaf Prinsloo (Tabel 3.10) met 'n P-inhoud van slegs 10 mg kg⁻¹, geen betekenisvolle effek op die ekstraheerbare P gehad nie.

Tabel 3.8 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Kestell met die inkubasieproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	30.7a	112.2a	24.9a	72.0	2.8a	1.1a	4.2a	1.8a
0.75	29.8ab	131.5ab	46.7b	66.9	1.8b	2.2ab	6.1ab	1.7a
1.5	30.8a	153.1b	65.0c	62.2	1.4cd	3.3bc	8.1bc	1.7a
2.25	27.6bc	213.5c	84.8d	62.6	1.6bc	4.3cd	11.0cd	2.0a
3	27.8bc	256.1d	110.4e	64.7	1.4cd	5.6de	13.6def	2.4b
3.75	25.5cd	261.3d	139.1f	78.4	1.2de	5.7de	12.3de	2.7bc
4.5	24.2d	245.2cd	144.0fg	67.1	1.0e	6.9ef	14.0def	2.6bc
5.25	25.4cd	250.8cd	159.0gh	71.7	1.0e	5.5de	10.8cd	2.9cd
6	24.6d	264.8de	158.0gh	72.2	1.0e	7.0ef	14.2def	2.8c
6.75	24.1d	266.5de	162.2h	66.2	1.0e	7.9f	15.8ef	2.8c
7.5	25.0d	300.2e	179.0	71.5	1.0e	8.0f	16.3f	3.2d
Gemiddeld	26.9	223.2	115.7	68.7	1.4	5.2	11.5	2.4
KBV (P≤0.05)	2.65	37.45	16.56	NB	0.34	1.77	3.79	0.30
KV (%)	5.8	9.9	8.4	11.3	14.5	19.9	19.4	7.3

Behandelingsgemiddeldes in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.9 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Fouriesburg met die inkubasieproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	30.5a	121.5a	21.2a	109.9	3.8a	0.6a	2.8a	2.2a
0.75	30.4a	154.5a	43.2b	115.7	2.2b	1.2ab	3.8ab	2.3ab
1.5	28.9b	191.8b	62.6b	102.1	1.9bc	2.0bc	5.6bc	2.3ab
2.25	28.2b	222.1bc	87.2c	117.2	1.5cb	2.4cd	6.1c	2.5abc
3	25.8c	252.8cd	104.4cd	101.2	1.5cd	3.3de	8.2d	2.6bcd
3.75	25.9c	281.8de	114.0de	105.1	1.5cd	3.5e	8.7d	2.8cde
4.5	24.8cd	293.1ef	131.8ef	105.3	1.4d	4.1ef	9.5de	2.9de
5.25	24.3d	319.8f	149.6fg	99.4	1.3d	4.8fg	11.2ef	3.1ef
6	23.7de	357.5g	163.3gh	104.1	1.3d	5.1g	11.8f	3.4fg
6.75	23.1e	384.1g	181.0h	101.8	1.3d	5.7g	13.1fg	3.7gh
7.5	22.5e	373.8g	204.0l	97.3	1.1d	6.8h	14.4g	3.8h
Gemiddeld	26.2	268.4	114.8	105.4	3.6	3.6	8.7	2.9
KBV (P≤0.05)	1.48	37.18	21.39	NB	0.50	0.96	1.96	0.36
KV (%)	3.3	8.1	10.9	8.6	17.1	15.7	13.3	7.3

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.10 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Prinsloo met die inkubasieproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	9.6	287.0a	80.7a	83.7	2.2a	3.1a	9.9a	4.3
0.75	9.9	332.0ab	100.1ab	94.6	2.0a	3.4ab	10.3a	4.4
1.5	9.5	353.0abc	119.5abc	87.0	1.8a	4.4bc	12.3ab	4.4
2.25	8.7	397.0abcd	132.3bc	87.6	1.8a	4.9cd	13.4bc	4.5
3	8.1	435.0bcd	149.8cd	82.0	1.7b	5.8de	16.2cd	4.3
3.75	7.3	511.0def	185.4de	98.9	1.5bc	6.7e	16.8de	5.4
4.5	7.7	453.0cde	194.6ef	77.8	1.4c	8.0f	19.4def	4.7
5.25	7.8	470.0cdef	205.0ef	67.4	1.5bc	8.9fg	22.6g	4.5
6	6.0	524.0ef	227.2ef	80.7	1.4c	9.4gh	22.2fg	5.1
6.75	8.8	461.0cde	234.9fg	76.8	1.3c	9.6gh	21.7fg	4.6
7.5	9.4	581.0f	271.2g	86.0	1.3c	10.2h	23.5g	5.5
Gemiddeld	8.5	437.0	172.8	83.9	1.6	6.8	17.1	4.7
KBV (P≤0.05)	NB	118.5	43.98	NB	0.31	1.07	3.02	NB
KV (%)	12.6	15.9	14.9	14.4	11.1	9.3	10.3	11.9

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.11 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Melrose met die inkubasieproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	23.3a	459.5a	108.1a	99.0	2.6a	3.5a	12.6a	5.7a
0.75	22.2b	472.5ab	118.6a	99.2	2.5a	3.8a	13.2a	5.6a
1.5	22.0b	519.5ab	149.4b	103.6	2.1b	4.6b	14.4ab	5.8a
2.25	20.1c	558.5b	173.5b	99.7	2.0b	5.6c	16.6b	6.0ab
3	19.2cde	657.2c	237.1c	100.6	1.7c	7.5d	20.3c	6.5bc
3.75	19.6cd	669.8cd	244.4c	101.3	1.7c	7.7d	20.6c	6.5bc
4.5	18.4ef	718.2cd	287.1d	100.4	1.5d	9.2f	23.2d	6.7cd
5.25	19.0de	720.2cd	288.5d	110.1	1.5d	8.4e	21.3cd	6.7cd
6	17.8f	718.8cd	286.0d	110.3	1.5d	8.3e	21.0cd	6.7cd
6.75	17.8f	757.2d	319.9e	113.3	1.5d	9.0f	22.1cd	7.0cd
7.5	18.5ef	757.2d	321.8e	113.5	1.5d	9.1f	22.1cd	7.1d
Gemiddeld	19.9	637.1	230.4	104.6	1.8	7.0	18.9	6.4
KBV (P≤0.05)	0.91	94.98	25.99	8.37	0.2	0.67	2.22	0.59
KV (%)	2.7	8.8	6.6	4.7	6.5	5.6	6.9	5.5

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.12 Die R²-waardes vir die verwantskappe tussen grondvrugbaarheidsparameters en kalkpeile vir die bogronde van Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die inkubasieproewe.

Lokaliteit	Parameter							
	P	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
Kestell	-0.81**	0.86**	0.96**	0.15	-0.79**	0.89**	0.81**	0.91**
Fouriesburg	-0.95**	0.97**	0.98**	-0.44*	-0.73**	0.97**	0.96**	0.93**
Prinsloo	-0.36*	0.56**	0.89**	-0.28	-0.84**	0.94**	0.81**	0.21
Melrose	-0.90**	0.89**	0.96**	0.68**	-0.90**	0.92**	0.86**	0.84**

*Betekenisvol vir P=0.05

**Betekenisvol vir P=0.01

Die ekstraheerbare P het wel eers effens gedaal en toe weer effens gestyg, met 'n verhoging in kalktoediening. Die voorafgaande verklaar die swak korrelasies tussen ekstraheerbare P en kalktoediening by die Prinslooggrond in vergelyking met die goeie korrelasies tussen ekstraheerbare P en kalktoediening by die Kestell-, Fouriesburg- en Melrosegronde (Tabel 3.12).

Die effek van ekstraheerbare P in suurgronde kan wissel, na gelang van die P-inhoud van die grond en die ekstraheringsmetode wat gebruik word. In die meeste gevalle het navorsers (Paton & Loneragan, 1960; Helyar & Anderson, 1974; McLachlan, 1980) gevind dat die ekstraheerbare P van suurgronde daal met bekalking. Hierdie verskynsel kan heel waarskynlik toegeskryf word aan die vorming van kalsiumfosfaatverbindings wat nie ekstraheerbaar is nie. Sulke verbindings is minder toeganklik vir plantopname, met gevolg dat laer opbrengste in uiterste gevalle kan realiseer.

Uitruilbare katione: Soos verwag het die Ca- en Mg-inhoude van al vier die bogronde betekenisvol toegeneem met bekalking (Tabel 3.8 tot 3.11). Daarenteen het slegs die Melrosegrond se K-inhoud betekenisvol gestyg met bekalking. Hierdie veranderinge in die drie katione se inhoude weens bekalking, manifesteer baie duidelik in die verhoudings daarvan, by al vier die bogronde. Die Ca/Mg-verhouding het betekenisvol afgeneem, terwyl die Mg/K-en die (Ca+Mg/K)-verhoudings betekenisvol gestyg het. Dit is 'n aanduiding dat Mg relatief meer as Ca gestyg het en dat K redelik konstant gebly het na bekalking van die bogronde. Die stelling word ondersteun deur die R^2 -waardes wat in Tabel 3.12 gegee word.

Katjoonuitruilkapasiteit: Die KUK van die bogronde vanaf Kestell (Tabel 3.8), Fouriesburg (Tabel 3.9) en Melrose (Tabel 3.11) het betekenisvol toegeneem weens bekalking met R^2 -waardes van onderskeidelik 0.91, 0.93 en 0.84 (Tabel 3.12). Bekalking het geen betekenisvolle effek op die KUK van die Prinslooggrond gehad nie. Die toename in KUK by drie van die vier ander bogronde, is die gevolg van 'n verandering in die pH-afhanklike ladings daarvan.

3.2.2.2 Veldproewe

3.2.2.2.1 Bogronde

Bekalking se effek op vrugbaarheidsparameters van die bogronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose word respektiewelik in Tabele 3.13, 3.14, 3.15 en 3.16 gegee. Die R^2 -waardes van die lineêre verwantskappe tussen die vrugbaarheidsparameters en kalkpeile word in Tabel 3.17 opgesom.

Ekstraheerbare P: In teenstelling met wat gerapporteer is vir die inkubasieproewe in Afdeling 3.2.2.1, het bekalking geen betekenisvolle effek op die ekstraheerbare P in die veldproewe gehad nie (Tabelle 3.13 tot 3.16). Gevolglik is daar ook geen betekenisvolle verwantskappe tussen ekstraheerbare P en kalkpeile gekry nie (Tabel 3.17).

Uitruilbare katione: By al vier die lokaliteite het die Ca- en Mg-inhoude van die bogronde toeneem weens bekalking (Tabelle 3.13 tot 3.16). Die toediening van kalk het egter geen effek op die K-inhoude van die bogronde gehad nie. Gevolglik het die Ca/Mg-verhouding toeneem, terwyl die Mg/K-verhoudings afgeneem het vir dieselfde rede soos uitgespel in Afdeling 3.2.2.1. Die R^2 -waardes vir die verwantskappe tussen hierdie ses vrugbaarheidsparameters en kalkpeile word in Tabel 3.17 gegee.

Katienonuitruilkapasiteit: Die KUK van die bogronde by Kestell (Tabel 3.13), Prinsloo (Tabel 3.14) en Melrose (Tabel 3.16) het betekenisvol gestyg weens bekalking met R^2 -waardes van onderskeidelik 0.61, 0.59 en 0.44 (Tabel 3.17). Bekalking het egter om een of ander rede geen betekenisvolle effek op die KUK van die bogrond by Fouriesburg (Tabel 3.14) gehad nie. Tydens die inkubasieproewe het bekalking wel 'n betekenisvolle verhoging in die KUK van die bogrond vanaf Fouriesburg gehad, maar nie in die KUK van die bogrond vanaf Prinsloo nie (Kyk afdeling 3.2.2.1).

Tabel 3.13 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Kestell met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	50.3	127.5a	26.6a	119.1	3.0a	0.7a	2.9a	1.6ab
0.4	52.2	132.4a	27.7a	114.1	3.1a	0.8a	3.2a	1.6ab
1.1	50.1	124.9a	32.7ab	107.4	2.5b	1.0ab	3.4a	1.5a
1.9	51.2	165.0ab	44.2bc	111.7	2.4b	1.3bc	4.2bc	1.7ab
3	52.2	190.4b	56.3c	111.2	2.2c	1.7cd	5.1c	1.8b
4.9	48.8	238.7c	80.7d	137.5	2.0c	1.8d	5.3c	2.2c
Gemiddeld	50.8	163.2	44.7	116.8	2.5	1.2	4.0	1.8
KBV (P≤0.05)	NB	46.74	14.65	NB	0.37	0.44	1.21	0.23
KV (%)	16.3	23.7	36.5	28.7	26.1	52.6	40.3	14.9

Behandelingsgemiddelde in die kolom wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

NB-Behandelingsgemiddelde verskil nie betekenisvol nie.

Tabel 3.14 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Fouriesburg met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	64.2	86.6	21.9a	147.4	2.5	0.5a	1.7a	2.1
0.8	60.2	100.5	36.0ab	128.8	1.9	0.9a	2.5ab	2.0
1.9	57.7	120.7	57.0bc	126.1	1.3	1.5b	3.3bc	2.0
3	66.6	132.4	61.3c	135.1	1.4	1.5b	3.4bc	2.1
4.2	58.6	128.7	76.8c	126.8	1.1	2.0b	4.0c	1.9
7.5	63.8	196.1	109.7d	135.6	1.3	2.7c	5.5d	2.4
Gemiddeld	61.88	127.5	60.4	133.3	1.6	1.5	3.4	2.1
KBV (P≤0.05)	NB	NB	24.07	NB	NB	0.52	1.3	NB
KV (%)	11.6	45.2	34.5	18.0	63.0	35.7	30.9	15.8

Behandelingsgemiddelde in die kolom wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.15 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Prinsloo met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	13.1	273.8a	69.5a	93.8	2.4a	2.4a	8.2a	2.9a
1.5	13.0	318.8ab	88.7ab	106.2	2.2ab	2.8a	8.7a	3.0ab
3.4	12.8	385.0bc	123.1bc	120.9	2.0bc	3.4ab	10.0ab	3.6bc
5.3	12.9	334.6ab	118.4b	82.3	1.8ab	4.7b	13.3bc	3.0ab
7.5	11.9	436.1cd	157.8c	95.9	1.7c	5.5bc	14.6cd	3.8c
15	12.0	491.6d	207.4d	95.3	1.5d	7.0c	17.2d	4.5d
Gemiddeld	12.6	372.5	127.5	99.1	19	4.3	12.0	3.5
KBV (P≤0.05)	NB	67.42	37.45	NB	0.23	1.6	3.66	0.63
KV (%)	30.4	19.0	29.8	22.7	14.6	29.0	22.6	17.2

Behandelingsgemiddelde in die kolom wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.16 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die bogrond vanaf Melrose met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	37.0	648.0ab	172.2a	163.0	2.3	3.4a	11.4a	5.4a
0.8	37.5	606.0a	177.4a	175.3	2.1	3.3a	10.3a	5.6a
2.7	34.5	624.0a	196.1a	146.9	2.0	4.3a	12.6a	5.5a
4.5	30.1	774.0abc	257.4b	159.3	3.1	4.9a	14.8ab	6.4ab
9.0	32.3	820.0c	293.6bc	137.8	1.7	7.0b	19.0b	7.0b
20	37.4	814.0bc	315.5c	140.4	1.6	7.3b	18.7b	6.8b
Gemiddeld	34.8	714	235.4	153.8	2.1	5.0	14.5	6.1
KBV (P≤0.05)	NB	168.2	54.54	NB	NB	1.77	4.77	1.16
KV (%)	22.7	15.4	20.9	18.4	81.6	26.5	20.5	17.6

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.17 Die R²-waardes vir die verwantskappe tussen grondvrugbaarheidsparameters en kalkpeile vir die bogronde van Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die veldproewe.

Lokalteit	Parameter							
	P	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
Kestell	-0.06	0.67**	0.72**	0.31**	-0.51**	0.59**	0.51**	0.61**
Fouriesburg	0.04	0.48**	0.77**	-0.06	-0.30*	0.77**	0.73**	0.23
Prinsloo	-0.07	0.63**	0.73**	-0.11	-0.68**	0.75**	0.71**	0.59**
Melrose	0.03	0.41**	0.61**	-0.27*	-0.15	0.67**	0.59**	0.44**

*Betekenisvol vir P=0.05

**Betekenisvol vir P=0.01

3.2.2.2.2 Ondergrond

Die effek van bekalking op vrugbaarheidsparameters van die ondergronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose word respektiewelik in Tabele 3.18, 3.19, 3.20 en 3.21 getoon. In Tabel 3.22 word die R^2 -waardes van die lineêre verwantskappe tussen vrugbaarheidsparameters en kalkpeile opgesom.

Ekstraheerbare P: Net soos in die bogrond is die ekstraheerbare P in die ondergronde ook nie deur bekalking beïnvloed nie (Tabelle 3.18 tot 3.21). Dus is daar ook geen betekenisvolle verwantskappe tussen ekstraheerbare P en kalkpeile nie (Tabel 3.22).

Uitruilbare katione: Die Ca- en Mg-inhoude van die ondergronde het by al vier die lokaliteite toegeneem met 'n toename in kalktoediening (Tabelle 3.18 tot 3.21). Hierdie toename was egter nie in al die gevalle betekenisvol nie. Die K-inhoud van die ondergronde is glad nie deur bekalking geaffekteer nie. Net soos in die bogrond, was die tendens dat die Ca/Mg-verhoudings afneem, en die Mg/K- en (Ca+Mg)/K-verhoudings toeneem, alhoewel nie altyd betekenisvol nie. Die R^2 -waardes van die verwantskappe tussen hierdie vrugbaarheidsparameters en kalkpeile word in Tabel 3.22 gegee.

Katjoonuitruilkapasiteit: Bekalking het geen betekenisvolle effek op KUK van die ondergronde by die vier lokaliteite gehad nie (Tabelle 3.18 tot 3.21).

W.O.V.B. BIBLIOTHEEK

1166 21359

Tabel 3.18 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die ondergrond vanaf Kestell met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	50.4	122.0	29.9a	127.3	2.5bc	0.8a	2.7	1.7
0.4	42.5	151.0	30.3a	110.3	3.0c	0.9ab	3.5	1.8
1.1	50.8	124.0	39.1a	105.1	1.9a	1.2ab	3.5	1.5
1.9	57.4	154.0	47.7ab	110.9	2.0ab	1.4ab	4.0	1.6
3	54.4	158.0	64.9bc	119.6	1.5a	1.8bc	4.5	1.7
4.9	54.0	194.0	83.0c	121.2	1.5a	2.4c	5.7	2.0
Gemiddeld	51.6	151.0	49.2	115.9	2.1	1.4	4.0	1.7
KBV (P≤0.05)	NB	NB	25.48	NB	0.53	0.95	NB	NB
KV (%)	23.2	28.9	28.5	16.0	14.1	37.4	33.4	16.2

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.19 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die ondergrond vanaf Fouriesburg met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	47.4	163.0	26.5	108.8	3.7a	0.8	3.8	2.3
0.8	42.3	166.0	30.9	114.2	3.3ab	0.9	3.7	2.2
1.9	38.1	196.0	38.5	123.1	3.0abc	1.0	4.1	2.4
3	61.3	137.0	34.7	126.1	2.5bc	0.9	3.0	1.9
4.2	43.2	144.0	36.8	114.1	2.5bc	1.0	3.6	2.0
7.5	42.4	187.0	49.5	121.9	2.3c	1.3	4.2	2.2
Gemiddeld	45.8	165.0	36.1	118.0	2.9	1.0	3.7	2.2
KBV (P≤0.05)	NB	NB	NB	NB	0.94	NB	NB	NB
KV (%)	30.5	32.8	33.9	11.9	17.5	33.2	34.8	8.4

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.20 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die ondergrond vanaf Prinsloo met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	10.7	231.0a	62.9a	80.1	2.3a	2.5	8.2	2.6
1.5	15.8	273.0ab	80.2a	98.0	2.1a	2.7	8.1	2.6
3.4	11.9	386.0bc	120.2ab	115.2	2.0ab	3.4	10.6	3.5
5.3	14.0	333.0abc	106.0a	87.1	1.9abc	4.1	11.7	2.9
7.5	12.4	426.0c	177.9bc	92.4	1.5c	6.3	15.6	3.9
15	12.0	462.0c	184.1c	101.1	1.6bc	6.6	16.6	4.1
Gemiddeld	12.8	352.0	121.9	95.7	1.9	4.3	11.8	3.3
KBV (P≤0.05)	NB	148.4	62.02	NB	0.46	NB	NB	NB
KV (%)	37.9	23.2	28.0	29.9	13.3	42.9	41.0	20.8

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.21 Die invloed van bekalking op die ekstraheerbare P, uitruilbare Ca, Mg, K en KUK van die ondergrond vanaf Melrose met die veldproewe.

Kalkpeil (ton ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK (cmol _c kg ⁻¹)
0	40.5	585.0	149.0a	171.4	2.4c	2.8a	9.5a	5.0
0.8	43.7	612.0	163.3a	165.4	2.3c	3.2ab	10.6a	5.1
2.7	46.3	657.0	175.4ab	141.7	2.3c	4.0bc	13.2abc	5.3
4.5	30.3	781.0	227.8bc	150.1	2.1bc	4.9c	15.1b	6.3
9.0	40.3	662.	245.6c	185.6	1.6a	4.3c	11.5ab	5.9
20	36.4	832.0	301.9d	142.2	1.7ab	6.9d	18.5c	7.1
Gemiddeld	39.6	688.0	210.5	159.4	2.1	4.3	13.0	5.8
KBV (P≤0.05)	NB	NB	55.18	NB	0.44	1.10	4.05	NB
KV (%)	26.4	22.5	14.4	14.5	11.8	13.9	17.1	17.4

Behandelingsgemiddelde in die kolomme wat deur verskillende letters gevolg word verskil betekenisvol van mekaar.

Tabel 3.22 Die R^2 -waardes vir die verwantskappe tussen grondvrugbaarheidsparameters en kalkpeile vir die ondergronde van Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose met die veldproewe.

Lokaleiteit	Parameter							
	P	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K	KUK ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)
Kestell	0.24	0.52*	0.85**	0.08	-0.76**	0.78**	0.66**	0.38
Fouriesburg	-0.04	0.08	0.50*	0.22	-0.70**	0.48	0.12	-0.10
Prinsloo	-0.08	0.65**	0.73**	0.01	-0.70**	0.65**	0.60*	0.62*
Melrose	-0.19	0.47*	0.87**	-0.18	-0.68**	0.88**	0.69**	0.63**

*Betekenisvol vir $P=0.05$

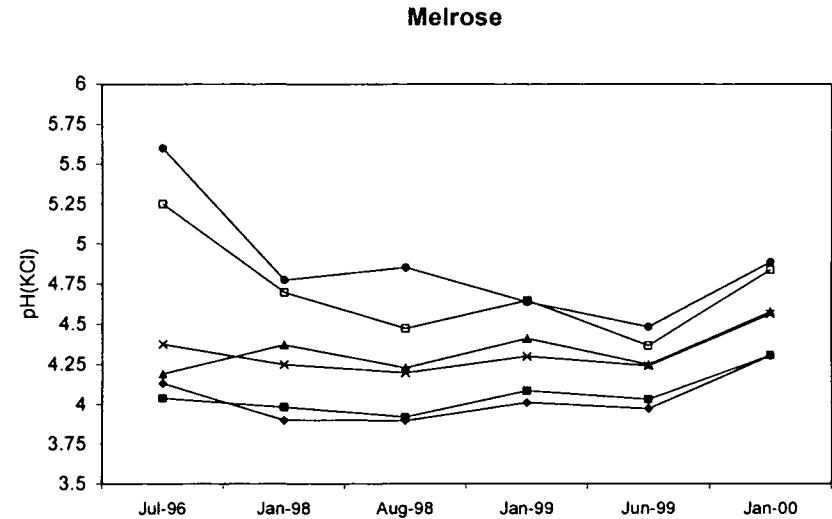
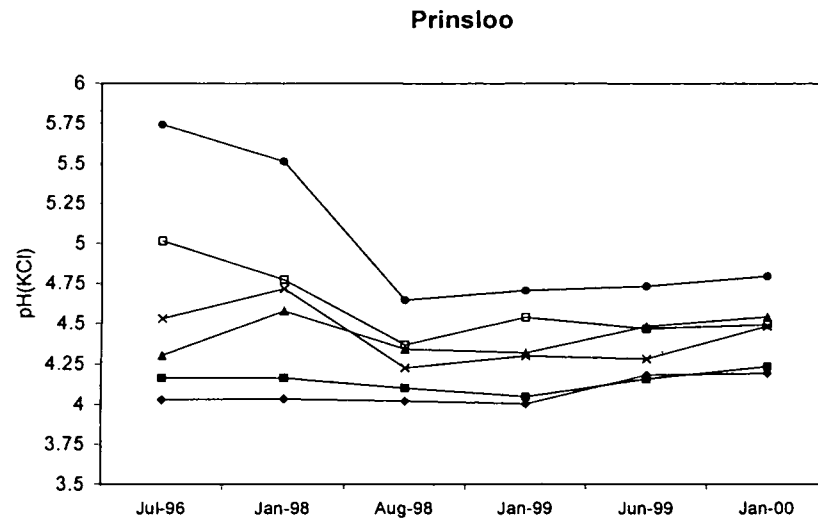
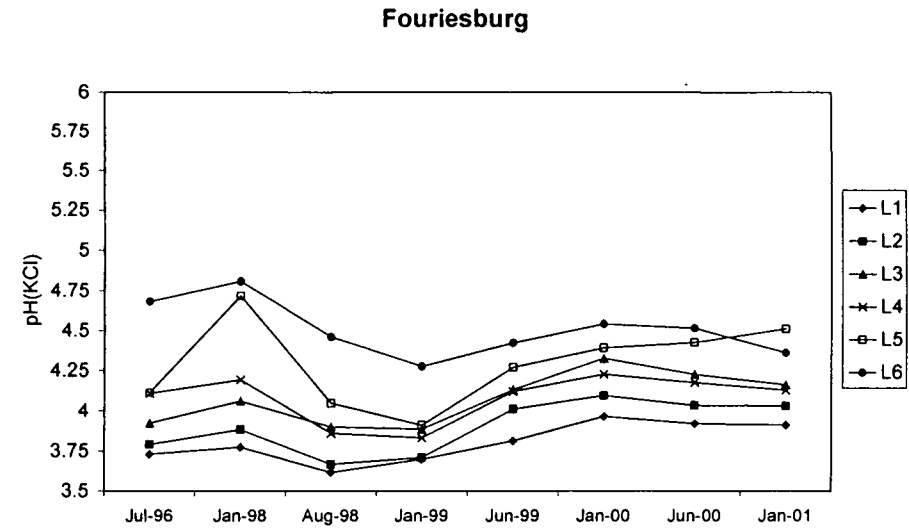
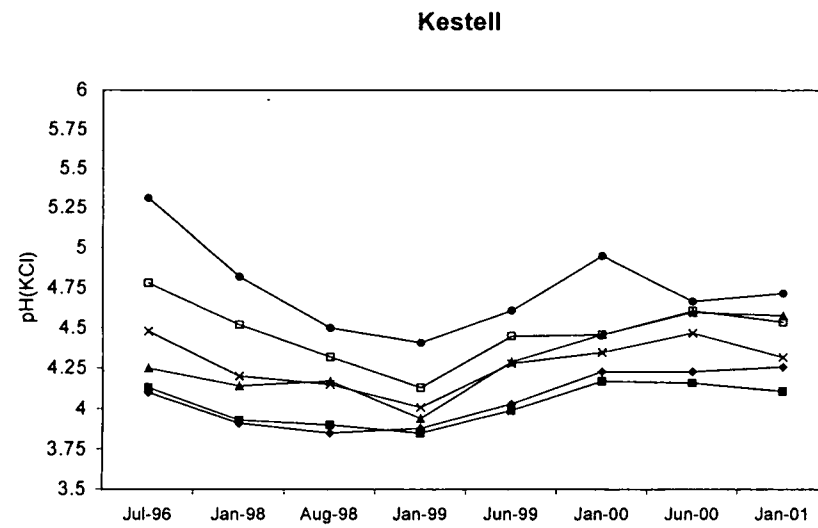
**Betekenisvol vir $P=0.01$

3.3.3 Herversuring van gronde na bekalking

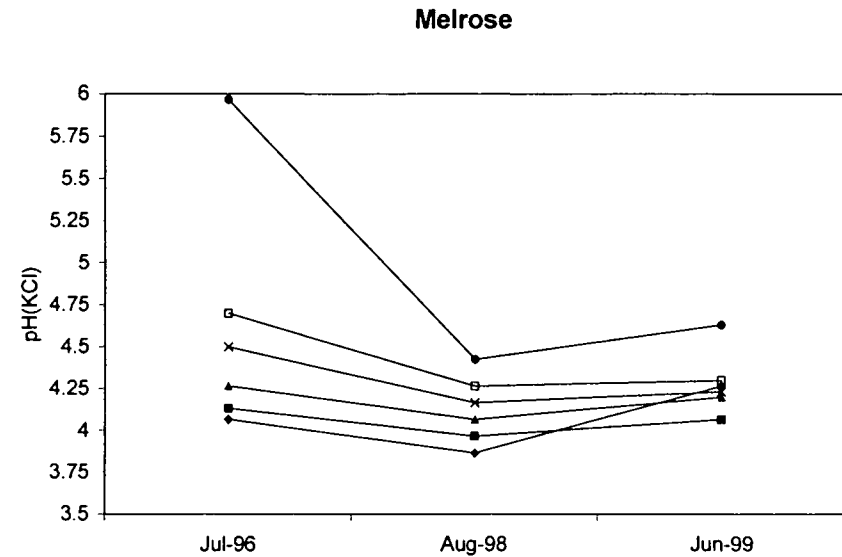
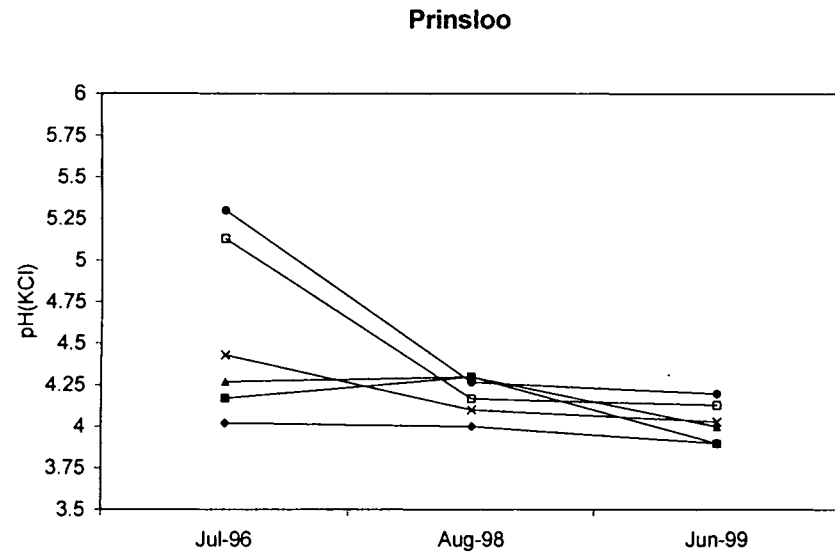
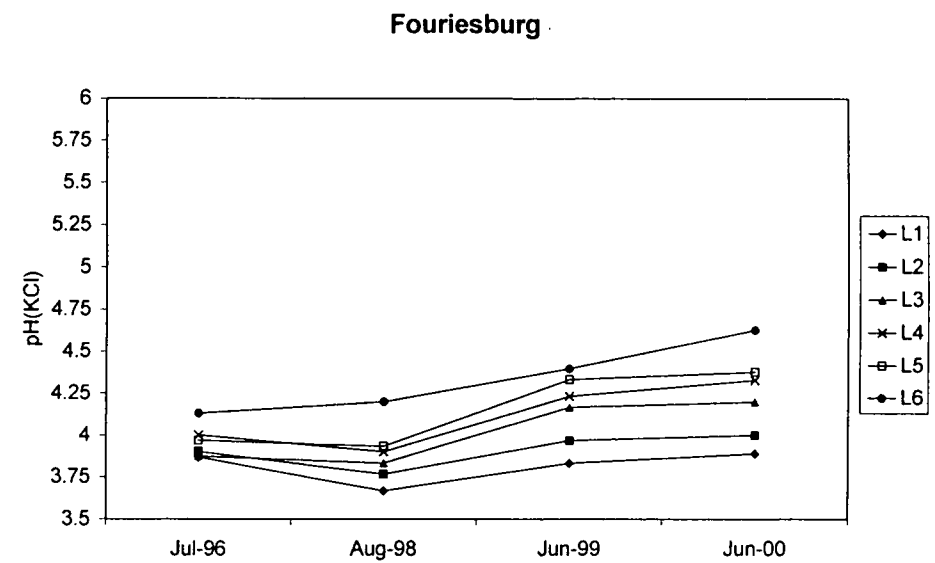
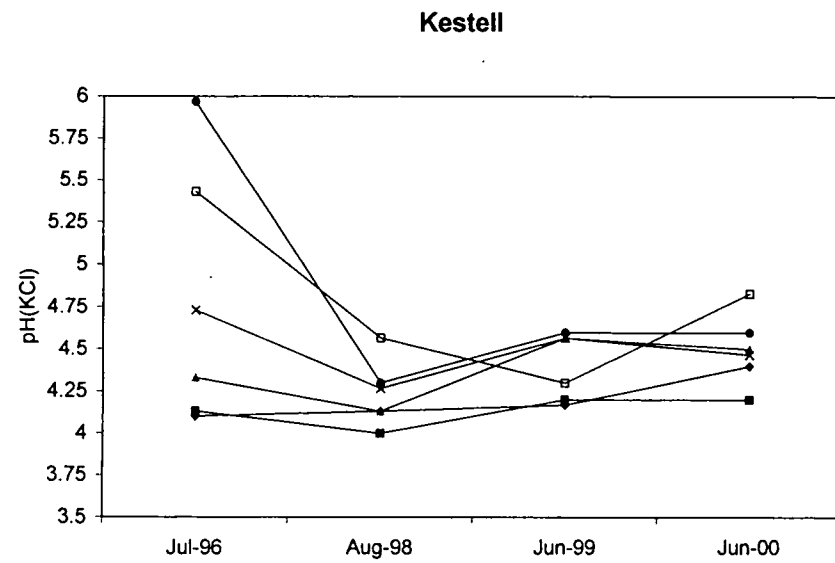
Die verandering in pH(KCl) van die bogronde en ondergronde by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose word onderskeidelik in Figure 3.6 en 3.7 getoon. Soos beskryf in Afdeling 2.2.3, is die gronde by al vier lokaliteite in April 1996 bekalk teen verskillende peile. In vergelyking met L1 waar geen kalk toegedien is nie, het L2 tot L6 alreeds in Julie 1996 'n betekenisvolle verhoging in die pH(KCl) van die bo- en ondergronde tot gevolg gehad. Soos verduidelik in Afdeling 3.2.1.2.2 was dit nie die geval by Fouriesburg se ondergronde nie. Volgens Figure 3.6 en 3.7 blyk dit asof die kalk vanaf April tot Julie 1996 bykans volledig gereageer het.

Daarna het die pH(KCl) van die bo- en ondergronde by die lokaliteite begin daal om 'n minimum in 1998 te bereik. Hierdie daling in pH(KCl) was groter by die hoër as die laer kalkpeile. Weens herversuring is die gronde by al vier lokaliteite in 1998 en slegs die gronde by Kestell en Fouriesburg in 1999 weer bekalk om die pH(KCl) na die oorspronklike teikenvlakke te verhoog. Daarom dat die pH(KCl) van die bogronde weer vanaf Januarie 1999 gestyg het. Hierdie styging was meer opvallend by Kestell en Fouriesburg, as by Prinsloo en Melrose.

'n Poging is aangewend om die herversuring van die gronde na bekalking in April 1996 te kwantifiseer. Dit is gedoen deur die verandering in pH(KCl) van die bogronde van L4, L5 en L6 persele oor die twee jaar periode vanaf Julie 1996 tot Augustus 1998 te bereken. Slegs die pH(KCl) van die L4, L5 en L6 persele was in Julie 1996 naby of hoër as die drumpelwaarde van 4.5 vir koringverbouing. Hierdie verandering in pH(KCl) is gebruik om met behulp van Vergelyking 3.1 die kalkbehoefte te bereken, ten einde die pH(KCl) van die L4, L5 en L6 weer te verhoog tot die vlakke in Julie 1996 (Tabel 3.23).



Figuur 3.6 Seisoenale verandering van pH (0-200mm) nadat kalkbehandelings toegepas is op die vier lokaliteite.



Figuur 3.7 Seisoenale verandering van pH (200-400mm) nadat kalkbehandelings toegepas is op die vier lokaliteite.

Tabel 3.23 Hoeveelheid kalk (ton ha⁻¹ jaar⁻¹) nodig om herversuring in die bogronde, by die L4, L5 en L6 persele van Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose teen te werk.

Lokaliteit	Kalkpeil	*pH(KCl)	Hoeveelheid kalk (ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
			Bereken
Kestell	L4	4.48	1.04
	L5	4.77	1.54
	L6	5.31	3.04
Fouriesburg	L4	4.11	0.82
	L5	4.11	0.03
	L6	4.68	0.70
Prinsloo	L4	4.53	1.18
	L5	5.02	2.60
	L6	5.74	4.47
Melrose	L4	4.38	0.95
	L5	5.25	3.44
	L6	5.60	3.32

*Waardes met plant Julie 1996.

Soos reeds genoem was die daling in pH(KCl) oor tyd groter by die hoër kalkpeile as by die laer kalkpeile. Die meeste gronde se titrasiekurwes vir die pH-reeks 4 tot 6 is bykans lineêr (Loynachan, 1981; Tisdale & Nelson, 1975; Shoemaker *et al.*, 1961), daarom kan word verwag dat die afname in pH oor tyd lineêr sal wees, indien die suurheidsinsette uniform is.

Dit is duidelik nie altyd die geval nie, soos wat Williams, 1980 (onbekalkte gronde) en Mahoney & Uren, 1982 (bekalkte gronde) gevind het. Die onderskeie persone het gevind dat herversuring hoër is op hoër pH gronde en gronde wat swaar bekalk is. Dieselfde tendens het ook in hierdie ondersoek voorgekom (Tabel 3.23), met uitsondering van die Fouriesburggrond. Die bevinding word ook bevestig deur Edmeades *et al.* (1984), wat beweer dat meer kalk benodig word om 'n spesifieke grond se pH bokant 6 te hou, as wat benodig word om die pH tussen 5.6 en 5.8 te hou. In werklikheid beteken dit dat die gronde nie groot hoeveelhede kalk doeltreffend kan hanteer nie, en

dat gereelde toediening van kleiner hoeveelhede kalk meer effektief sal wees. Meer gereelde toedienings van kleiner hoeveelhede kalk word ook deur verskeie ander navorsers aanbeveel (Blake *et al.*, 1999; Gascho & Parker, 2001). Die tempo van herversuring hang dus af van, die piek pH na bekalking, die jaarlikse suurinsette en die grond se bufferkapasiteit.

3.3 Gevolgtrekkings

- Al die gronde wat in die studie gebruik is, hetsy in die inkubasie- of veldproewe het goed op bekalking gereageer. Dit is bevestig deur 'n styging in pH(KCl) en daling in %SV in die bogrond (0-200 mm) sowel as die ondergrond (200-400 mm).
- Die kalkbehoeftebepaling volgens die inkubasiekalkbehoefte, die metode van Peech (1965) en veldkalkbehoefte het aansienlik gewissel. Die SMP-buffermetode van Shoemaker *et al.* (1961) kan beslis heroorweeg word vir kalkbehoeftebepalings deur die laboratorium.
- Goeie verwantskappe tussen $\Delta\%SV$ en $\Delta pH(KCl)$ in die inkubasie- en veldproewe het by al die gronde voorgekom. Dit impliseer dat enige een van die twee grondsuurheidsparameters vir die bepaling van kalkbehoefte, gebruik kan word. Daar is besluit om pH(KCl) is as suurheidsparameter te gebruik, aangesien dit onder veldtoestande 'n effe beter korrelasie met die kalkpeile gegee het as %SV.
- Deur die kombinerings van inkubasie- en velddata is 'n model ontwikkel waarmee die kalkbehoefte van gronde in die Oos-Vrystaat bereken kan word met eenvoudige parameters, soos die verandering in pH(KCl) wat met bekalking bereik wil word en die klei-inhoud van die betrokke grond.
- Die resultate van die studie het ook, soos menigte ander studies getoon dat bekalking 'n inpak het op grondvrugbaarheidsparameters. Vlakke van P het byvoorbeeld betekenisvol afgeneem onder inkubasietoestande, maar stabiel gebly onder veldtoestande. Bekalking het die KUK van die gronde in die meeste gevalle betekenisvol verhoog, met die gevolg dat meer Ca en Mg geadsorbeer is.

- Herversuring het na bekalking voorgekom en was vinniger by die hoër kalkpeile as die laer kalkpeile. Kleiner, maar meer gereelde bekalkings kan in dié opsig, die chemiese bestuur van gronde verbeter.

HOOFSTUK 4

EFFEK VAN KALKTOEDIENING OP DIE OPBRENGS, KWALITEIT EN ONTWIKKELING VAN KORING.

4.1 Inleiding

Vir die koringprodusent van Suid-Afrika is graanopbrengs van groot belang, aangesien dit die hoeveelheid van die verhandelbare produk bepaal. In die strewe na 'n hoë opbrengs, kan die begrippe volhoubaarheid en wins nie weggelaat word nie. Dit beteken dat die produsent 'n kwaliteit produk beskikbaar moet stel wat maklik verhandel, sonder om die omgewing te benadeel. 'n Hoë opbrengs kan egter nie realiseer, indien die groei en ontwikkeling van die koring reeds op 'n vroeë stadium deur gronduurheid beperk word nie.

Gronduurheid beperk die groei en ontwikkeling van plante nie net as gevolg van 'n tekort aan P, Ca, Mg en Mo nie, maar ook weens die toksiese effek van Al, Mn en H (Ritchie, 1989; Haynes, 2001). Die toksiese effek van veral Al word egter as die mees algemeenste oorsaak van opbrengsverliese beskou (Ritchie, 1989). Foy (1988) en Wright (1989) bevestig saam met menigte ander navorsers dat Al die belangrikste groeibeperkende faktor is, wanneer die pH(H₂O) van grond laer as vyf is.

Die hoofrede vir bekalking van suurgronde is om die bogenoemde beperkende faktore op te hef. 'n Toename in die graanopbrengs van koring as gevolg van bekalking (Mahler, 1986; Nobel, 1991; Horne *et al.*, 1995; Bosch *et al.*, 1996a), word dus toegeskryf aan groter hoeveelhede plantbeskikbare P, Ca, Mg en Mo, asook die uitskakeling van toksiese hoeveelhede van Al, Mn en H. Navorsing het ook getoon dat bekalking die mikrobiële biomassa en dus ensiemaktiwiteit in die grond verhoog, wat die mineralisasie van organiese N en S bevorder en sodoende ook opbrengs verhoog (Edmeades *et al.*, 1981; Haynes & Swift, 1988; Badalucco *et al.*, 1992). Gevolglik is daar meer plantreste wat bevorderlik is vir meer organiese

materiaal en dus beter struktuur in die grond (Haynes, 1984; Haynes & Naidu, 1998).

Genetiese verskille tussen koringcultivars om hoë vlakke van Al in die grond te kan verdra, word deur verskeie navorsers beklemtoon (Foy, 1988; Knobel, 1991; Purchase *et al.*, 1995; Bosch *et al.*, 1996a; Tang *et al.*, 2001). Martini *et al.* (1977) het getoon dat sekere Brasiliaanse cultivars wat op gronde met pH's van 4.5 tot 5.5 ontwikkel is, glad nie op bekalking reageer nie en selfs 'n negatiewe opbrengsrespons toon. Ander cultivars het weer 'n positiewe opbrengsresponse getoon wanneer die grond bekalk word tot by 'n Al-versadiging van slegs 4%. In Australië rapporteer Scott *et al.* (2001) dat op suurgronde cultivars wat Al-verdraagsaam is 'n 63 tot 93% hoër opbrengs gee as cultivars wat nie Al-verdraagsaam is nie. Scott & Fisher (1989) beklemtoon dat alhoewel Al-verdraagsame cultivars hoër opbrengste gee, bekalking van suurgrond nog steeds van uiterste belang is vir volhoubare koringproduksie.

Die gebruik van Al-verdraagsame cultivars om die probleem van grondsuurheid oor die korttermyn te oorbrug, is ook deur Knobel (1991) en Bosch *et al.* (1996a) in Suid-Afrika gedemonstreer. Aanplanting van sulke cultivars sonder bekalking verhoed nie verdere versuring van grond nie, met die gevolg dat selfs Al-verdraagsame cultivars se opbrengs mettertyd benadeel kan word. Volgens Bosch *et al.* (1996a) kan Al-verdraagsame cultivars opbrengsverliese van tot 20% toon by 'n pH(KCl) van 3.8 en %SV van 32.5%. Die aanplanting van Al-verdraagsame cultivars kan nooit die plek van bekalking inneem nie. Daarom kan die belangrikheid van bekalking van suurgronde vir volhoubare koringproduksie nie oorbeklemtoon word nie. Die gebruik van Al-verdraagsame cultivars kan wel bekalking uitstel en is volgens Foy (1983) en Kohli & Rajaram (1988) in seker situasies die enigste uitweg, veral waar infrastruktuur vir bekalking ontbreek.

Een van die belangrikste kenmerke wat goeie Al-verdraagsame cultivars onderskei van medium en swak Al-verdraagsame cultivars, is die wortelontwikkeling daarvan op suurgronde. Die wortels van swak Al-verdraagsame

cultivars sal volgens Ohki (1985) kort en verdik wees. Verder sal die sekondêre wortelontwikkeling swak wees, met die gevolg dat minder water en voedingstowwe vir die bogrondse groei beskikbaar sal wees. Bosch *et al.* (1996b) het aangetoon dat die Al-verdraagsame cultivar Tugela-DN 'n betekenisvol langer wortellengte op groeistadium 20 (Joubert, 1974), as die medium Al-verdraagsame cultivar SST 124 en swak Al-verdraagsame cultivar Betta-DN het. Soortgelyke resultate is deur Foy (1987) gerapporteer, naamlik dat die wortelopbrengs van die goeie Al-verdraagsame cultivar BH1146 en die van die swak Al-verdraagsame cultivar Sonora 63 dieselfde was in 'n grond waarvan die Al-versadiging onderskeidelik 60 en 20% was. Hy kom tot die gevolgtrekking dat enige grondparameter wat gebruik word om Al-toksisiteit aan te dui, ook die Al-verdraagsaamheid van cultivars binne spesies in ag moet neem.

Graanproteïen en hektolitermassa is die twee belangrikste kwaliteitsparameters wat tot redelik onlangs vir gradering van koring in Suid-Afrika gebruik is. Intussen is valgetal ook as 'n parameter vir die doel aanvaar. Hierdie kwaliteitseienskappe van koring is van kardinale belang vir die produsent, aangesien dit die ekonomiese waarde van die graan bepaal. Dit is daarom belangrik om te verseker dat optimale graankwaliteit verkry word en dat produksieriskio's verbonde daaraan, sover as moontlik bestuur word.

Aangesien daar 'n negatiewe verband tussen opbrengs en graanproteïen bestaan, (Goos *et al.*, 1982; Cox *et al.*, 1985; Morris & Paulsen, 1985) kan omgewingtoestande 'n bepalende rol speel in die uiteindelijke graanproteïen. Die groei en ontwikkeling van koring kan deur omgewingtoestande beperk word, wat tot gevolg het dat die opgeneemde stikstof in die plant vir proteïensintese, ten koste van koolhidraatproduksie aangewend word (Fowler *et al.*, 1990). Die gevolg hiervan, is 'n hoër graanproteïen by laer opbrengsvlakke.

Hektolitermassa is cultivar-gekoppeld, en sal afhang van die omgewingstoestande wat tydens die korrelvulperiode heers. Uitermatige

grondwater- en hittestremming tydens die korrelvulperiode, aanhoudende reën tydens oes en sekere plantsiektes kan 'n lae hektolitermassa tot gevolg hê (Anon, 2001). Bosch (1995) beweer dat die hektolitermassa wel deur grondsuurheid beïnvloed kan word, en dat swak Al-verdraagsame cultivars 'n laer hektolitermassa as goeie Al-verdraagsame cultivars op suurgronde het.

Die voorkoming en bestuur van grondsuurheid is dus vir die produsent van groot belang, vanweë die feit dat die graanopbrengs en kwaliteit van koring daardeur benadeel word. Volgens Helyar (1991) is daar vier breë beginsels waarop die voorkoming en bestuur van grondsuurheid gebaseer is. Eerstens, moet die netto produksie van suurione in die grond geminimaliseer word, deur voedingstofverlies van, veral stikstof tot die minimum te beperk. Tweedens, moet cultivars wat aangepas is om op suurgronde te groei gebruik word, sodat die maksimum hoeveelheid voedingstowwe gesirkuleer kan word. Derdens, moet gronde bekalk word indien die versuring daarvan nie beheer kan word nie. Vierdens kan die opsie uitgeoefen word, om byvoorbeeld molibdeen en suurverdraagsame *Rhizobia* toe te dien, wat plante in staat stel om op suurgrond te groei.

Die geweldige uiteenlopende omgewingstoestande wat op bekalkte en onbekalkte gronde heers, kan op verskeie metodes gekwantifiseer word. Eerstens sal die chemiese status van die gronde 'n duidelike aanduiding gee van die uiterstes wat heers. Plantontwikkeling, opbrengs, voedingstofverbruik en dikwels ook die kwaliteit sal deur die swak omgewingstoestande weerspieël word. Daarom was die doel van hierdie Hoofstuk om die effek van kalktoediening op die opbrengs, kwaliteit, ontwikkeling en voedingstofonttrekking van koringcultivars met verskillende Al-verdraagsaamheid, te bepaal.

4.2 Resultate en bespreking

4.2.1 Opbrengs

Die toediening van kalk aan die bogronde van die vier lokaliteite het 'n beduidende invloed op die grondsuurheidsparameters pH(KCl), US en %SV gehad (Tabel 3.2), met die gevolg dat die koringplante 'n positiewe opbrengsreaksie getoon het op die verbeterde grondchemiese toestand (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die opbrengs van koring by Kestell (Kes), Fouriesburg (Fou), Prinsloo (Pri) en Melrose (Mel) gehad het.

Meting	Kalkpeile (L)				Cultivars (C)				LxC			
	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel
Opbrengs												
1996	nb	*	*	*	*	*	*	*	nb	*	*	nb
1998	-	*	*	*	-	*	*	*	-	nb	nb	nb
1999	nb	nb	nb	-	*	*	*	-	*	nb	*	-
2000	*	*	-	-	*	*	-	-	*	*	-	-

* -Betekenisvol by $P \leq 0.05$.

nb -Nie betekenisvol nie.

- Geen data.

Hiervolgens het die kalkpeile, wat as die hoofbehandeling in die verdeelde perseel ontwerp gebruik is, in 66% van die gevalle die opbrengs betekenisvol beïnvloed. Daarenteen het die cultivars wat as sub-behandelings gedien het, elke jaar by al die lokaliteite 'n betekenisvolle invloed op die opbrengste gehad. Die kalkpeil-cultivar interaksie het variërende resultate tussen die verskillende jare en lokaliteite opgelewer. Dus is dit duidelik dat daar verskille tussen jare en lokaliteite voorgekom het, en die opbrengsdata van elke jaar en lokaliteit sal daarom afsonderlik bespreek word.

4.2.1.1 Kestell

Die klimaatstoestande was gunstig gedurende 1996 en 'n bogemiddelde reënval het tydens die jaar voorgekom (Tabel 2.3). Onder die gunstige toestande kon egter slegs 'n gemiddelde proefopbrengs van 2.09 ton ha^{-1} realiseer, as gevolg van grondsuurheid (Tabel 4.2). In die jaar het 'n stygende opbrengs, alhoewel nie betekenisvol nie, met 'n toename in kalkpeil voorgekom. Die drie cultivars wat in die proef gebruik is, het wel betekenisvolle opbrengsverskille getoon: Tugela-DN (GAV) > SST 124 (MAV) = Karee (SAV). Die interaksie tussen kalkpeile en cultivars was nie betekenisvol in 1996 nie.

Minder gunstige klimaatstoestande met ondergemiddelde reënval, het in 1999 voorgekom (Tabel 2.3), en word deur die gemiddelde proefopbrengs van 0.95 ton ha^{-1} weerspieël (Tabel 4.2). Die reaksie op bekalking in die jaar was soortgelyk as in 1996, naamlik nie betekenisvol nie, alhoewel opbrengs gestyg het met 'n toename in kalkpeil. Daar is wel betekenisvolle opbrengsverskille tussen die drie cultivars gemeet: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) > Limpopo (SAV). Die interaksie tussen kalkpeile en cultivars was betekenisvol, wat aangedui het dat die Tugela-DN (GAV) by die meeste kalkpeile 'n hoër opbrengs as die ander twee cultivars opgelewer het. Gariep (MAV) se opbrengs was ook hoër as die van Limpopo (SAV), by die meeste kalkpeile, behalwe by L4.

Die jaar 2000 is gekenmerk deur bogemiddelde en goed verspreide reënval (Tabel 2.3), wat 'n gemiddelde proefopbrengs van 3.43 ton ha^{-1} tot gevolg gehad het (Tabel 4.2). Hierdie gunstige klimaatstoestande kon egter nie die suurheidsbeperking oorkom nie, en word weerspieël in die feit dat betekenisvolle opbrengsverskille tussen kalkpeile voorgekom het. Die drie cultivars se opbrengs was in die volgorde: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) = Elands (SAV).

Tabel 4.2 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die opbrengs (ton ha⁻¹) van koring in 1996, 1999 en 2000, asook die gemiddelde oor die drie jare by Kestell ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	2.21	2.45	3.11	1.97	2.62	2.64	2.50
	MAV	1.59	1.86	1.69	2.16	2.50	2.08	1.98
	SAV	1.36	1.50	1.57	1.88	1.99	2.36	1.78
	Gem	1.58	1.94	2.12	2.00	2.37	2.36	2.09
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.32						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	25.90						
1999	GAV	1.03	1.11	0.90	1.60	1.72	1.21	1.26
	MAV	0.62	0.82	0.87	0.80	0.98	1.31	0.90
	SAV	0.37	0.43	0.68	0.94	0.82	0.84	0.68
	Gem	0.67	0.79	0.81	1.11	1.17	1.12	0.95
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.13						
	KBV (LxC) ¹	0.35						
	KBV (LXC) ²	0.52						
	KV (%)	27.50						
2000	GAV	3.63	4.06	4.12	3.47	4.08	4.42	3.96
	MAV	2.70	2.77	3.56	3.04	3.24	3.43	3.12
	SAV	2.23	2.32	3.88	3.62	3.53	3.77	3.22
	Gem	2.85	3.05	3.85	3.38	3.61	3.87	3.43
	KBV (L)	0.74						
	KBV (C)	0.23						
	KBV (LxC) ¹	0.61						
	KBV (LXC) ²	0.87						
	KV (%)	12.90						
Gemiddelde	GAV	2.29	2.54	2.71	2.35	2.81	2.76	2.57
	MAV	1.63	1.81	2.04	2.00	2.24	2.27	2.00
	SAV	1.32	1.42	2.04	2.15	2.11	2.32	1.89
	Gem	1.75	1.92	2.26	2.16	2.39	2.45	2.16
	KBV (L)	0.39						
	KBV (C)	0.39						
	KBV (LxC) ¹	0.35						
	KBV (LXC) ²	0.48						
	KV (%)	19.80						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Die kalkpeil-cultivar interaksie wat ook betekenisvol was, het weereens bevestig dat al drie cultivars goed reageer op bekalking, maar dat Tugela-DN (GAV) telkens beter presteer.

Die tendense in opbrengs wat tussen die kalkpeile, cultivars en kalkpeile-cultivar interaksie vir elke jaar uitgewys is, word ook deur die gemiddelde opbrengs oor die drie jare weerspieël (Tabel 4.2). Daar kan dus tot die slotsom gekom word dat al die cultivars goed op bekalking gereageer het. Tugela-DN (GAV) het deurgaans baie beter gepresteer as die cultivars wat minder verdraagsaam is teenoor aluminium. Die opbrengsverskille tussen die MAV- en SAV-cultivars was meestal klein en ook nie altyd konsekwent nie.

4.2.1.2 Fouriesburg

Bogemiddelde reënval het in 1996 voorgekom (Tabel 2.3), maar grondsuurheid het die gemiddelde proefopbrengs beperk tot 1.43 ton ha⁻¹ (Tabel 4.3). Betekenisvolle opbrengsverskille het tussen die kalkpeile en cultivars voorgekom, met die gevolg dat die interaksie ook betekenisvol was. Die opbrengs van al drie cultivars het gestyg met 'n toename in kalkpeil. By elke kalkpeil het Tugela-DN (GAV) by verre die hoogste opbrengs gegee, gevolg deur SST 124 (MAV) en dan Karee (SAV). Laasgenoemde twee cultivars se lae opbrengs by die hoër kalkpeile is waarskynlik te wyte aan die hoë suurheid van die ondergrond by die lokaliteit (Tabel 3.3).

In 1998 was die totale reënval 891 mm en dus weer bogemiddeld (Tabel 2.3). Die gemiddelde proefopbrengs was in die jaar aansienlik hoër as 1996, naamlik 2.76 ton ha⁻¹ (Tabel 4.3). Soos in 1996, het die opbrengs betekenisvol verskil tussen die kalkpeile en cultivars, maar die interaksie was nie betekenisvol nie. Die gemiddelde opbrengs van die drie cultivars het gestyg met 'n toename in kalkpeil en 'n maksimum van 3.29 ton ha⁻¹ by L5 bereik. Tugela-DN (GAV) het 'n gemiddelde opbrengs van 3.40 ton ha⁻¹ gegee, gevolg deur Gariep (MAV) en Limpopo (SAV) met gemiddelde opbrengste van 2.43 en 2.45 ton ha⁻¹ respektiewelik.

Die totale reënval was in 1999 baie laag, naamlik 522 mm (Tabel 2.3) wat 'n laer proefopbrengs van 1.07 ton ha⁻¹ tot gevolg gehad het (Tabel 4.3). Geen betekenisvolle opbrengsverskille het tussen kalkpeile voorgekom nie, maar 'n stygende tendens met bekalking is wel waargeneem. Die cultivars het wel

Tabel 4.3 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die opbrengs (ton ha⁻¹) van koring in 1996, 1998, 1999 en 2000, asook die gemiddelde oor die vier jare by Fouriesburg ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	2.14	2.61	2.73	2.65	2.67	3.31	2.68
	MAV	0.17	0.59	0.88	1.10	1.01	2.15	0.98
	SAV	0.10	0.22	0.41	0.49	0.51	2.11	0.64
	Gem	0.80	1.14	1.34	1.41	1.39	2.52	1.43
	KBV (L)	0.35						
	KBV (C)	0.16						
	KBV (LxC) ¹	0.38						
	KBV (LXC) ²	0.46						
	KV (%)	18.50						
1998	GAV	2.71	3.41	3.34	3.84	4.00	3.13	3.40
	MAV	1.26	2.15	2.56	2.62	2.85	3.12	2.43
	SAV	0.71	1.70	3.21	3.07	3.01	3.02	2.45
	Gem	1.56	2.42	3.04	3.18	3.29	3.09	2.76
	KBV (L)	0.59						
	KBV (C)	0.35						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	21.90						
1999	GAV	1.54	1.46	1.49	1.53	1.44	1.46	1.48
	MAV	0.67	0.92	0.85	0.78	1.03	1.05	0.88
	SAV	0.47	0.52	1.01	1.07	0.99	1.08	0.85
	Gem	0.89	0.97	1.12	1.13	1.15	1.20	1.07
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.17						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	27.50						
2000	GAV	3.51	3.90	4.07	4.49	4.36	4.41	4.12
	MAV	2.11	3.02	4.15	3.88	3.65	4.08	3.48
	SAV	1.79	2.16	3.79	4.00	4.47	3.31	3.25
	Gem	2.47	3.02	4.00	4.12	4.16	3.93	3.62
	KBV (L)	1.04						
	KBV (C)	0.29						
	KBV (LxC) ¹	0.71						
	KBV (LXC) ²	1.16						
	KV (%)	13.70						
Gemiddelde	GAV	2.47	2.84	2.91	3.13	3.12	3.08	2.92
	MAV	1.05	1.69	2.11	2.09	2.13	2.60	1.94
	SAV	0.77	1.15	2.10	2.16	2.24	2.38	1.80
	Gem	1.43	1.89	2.37	2.46	2.50	2.68	2.22
	KBV (L)	0.30						
	KBV (C)	0.13						
	KBV (LxC) ¹	0.31						
	KBV (LXC) ²	0.39						
	KV (%)	19.70						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

soos in die verlede betekenisvol verskil van mekaar: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) = Limpopo (SAV). Soos in 1998 was daar dié jaar ook geen betekenisvolle interaksie tussen die kalkpeile en cultivars nie.

Die jaar 2000 is gekenmerk deur goeie reënval gedurende Mei, September en Oktober (Tabel 2.3), wat in die hoër gemiddelde proefopbrengs van 3.62 ton ha⁻¹ weerspieël word (Tabel 4.3). Soos in 1996 het die opbrengs betekenisvol verskil tussen die kalkpeile en cultivars, met 'n betekenisvolle interaksie daar tussen. Al drie cultivars het goed op bekalking gereageer. Tugela-DN (GAV) het by elke kalkpeil die hoogste opbrengs gegee, gevolg deur Gariep (MAV) of Elands (SAV).

Die gemiddelde opbrengste oor die vier jaar by Fouriesburg, toon dat bekalking betekenisvolle opbrengsverhogings tot gevolg gehad het (Tabel 4.3). Hierdie opbrengsverhogings word tot 'n groot mate bepaal deur die cultivars se verdraagsaamheid teenoor aluminium. Die reaksie van die SAV- en MAV-cultivars op bekalking was heelwat beter as die van die GAV-cultivar.

4.2.1.3 Prinsloo

Soos gemeld in Afdeling 2.1 is die Prinsloo en Melrose lokaliteite naby aan Harrismith geleë, met die gevolg dat die reënvaldata van Harrismith op die twee lokaliteite van toepassing is (Tabel 2.3). Gedurende 1996 het 'n bogemiddelde reënval, met 'n goeie verspreiding voorgekom (Tabel 2.3). 'n Gemiddelde proefopbrengs van 2.53 ton ha⁻¹ is in die jaar aangeteken (Tabel 4.4). Die opbrengste het betekenisvol verskil tussen die kalkpeile en cultivars en daar was ook 'n betekenisvolle interaksie. In teenstelling met wat tot dus ver gerapporteer is, het Tugela-DN (GAV) nie op bekalking gereageer nie. Die ander twee cultivars, naamlik SST 124 (MAV) en Karee (SAV) het wel op bekalking gereageer. In weerwil hiervan, was die opbrengste van die drie cultivars by al die kalkpeile, behalwe L3 in die volgorde: Tugela-DN (GAV) > SST 124 (MAV) > Karee (SAV). Alhoewel die totale reënval effens hoër was in 1998 as in 1996 (Tabel 2.3), was die gemiddelde proefopbrengs ongeveer 0.5 ton ha⁻¹ laer (Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die opbrengs (ton ha⁻¹) van koring gedurende die 1996, 1998 en 1999 seisoene, asook die gemiddelde van die drie jare by Prinsloo ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	3.27	3.26	3.28	3.22	3.11	2.98	3.19
	MAV	1.77	2.41	2.16	2.71	3.07	2.55	2.45
	SAV	0.79	1.76	2.48	2.39	2.40	2.01	1.97
	Gem	1.94	2.48	2.64	2.77	2.86	2.51	2.53
	KBV (L)	0.41						
	KBV (C)	0.24						
	KBV (LxC) ¹	0.60						
	KBV (LXC) ²	0.62						
	KV (%)	16.50						
1998	GAV	2.71	2.52	3.04	2.19	2.51	3.00	2.66
	MAV	1.37	1.22	1.67	1.85	2.16	2.31	1.76
	SAV	1.26	1.70	1.99	1.55	1.83	2.21	1.76
	Gem	1.78	1.82	2.23	1.86	2.16	2.50	2.06
	KBV (L)	0.48						
	KBV (C)	0.22						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	21.90						
1999	GAV	2.24	2.00	2.33	2.14	2.24	1.55	2.08
	MAV	1.77	1.57	1.52	1.89	2.13	1.49	1.73
	SAV	0.90	1.30	1.43	1.51	1.40	1.52	1.34
	Gem	1.64	1.62	1.76	1.84	1.92	1.52	1.72
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.18						
	KBV (LxC) ¹	0.45						
	KBV (LXC) ²	0.63						
	KV (%)	18.10						
Gemiddelde	GAV	2.74	2.60	2.88	2.51	2.61	2.51	2.64
	MAV	1.64	1.73	1.78	2.14	2.45	2.12	1.98
	SAV	0.98	1.58	1.96	1.81	1.87	1.91	1.69
	Gem	1.79	1.97	2.21	2.16	2.31	2.18	2.10
	KBV (L)	0.26						
	KBV (C)	0.12						
	KBV (LxC) ¹	0.30						
	KBV (LXC) ²	0.36						
	KV (%)	17.70						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Betekenisvolle opbrengsverskille het tussen die kalkpeile en cultivars voorgekom, terwyl die interaksie nie betekenisvol was nie. Soos wat telkens reeds uitgewys is, het Tugela-DN (GAV) 'n betekenisvol hoër opbrengs gegee

as Gariep (MAV) en Limpopo (SAV), wat nie onderling van mekaar verskil het nie.

Soos by al die ander lokaliteite, was die reënval gedurende 1999 heelwat laer as die langtermyn gemiddelde (Tabel 2.3), wat 'n drastiese impak op die opbrengs gehad het. In die jaar het die opbrengs, soos by die ander lokaliteite nie betekenisvol verskil tussen die kalkpeile nie, alhoewel 'n stygende tendens met bekalking voorgekom het. Onderlinge opbrengsverskille tussen die cultivars het wel voorgekom en was in die volgende orde: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) > Limpopo (SAV). Die interaksie tussen kalkpeile en cultivars was ook betekenisvol, wat wel 'n aanduiding is dat die kombinasie van kalkpeil en cultivar 'n positiewe invloed op opbrengs gehad het.

Die gemiddelde opbrengste wat oor die drie jaar by Prinsloo behaal is, het betekenisvol verskil tussen die kalkpeile en cultivars, met die gevolg dat die interaksie tussen die kalkpeile en cultivars ook betekenisvol was (Tabel 4.4). Hiervolgens het die SAV- en MAV-cultivars op bekalking gereageer en die GAV-cultivar nie. Nogtans was die opbrengste by al die kalkpeile behalwe L3 soos volg: GAV-cultivar > MAV-cultivar > SAV-cultivar.

4.2.1.4 Melrose

Dieselfde klimaatstoestande het by Melrose voorgekom gedurende 1996 as by Prinsloo, naamlik bogemiddelde reënval wat goed versprei was (Tabel 2.3). Die gemiddelde proefopbrengs was 2.05 ton ha^{-1} en betekenisvolle opbrengsverskille het tussen die kalkpeile en cultivars voorgekom, maar die interaksie was nie betekenisvol nie (Tabel 4.5). In dié jaar het die gemiddelde opbrengs van die drie cultivars gestyg van 1.73 ton ha^{-1} by L1 tot 2.95 ton ha^{-1} by L6. 'n Gemiddelde opbrengs van 1.60 ton ha^{-1} met Karee (SAV), 1.98 ton ha^{-1} met SST 124 (MAV) en 2.57 ton ha^{-1} met Tugela-DN (GAV), is oor die ses kalkpeile behaal.

In 1998 het soortgelyke klimaatstoestande as in 1996 voorgekom (Tabel 2.3), en word ook weerspieël in die gemiddelde proefopbrengs van 2.00 ton ha⁻¹ (Tabel 4.5). Net soos in 1996 het daar betekenisvolle opbrengsverskille tussen kalkpeile en cultivars voorgekom, maar die interaksie was nie betekenisvol nie. Die gemiddelde opbrengs van die drie cultivars het gestyg met 'n toename in kalkpeil en 'n maksimum van 2.30 ton ha⁻¹ by L5 bereik. In teenstelling met wat tot dusver gerapporteer is, was die gemiddelde opbrengs van die cultivars oor al die kalkpeile in die volgorde: Tugela-DN (GAV) > Limpopo (SAV) > Gariep (MAV).

Tabel 4.5 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die opbrengs (ton ha⁻¹) van koring in 1996 en 1998, asook die gemiddelde oor twee jare by Melrose ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	2.45	2.31	2.39	2.36	2.17	3.76	2.57
	MAV	1.77	1.63	1.29	2.19	2.37	2.63	1.98
	SAV	0.96	1.14	1.58	2.00	1.45	2.48	1.60
	Gem	1.73	1.69	1.75	2.19	2.00	2.95	2.05
	KBV (L)	0.61						
	KBV (C)	0.36						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	29.50						
1998	GAV	2.87	1.92	3.10	2.22	2.94	2.87	2.67
	MAV	1.04	1.37	1.19	1.94	1.85	0.98	1.39
	SAV	1.68	1.64	2.01	2.04	2.10	2.18	1.94
	Gem	1.87	1.64	2.10	2.07	2.30	2.01	2.00
	KBV (L)	0.35						
	KBV (C)	0.32						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	26.80						
Gemiddelde	GAV	2.66	2.12	2.74	2.29	2.56	3.31	2.61
	MAV	1.41	1.50	1.24	2.05	2.11	1.80	1.69
	SAV	1.32	1.39	1.79	2.02	1.77	2.33	1.77
	Gem	1.80	1.67	1.92	2.13	2.15	2.48	2.02
	KBV (L)	0.33						
	KBV (C)	0.24						
	KBV (LxC) ¹	0.58						
	KBV (LXC) ²	0.57						
	KV (%)	28.30						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Die gemiddelde opbrengste oor die twee jare by Melrose het betekenisvolle verskille in opbrengs tussen die kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie getoon (Tabel 4.5). Oor die algemeen was die reaksie op bekalking by die lokaliteit nie so bestendig as by van die ander lokaliteite nie.

Uit voorafgaande bespreking is dit duidelik dat verskille tussen lokaliteite en proefjare 'n groot invloed het op opbrengs wanneer koringcultivars wat verskil in verdraagsaamheid teenoor aluminium op suurgronde aangeplant word na bekalking. Daarom is 'n AMMI-analise (Additive main effects and multiplicative interaction analysis) op al die opbrengsdata uitgevoer om die prestasie van 'n spesifieke kombinasie van kalkpeil en cultivar by 'n bepaalde omgewing te verklaar.

Ten einde die AMMI-analise te doen is die lokaliteite x proefjare as omgewing en die kalkpeile x cultivars as genotipe gebruik. Die analise van variansie wat met die opbrengsdata gekry is, word in Tabel 4.6 opgesom.

Tabel 4.6 Analise van variansie om die invloed van omgewing (lokaliteit x proefjaar) en genotipe (kalkpeil x cultivars) op opbrengs vas te stel.

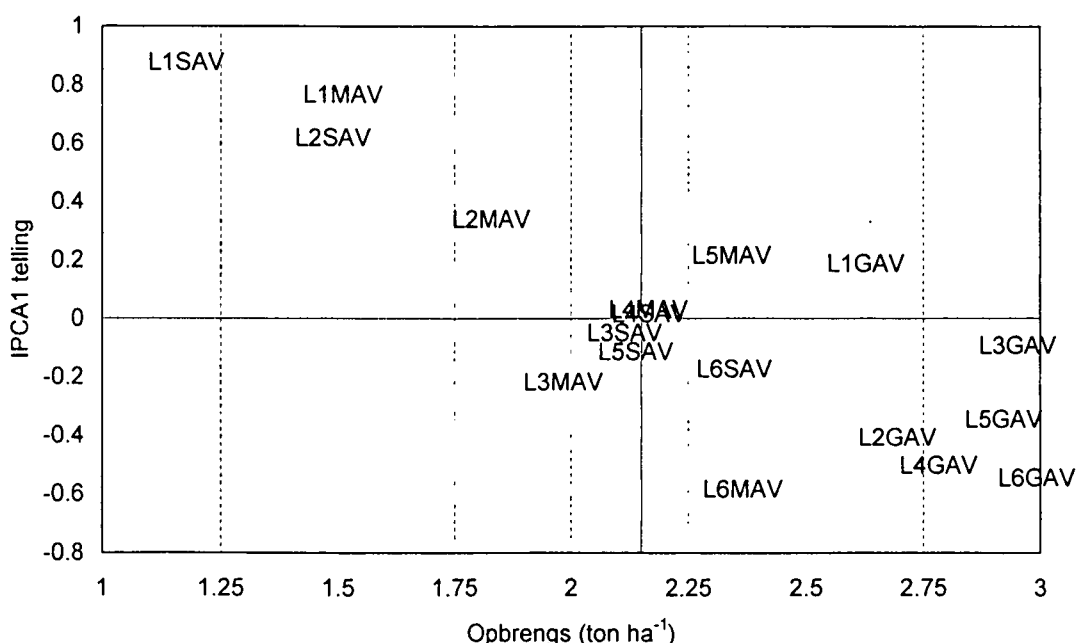
Bron	vg	SvK	GSvK	P
Totaal	863	1091.5	1.265	
Behandelings	215	900.7	4.189	
Omgewing (O)	11	549.3	49.937	*
Blokke	36	37.4	1.040	
Genotipe (G)	17	226.9	13.348	*
GxO	187	124.4	0.665	*
IPCA 1	27	41.2	1.525	*
IPCA 2	25	36.0	1.441	*
Residu	135	47.2	0.350	
Fout	612	153.5	0.251	

*P<0.001

Hiervolgens is dit duidelik dat beide die omgewing en genotipe, asook die interaksie daarvan, 'n betekenisvolle bydrae gelewer het tot die opbrengs. Die variansie komponente, gebaseer op die som van kwadrate, dui daarop

dat die invloed van die omgewing, genotipe en omgewing x genotipe interaksie op opbrengs, onderskeidelik 50.3, 20.8 en 11.4% was. Dit is dus duidelik dat die omgewing 'n groot invloed op die opbrengs gehad het, maar dat die genotipe ook 'n groot bydrae tot die opbrengs gelewer het. Die effek van omgewing x genotipe op opbrengs was ook betekenisvol, alhoewel IPCA 1 (Interaction principal component axis) en IPCA 2 onderskeidelik slegs 33 en 29% van die interaksie se som van kwadrate verklaar het.

In Figuur 4.1 word die AMMI-bistip van die IPCA 1 teen opbrengs gegee om die stabiliteit van 'n spesifieke kombinasie van kalkpeil en cultivar aan te dui. Elk van hierdie kombinasies wat gestip is, is die gemiddelde van 12 opbrengste, wat vanaf 1996 tot 2000 by die vier lokaliteite gemeet is. Die stabiliteit van so 'n kombinasie neem toe, hoe nader dit aan 'n IPCA 1-telling van 0 stip. Hiervolgens, as 'n arbitrêre IPCA 1-telling van -0.3 tot 0.3 as grenswaarde aanvaar word, was die volgende kombinasies die stabielste: GAV-cultivar by L1 en L3, MAV-cultivar by L3, L4 en L5 en die SAV-cultivar by L3, L4, L5 en L6.



Figuur 4.1 AMMI-bistip van IPCA 1-telling teen opbrengs vir verskillende kombinasies van kalkpeile (L1-L6) en cultivars (SAV, MAV en GAV).

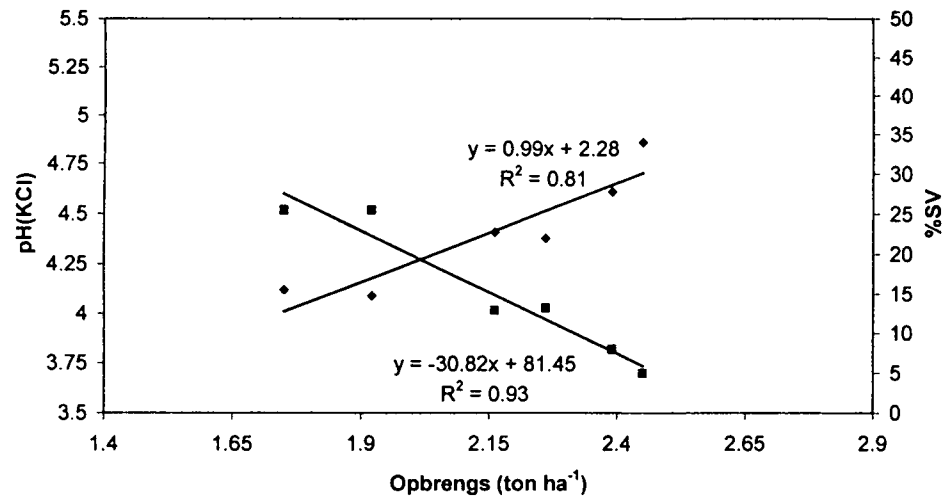
Inspeksie van Figuur 4.1 toon dat die kombinasie van die GAV-cultivar met kalkpeile 'n duidelike groepering vorm, wat bevestig dat dit die vermoë het om stabiele opbrengste op suurgronde te lewer. Daarenteen is die groepering van die SAV- en MAV-cultivars met kalkpeile nie so duidelik nie, alhoewel die MAV-cultivar oor die algemeen beter opbrengste as die SAV-cultivar by vergelykbare kalkpeile gegee het. Beide hierdie twee cultivars het ook goed op bekalking gereageer, wat nie die geval met die GAV-cultivar was nie.

Die gemiddelde opbrengs oor die vier lokaliteite vanaf 1996 tot 2000 was 2.15 ton ha⁻¹ (Figuur 4.1). Oor hierdie tydperk was die gemiddelde opbrengs van die SAV-, MAV-, en GAV-cultivars oor al die kalkpeile onderskeidelik 1.79, 1.92 en 2.71 ton ha⁻¹. Indien opbrengs en stabiliteit as kriteria geneem word, dan blyk dit dat die GAV-cultivar by L3 en die MAV- en SAV-cultivar by L4 die beste gevaar het. Die gemiddelde opbrengste van hierdie kombinasies, naamlik L3GAV, L4MAV en L4SAV was 2.85, 2.06 en 2.06 ton ha⁻¹ respektiewelik.

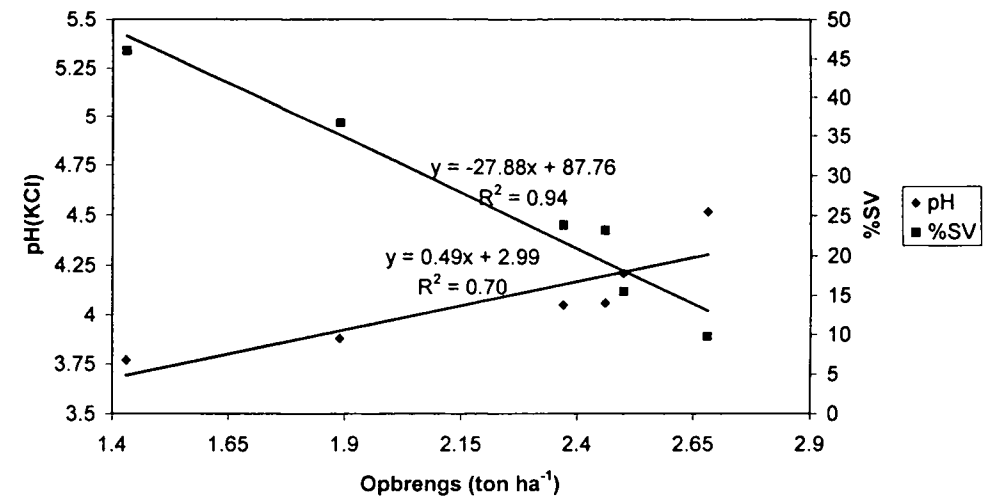
Bekalking het dus die opbrengs van koring op suurgrond beduidend verhoog en blyk essensieel te wees vir volhoubare koringproduksie in die Oos-Vrystaat. In die gebied word koring hoofsaaklik op residuele grondwater verbou en daarom is dit belangrik om enige stremming soos grondsuurheid tot die minimum te beperk. Die parameters pH(KCl) en/of %SV word gewoonlik gebruik om vas te stel of 'n grond bekalk moet word of nie. Daarom is die verwantskappe tussen opbrengs en die grondsuurheidsparameters pH(KCl) en %SV ondersoek per lokaliteit, oor al die proefjare, ongeag die cultivar.

Hierdie verwantskappe word in Figuur 4.2 getoon. Soos verwag, het die opbrengs toegeneem met 'n styging in pH(KCl) en daling in %SV. Oor die algemeen is goeie passings met hoë R²-waardes gekry. Die enigste passing wat nie betekenisvol was by 5% nie, is die verwantskap tussen opbrengs en pH(KCl) by Prinsloo met 'n R²-waardes van 0.31. 'n Vergelyking van die R²-waardes vir die verwantskappe opbrengs versus pH(KCl) en opbrengs versus %SV, dui daarop dat %SV die variasie in opbrengs beter verklaar as pH(KCl)

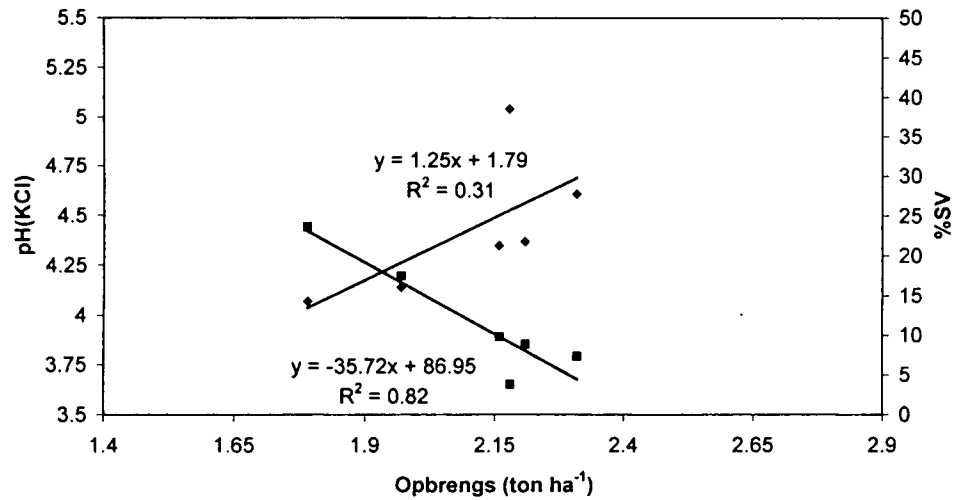
Kestell



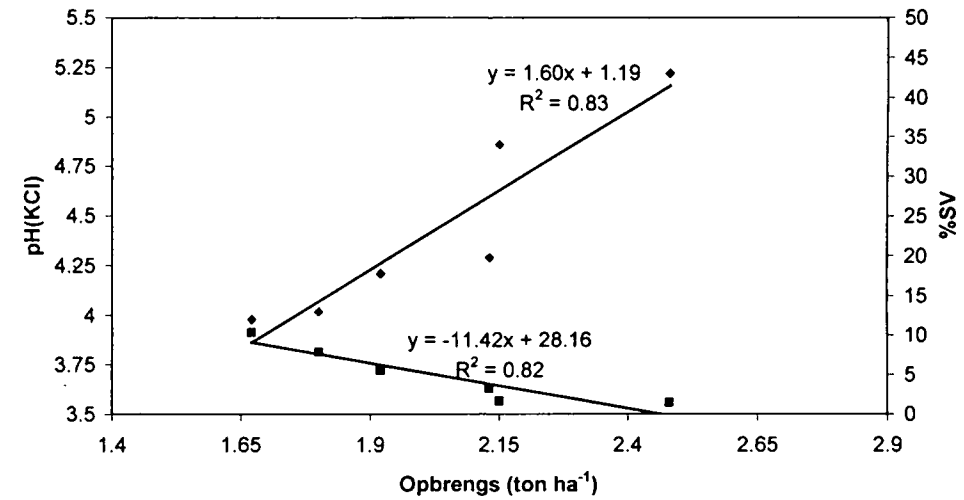
Fouriesburg



Prinsloo



Melrose



Figuur 4.2 Verwantskappe van opbrengs met pH(KCl) en %SV oor al die proefjare by Kestell, Fouriesburg, Prinsloo en Melrose ongeag cultivar.

by Kestell, Fouriesburg en Prinsloo. By Melrose was die R^2 -waardes van die verwantskappe opbrengs versus pH(KCl) en opbrengs versus %SV bykans dieselfde, naamlik 0.83 en 0.82.

4.2.2 Graanproteïen

Oor die algemeen het bekalking nie 'n betekenisvolle verskil in graanproteïen tot gevolg gehad nie, met die uitsondering van enkel jare by Prinsloo en Fouriesburg (Tabel 4.7).

Tabel 4.7 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die graanproteïen van koring by Kestell (Kes), Fouriesburg (Fou), Prinsloo (Pri) en Melrose (Mel) gehad het.

Meting	Kalkpeile (L)				Cultivars (C)				LxC			
	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel
Graanproteïen												
1996	nb	nb	*	nb	nb	nb	nb	*	nb	nb	nb	nb
1998	-	nb	nb	nb	-	nb	nb	nb	-	*	nb	nb
1999	nb	nb	*	-	*	*	*	nb	nb	*	nb	-
2000	nb	*	-	-	nb	nb	-	-	*	nb	-	-

*-Betekenisvol by $P \leq 0.05$.

nb -Nie betekenisvol nie.

- Geen data.

Die graanproteïen van die drie cultivars het oor die algemeen ook nie betekenisvolle verskil nie. Uitsonderings het wel in 1996 by die Melrose en in 1999 by Kestell, Fouriesburg en Prinsloo voorgekom. Betekenisvolle verskille in graanproteïen vir kalkpeil-cultivar interaksies was ook baie beperk.

4.2.2.1 Kestell

Geen betekenisvolle verskille in graanproteïen het in 1996 voorgekom nie, terwyl die graanproteïene betekenisvol verskil het tussen cultivars in 1999 (Tabel 4.8). Tugela-DN (GAV) en Limpopo (SAV) het nie onderling van mekaar verskil nie, maar beide het 'n betekenisvol hoër graanproteïen as

Gariëp (MAV) gehad. In 2000 seisoen was slegs die interaksie tussen kalkpeile en cultivars betekenisvol, geen duidelike patroon kon waargeneem word nie.

Tabel 4.8 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die graanproteïen (%) van koring in die 1996, 1999 en 2000 seisoene, asook die gemiddelde oor die drie jare by Kestell ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	11.98	11.95	12.03	11.43	11.40	11.38	11.69
	MAV	12.13	12.45	11.38	11.73	11.53	12.25	11.91
	SAV	11.25	11.28	11.53	11.20	11.30	11.88	11.40
	Gem	11.78	11.89	11.64	11.45	11.41	11.83	11.67
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	8.60						
1999	GAV	13.73	14.05	14.06	14.04	13.90	14.64	14.07
	MAV	13.19	13.05	13.10	13.50	13.96	13.75	13.42
	SAV	14.17	13.92	13.93	13.55	13.94	14.40	13.98
	Gem	13.70	13.67	13.69	13.70	13.93	14.26	13.83
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.29						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	3.60						
2000	GAV	11.32	10.73	11.10	11.07	10.80	10.48	10.92
	MAV	10.94	10.62	11.03	11.34	11.76	10.84	11.09
	SAV	11.24	11.76	10.78	11.51	10.70	11.37	11.23
	Gem	11.17	11.04	10.97	11.31	11.09	10.89	11.08
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	0.80						
	KBV (LXC) ²	0.73						
	KV (%)	5.00						
Gemiddelde	GAV	12.34	12.24	12.39	12.18	12.03	12.16	12.23
	MAV	12.08	12.04	11.84	12.19	12.41	12.28	12.14
	SAV	12.22	12.32	12.08	12.09	11.98	12.55	12.21
	Gem	12.22	12.20	12.10	12.15	12.14	12.33	12.19
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	5.20						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Aangesien die opbrengs van die SAV- en MAV-cultivars oor die algemeen laer was as die van die GAV-cultivar by die lokaliteit (Afdeling 4.2.2.1), behoort die graanproteïen daarvan hoër te wees, aangesien die opname van N waarskynlik luuks sou wees en dus na die saad getranslokeer kon word. Dit was duidelik nie die geval nie, wat ook beklemtoon dat die opname van N beperk was. Swakke wortelontwikkeling en gevolglik 'n kleiner volume grond waaruit water en voedingstowwe opgeneem kon word, kan die rede daarvoor wees.

4.2.2.2 Fouriesburg

Soos by Kestell het die graanproteïen oor die algemeen nie betekenisvolle verskille tussen die kalkpeile getoon nie, met die uitsondering van die 2000 jaar. Die graanproteïene was toe by L3 en L4 betekenisvol laer as by die ander kalkpeile. 'n Moontlike verklaring vir die verskynsel is, dat die grondsuurheid by die kalkpeile nog nie voldoende opgehef was nie, en dat swak wortelontwikkeling water- en voedingstofopname beïnvloed het. Dit word gestaaf deurdat die proteïene betekenisvol hoër was by L5 en L6 as by L3 en L4 (Tabel 4.9), terwyl daar nie groot verskille in die opbrengste was nie (Tabel 4.3).

Betekenisvolle verskille in graanproteïene het slegs in 1999 seisoen tussen die cultivars voorgekom. Limpopo (SAV) het in dié jaar, as gevolg van stremming weens grondsuurheid en droogte, 'n betekenisvol hoër graanproteïen as Tugela-DN (GAV) en Gariep (MAV) gehad wat nie onderling van mekaar verskil het nie.

In 1998 en 1999 was die interaksie tussen kalkpeile en cultivars ook betekenisvol. Geen duidelike patroon het in 1998 voorgekom nie, maar in 1999 was dit duidelik dat Limpopo (SAV) telkens 'n hoër graanproteïen gehad het as die ander twee cultivars. Die verskynsel kan, soos reeds genoem, toegeskryf word aan die feit dat die opname van N waarskynlik luuks was en dus na die graan getranslokeer kon word.

Tabel 4.9 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die graanproteïen (%) van koring in 1996, 1998, 1999 en 2000 seisoene, asook die gemiddelde oor die vier jare by Fouriesburg ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	14.37	14.43	14.85	14.28	14.20	14.70	14.75
	MAV	16.02	15.32	15.40	15.00	14.67	14.60	15.17
	SAV	14.40	14.67	15.27	14.82	14.47	14.85	14.57
	Gem	14.93	14.81	15.17	14.90	14.45	14.72	14.83
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	11.50						
1998	GAV	11.05	10.53	10.08	11.19	10.67	10.92	10.74
	MAV	10.91	10.78	11.11	10.64	10.50	10.62	10.76
	SAV	10.99	10.77	10.11	10.58	10.97	10.82	10.71
	Gem	10.98	10.69	10.43	10.80	10.71	10.79	10.74
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	0.62						
	KBV (LXC) ²	0.72						
	KV (%)	4.00						
1999	GAV	13.20	13.70	14.41	14.10	14.03	14.55	14.00
	MAV	13.41	13.44	14.29	14.44	14.33	13.96	13.98
	SAV	14.51	15.18	14.77	14.80	14.81	14.50	14.76
	Gem	13.07	14.10	14.49	14.45	14.39	14.33	14.24
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.25						
	KBV (LxC) ¹	0.62						
	KBV (LXC) ²	0.77						
	KV (%)	3.00						
2000	GAV	12.59	12.17	11.45	11.28	12.46	11.59	11.92
	MAV	11.82	11.85	10.95	11.39	11.98	11.92	11.65
	SAV	11.85	12.21	11.19	11.17	12.06	12.04	11.75
	Gem	12.09	12.08	11.20	11.28	12.17	11.85	11.78
	KBV (L)	0.54						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	3.50						
Gemiddelde	GAV	12.67	12.77	13.11	12.81	12.91	12.98	12.87
	MAV	13.00	12.93	12.97	12.87	12.87	12.77	12.90
	SAV	12.93	13.10	12.92	12.80	13.01	13.01	12.96
	Gem	12.87	12.93	13.00	12.83	12.93	12.92	12.91
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	6.40						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

4.2.2.3 Prinsloo

Kalkpeile het in twee van die drie jare 'n betekenisvolle invloed op die graanproteïen gehad, naamlik in 1996 en 1999 (Tabel 4.10). Die graanproteïen

Tabel 4.10 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die graanproteïen (%) van koring in 1996, 1998, 1999 seisoene, asook die gemiddelde oor die drie jare by Prinsloo ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	14.42	13.75	14.80	14.22	13.40	14.50	14.18
	MAV	14.57	14.10	14.67	14.60	13.57	14.57	14.35
	SAV	13.47	14.32	14.32	13.55	13.35	13.97	13.83
	Gem	14.16	14.05	14.60	14.12	13.44	14.35	14.12
	KBV (L)	0.56						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	8.30						
1998	GAV	12.52	12.33	12.44	12.43	12.71	12.26	12.48
	MAV	12.30	12.07	12.69	12.38	12.32	12.20	12.33
	SAV	12.69	12.53	11.73	12.20	12.55	13.05	12.45
	Gem	12.50	12.31	12.29	12.34	12.53	12.49	12.41
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	4.70						
1999	GAV	12.68	12.74	13.38	13.30	13.13	13.68	13.15
	MAV	12.17	12.78	13.33	12.38	12.61	13.54	12.80
	SAV	13.61	13.94	14.45	13.91	14.08	14.16	14.03
	Gem	12.82	13.15	13.72	13.20	13.27	13.79	13.33
	KBV (L)	0.58						
	KBV (C)	0.25						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	3.20						
Gemiddelde	GAV	13.21	12.94	13.54	13.32	13.08	13.48	13.26
	MAV	13.04	12.98	13.56	13.12	12.83	13.44	13.16
	SAV	13.35	13.45	13.51	13.22	13.33	13.71	13.43
	Gem	13.20	13.12	13.54	13.22	13.08	13.54	13.28
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	5.30						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

ien het in 1996 nie gedaal soos wat die opbrengs gestyg het nie. Byvoorbeeld, die graanproteïen was by L6 hoër as by L1 waar die opbrengs heelwat laer was as by L6 (Tabel 4.4). In 1999 het dieselfde patroon voorgekom. Die verskynsel is waarskynlik 'n aanduiding dat water en voedingstowwe meer doeltreffend benut is, weens beter wortelgroei.

Net soos by Kestell en Fouriesburg het die graanproteïen slegs in 1999 betekenisvol tussen die cultivars verskil, naamlik: Limpopo (SAV) > Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV). Geen betekenisvolle interaksie tussen kalkpeil en cultivar het in enige van die jare voorgekom nie.

4.2.2.4 Melrose

In 1996 het slegs die graanproteïen betekenisvol verskil tussen die cultivars (Tabel 4.11). Die graanproteïen het die jaar soos volg afgeneem: SST 124 (MAV) > Tugela-DN (GAV) > Karee (SAV).

Daar is geen betekenisvolle verskille in 1998 aangeteken nie.

Tabel 4.11 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die graanproteïen (%) van koring in 1996 en 1998 seisoene, asook die gemiddelde oor die twee jare by Melrose ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1996	GAV	11.69	11.13	11.65	10.90	12.81	12.26	11.74
	MAV	12.51	12.56	12.66	12.55	12.97	13.39	12.77
	SAV	10.53	10.74	10.42	10.55	10.95	11.26	10.74
	Gem	11.58	11.48	11.57	11.33	12.25	12.30	11.75
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.32						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	4.60						
1998	GAV	11.13	10.55	11.35	10.73	11.45	10.68	10.98
	MAV	11.40	10.55	10.97	10.63	11.05	10.68	10.88
	SAV	11.00	10.55	11.43	10.63	11.73	10.43	10.96
	Gem	11.18	10.55	11.25	10.66	11.41	10.59	10.94
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	10.20						
Gemiddelde	GAV	11.74	11.00	11.55	10.60	11.62	11.58	11.35
	MAV	12.32	11.65	11.76	11.43	12.10	11.98	11.87
	SAV	10.58	10.63	10.68	10.74	11.34	10.86	10.80
	Gem	11.55	11.09	11.33	10.92	11.69	11.47	11.34
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	0.48						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	8.70						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

4.2.3 Hektolitermassa

Hektolitermassa is slegs by Kestell (2000), Fouriesburg (1999 en 2000) en Prinsloo (1999) volledig bepaal en 'n opsomming oor die statistiese ontleding daarvan word in Tabel 4.12 gegee. Dit is duidelik dat die kalkpeile, cultivars en in sekere gevalle die kalkpeil-cultivar interaksie, betekenisvolle verskille in die hektolitermassa tot gevolg gehad het.

Tabel 4.12 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die hektolitermassa van koring by Kestell (Kes), Fouriesburg (Fou), Prinsloo (Pri) en Melrose (Mel) gehad het.

Meting	Kalkpeile (L)				Cultivars (C)				LxC			
	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel
Hektolitermassa												
1999	-	Nb	*	-	-	nb	*	-	-	*	*	-
2000	*	*	-	-	nb	nb	-	-	nb	nb	-	-

*-Betekenisvol by $P \leq 0.05$.

nb -Nie betekenisvol nie.

- Geen data.

4.2.3.1 Kestell

In 2000 het die hektolitermassa betekenisvol verskil tussen die kalkpeile (Tabel 4.13). Die hektolitermassa het afgeneem van L1 en L2 na L3 en L4 en daarna weer gestyg na L5 en L6. Geen betekenisvolle verskille het tussen die drie cultivars voorgekom nie, en die interaksie tussen kalkpeile en cultivars was ook nie betekenisvol nie.

Tabel 4.13 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die hektolitermassa (kg h^{-1}) van koring in 2000 by Kestell ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
2000	GAV	74.78	77.08	73.50	73.84	76.72	78.36	75.71
	MAV	76.30	75.60	72.66	74.05	76.80	78.59	75.66
	SAV	77.44	76.51	74.98	73.84	78.41	78.50	76.61
	Gem	76.17	76.4	73.71	73.91	77.31	78.48	76.00
	KBV (L)	0.78						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	2.20						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

4.2.3.2 Fouriesburg

In 1999 was slegs die kalkpeil-cultivar interaksie betekenisvol (Tabel 4.14). Droogte het 'n groot bydrae tot lae hektolitermassas gelewer, maar die effek van grondsuurheid kom ook duidelik na vore by L1, waar Limpopo (SAV) 'n betekenisvol laer hektolitermassa as Gariep (MAV) en Tugela-DN (GAV) gehad het. Laasgenoemde twee cultivars se hektolitermassa het nie verskil nie.

Tabel 4.14 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die hektolitermassa ($\text{kg h}\ell^{-1}$) van koring 1999 en 2000, asook die gemiddelde oor die twee jare by Fouriesburg ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1999	GAV	72.74	71.86	71.77	71.30	71.66	71.50	71.80
	MAV	73.05	72.69	71.15	71.27	71.04	71.76	71.83
	SAV	70.66	72.45	72.70	72.01	71.57	72.32	71.95
	Gem	72.15	72.33	71.87	71.53	71.42	71.86	71.86
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	1.20						
	KBV (LXC) ²	1.28						
	KV (%)	1.20						
2000	GAV	80.42	79.92	79.31	81.15	79.72	82.61	80.52
	MAV	80.51	80.55	80.23	81.45	81.81	81.82	81.06
	SAV	80.45	80.41	81.61	81.80	81.33	81.44	81.17
	Gem	80.46	80.29	80.38	81.47	80.95	81.95	80.92
	KBV (L)	0.86						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	1.4						
Gemiddelde	GAV	76.58	75.89	75.54	76.23	75.69	77.06	76.16
	MAV	76.87	76.62	75.69	76.59	76.42	76.79	76.50
	SAV	75.61	76.49	77.15	76.90	76.45	76.88	76.58
	Gem	76.35	76.33	76.13	76.57	76.18	76.91	76.41
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	1.10						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Die hektolitermassa van Limpopo (SAV) het betekenisvol toegeneem vanaf L1 na L2, maar daarna tot 'n groot mate gestabiliseer. Daarenteen het die hektolitermassa van Gariep (MAV) afgeneem met 'n toename in kalkpeil. Die hektolitermassa van Tugela-DN (GAV) was meer stabiel oor die kalkpeile.

In 2000 het geen betekenisvolle hektolitermassa verskille voorgekom nie.

4.2.3.3 Prinsloo

In 1999 het die kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie betekenisvolle verskille in hektolitermassa tot gevolg gehad (Tabel 4.15). By die meeste kalkpeile het Limpopo (SAV) 'n laer hektolitermassa as Gariep (MAV) en Tugela-DN (GAV) gehad, laasgenoemde twee cultivars se hektolitermassas het weinig verskil en die verskille was ook nie altyd konsekwent by die kalkpeile nie. Die hektolitermassa van al drie cultivars het afgeneem met 'n toename in kalkpeil, maar was meer opvallend by Limpopo (SAV) en Gariep (MAV) as by Tugela-DN (GAV).

Tabel 4.15 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die hektolitermassa (kg h^{-1}) van koring, gedurende die 1999 seisoen by Prinsloo ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1999	GAV	74.03	74.16	72.48	73.78	73.14	72.42	73.34
	MAV	74.70	73.10	71.61	74.00	73.74	70.03	72.86
	SAV	72.51	72.79	71.32	72.36	71.86	71.02	71.98
	Gem	73.75	73.35	71.80	73.38	72.92	71.16	72.73
	KBV (L)	1.60						
	KBV (C)	0.54						
	KBV (LxC) ¹	1.33						
	KBV (LXC) ²	1.88						
	KV (%)	1.30						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

4.2.4 Biomassa

Soos gemeld in Afdeling 2.4.2, is biomassa net bepaal tydens vlagblaarontwikkeling, dit wil sê op groeistadium 15 (Joubert, 1974). Die biomassa is by Kestell (1996, 1998 en 1999), Fouriesburg (1998 en 1999), Prinsloo (1998 en 1999) en Melrose (1998) ook nie elke jaar bepaal nie (Tabel 4.16). Oor die algemeen het biomassa baie gevarieer tussen die lokaliteite en proefjare, hoofsaaklik as gevolg van variasie in reënval (Tabel 2.3). Slegs die data van Fouriesburg en Prinsloo gaan bespreek word, omdat die plantontledings vir Ca, Mg, P, Mn, Al en Mo tot die twee lokaliteite beperk was.

Tabel 4.16 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die biomassa van koring tydens groeistadium 15 gehad het, by Kestell (Kes), Fouriesburg (Fou), Prinsloo (Pri) en Melrose (Mel).

Meting	Kalkpeile (L)				Cultivars (C)				LxC			
	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel	Kes	Fou	Pri	Mel
Biomassa (GS15)												
1996	Nb	-	-	-	nb	-	-	-	nb	-	-	-
1998	Nb	*	*	nb	*	*	*	*	nb	nb	nb	*
1999	Nb	nb	*	-	nb	nb	*	-	nb	nb	nb	-

*-Betekenisvol by $P \leq 0.05$.

nb -Nie betekenisvol nie.

- Geen data.

4.2.4.1 Fouriesburg

'n Betekenisvolle toename in biomassa het met bekalking in 1998 voorgekom, naamlik vanaf 110 g m^{-2} by L1 tot 232 g m^{-2} by L5 (Tabel 4.17). Die biomassa het ook betekenisvol verskil tussen die cultivars: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) > Limpopo (SAV).

Geen betekenisvolle verskille het in 1999 voorgekom nie.

Tabel 4.17 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die biomassa (g m^{-2}) van koring tydens groeistadium 15 in 1998 en 1999, asook die gemiddelde oor die twee jare by Fouriesburg ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1998	GAV	160.40	233.40	242.20	245.20	232.00	228.90	223.70
	MAV	88.70	160.60	209.30	236.20	236.70	253.30	197.50
	SAV	82.00	111.60	198.90	156.00	226.90	215.70	165.20
	Gem	110.40	168.50	216.80	212.50	231.90	232.60	195.40
	KBV (L)	41.99						
	KBV (C)	27.03						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	23.60						
1999	GAV	139.00	151.10	172.00	180.90	201.60	169.60	169.10
	MAV	112.20	139.20	144.30	146.80	180.50	146.30	144.90
	SAV	126.20	91.40	178.00	179.10	192.70	167.00	155.70
	Gem	125.80	127.20	164.80	168.90	191.60	161.00	156.60
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	nb						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	26.50						
Gemiddelde	GAV	149.70	192.30	207.10	213.00	216.80	199.30	196.40
	MAV	94.20	149.90	176.80	191.50	208.60	199.80	170.10
	SAV	104.10	101.50	188.50	167.60	209.80	191.30	160.50
	Gem	116.00	147.90	190.80	190.70	211.70	196.80	175.70
	KBV (L)	35.39						
	KBV (C)	19.25						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	25.90						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

4.2.4.2 Prinsloo

In 1998 het die biomassa van die cultivars betekenisvol verskil (Tabel 4.18). Tugela-DN (GAV) en Gariep (MAV) het nie onderling van mekaar verskil nie, maar beide het 'n betekenisvol hoër biomassa as Limpopo (SAV) gehad. Die biomassa van Limpopo (SAV) en Gariep (MAV) het toegeneem met 'n hoër kalkpeil, maar nie die biomassa van Tugela-DN (GAV) nie.

Tabel 4.18 Die effek van kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die biomassa (g m^{-2}) van koring tydens groeistadium 15 in 1998 en 1999, asook die gemiddelde oor die twee jare by Prinsloo ($P \leq 0.05$).

Jaar	Cultivars(C)	Kalkpeile (L)						Gem
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	
1998	GAV	263.40	257.20	244.60	282.70	241.20	265.00	259.00
	MAV	167.40	207.70	210.00	268.70	305.90	275.90	239.30
	SAV	161.20	212.60	225.30	187.50	228.90	239.00	209.10
	Gem	197.40	225.90	226.60	246.30	258.60	260.00	235.80
	KBV (L)	nb						
	KBV (C)	29.51						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	21.40						
1999	GAV	203.10	146.90	220.50	268.10	271.80	241.50	225.30
	MAV	134.50	162.40	227.80	222.00	238.10	206.60	198.60
	SAV	127.30	142.40	163.80	169.20	198.70	244.20	174.30
	Gem	155.00	150.60	204.00	219.80	236.20	230.80	199.40
	KBV (L)	44.55						
	KBV (C)	31.16						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	26.70						
Gemiddelde	GAV	233.20	202.10	232.50	275.40	256.50	253.20	242.20
	MAV	151.00	185.10	218.90	245.40	272.00	241.30	218.90
	SAV	144.30	177.50	194.60	178.30	213.80	241.60	191.70
	Gem	176.20	188.20	215.30	233.00	247.40	245.40	217.60
	KBV (L)	42.73						
	KBV (C)	23.29						
	KBV (LxC) ¹	nb						
	KBV (LXC) ²	nb						
	KV (%)	22.80						

GAV-goeie aluminiumverdraagsaamheid

MAV-medium aluminiumverdraagsaamheid

SAV-swak aluminiumverdraagsaamheid

¹-KBV vir vergelyking tussen cultivars by dieselfde kalkpeil (kolomme)

²-KBV vir vergelyking tussen kalkpeile en cultivars (rye)

Die biomassa het in 1999 betekenisvol toegeneem met bekalking, terwyl die cultivars ook betekenisvol verskil het, met geen betekenisvolle interaksie nie (Tabel 4.18). In die jaar het die gemiddelde biomassa van die cultivars vanaf 155 g m^{-2} by L1 tot 236 g m^{-2} by L5 toegeneem. Die biomassa van die cultivars het soos volg afgeneem: Tugela-DN (GAV) > Gariep (MAV) > Limpopo (SAV).

4.2.5 Voedingstofonttrekking

Soos reeds gemeld is slegs die biomassa van Fouriesburg en Prinsloo ontleed vir Ca, Mg, P, Mn, Al en Mo (Tabel 4.19). Hierdie ses elemente het die grootste invloed op die groei en ontwikkeling van plante op suurgronde (Ritchie, 1989; Haynes, 2001). Daar sal vir die gerief daarvan na hierdie elemente as voedingstowwe verwys word, alhoewel Al nie essensieel is vir plantgroei nie.

Tabel 4.19 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die konsentrasie van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo in die biomassa van koring tydens groeistadium 15 gehad het by Fouriesburg (Fou) en Prinsloo (Pri).

Meting	Kalkpeile (L)		Cultivars (C)		LxC	
	Fou	Pri	Fou	Pri	Fou	Pri
Ca						
1998	nb	nb	nb	*	*	*
1999	nb	nb	nb	nb	nb	nb
Mg						
1998	nb	nb	nb	nb	nb	nb
1999	nb	nb	nb	nb	nb	nb
P						
1998	nb	nb	*	nb	nb	nb
1999	nb	nb	*	nb	nb	nb
Mn						
1998	*	*	*	nb	*	*
1999	*	*	*	*	*	nb
Al						
1998	nb	nb	nb	*	nb	nb
1999	nb	*	nb	nb	nb	nb
Mo						
1998	nb	nb	nb	nb	nb	nb
1999	nb	nb	nb	*	nb	nb

* - Betekenisvol by $P \leq 0.05$

nb - Nie betekenisvol nie.

In Tabel 4.19 word 'n opsomming gegee van die effek wat kalkpeile en/of cultivars op die konsentrasie van die voedingstowwe in die biomassa gehad het. Hiervolgens is Mg glad nie beïnvloed nie, terwyl Mn weer bykans in al die

gevalle beïnvloed is. Die ander vier voedingstowwe, naamlik Ca, P, Al en Mo is slegs in enkele gevalle beïnvloed.

Die effek wat die kalkpeile en/of cultivars op die onttrekking van die voedingstowwe deur die biomassa gehad het, word in Tabel 4.20 opgesom. Al ses die voedingstowwe is tot 'n mindere of meerdere mate beïnvloed, soos in Afdelings 4.2.5.1 en 4.2.5.2 toegelig sal word.

Tabel 4.20 Opsomming van die effek wat kalkpeile, cultivars en die kalkpeil-cultivar interaksie op die onttrekking van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo deur die biomassa van koring tydens groeistadium 15 gehad het, by Fouriesburg (Fou) en Prinsloo (Pri).

Meting	Kalkpeile (L)		Cultivars (C)		LxC	
	Fou	Pri	Fou	Pri	Fou	Pri
Ca						
1998	*	nb	nb	*	nb	*
1999	*	*	*	*	nb	nb
Mg						
1998	*	nb	*	nb	nb	nb
1999	*	*	nb	*	nb	nb
P						
1998	*	nb	*	*	nb	nb
1999	*	*	*	nb	nb	nb
Mn						
1998	*	nb	*	*	nb	nb
1999	*	nb	nb	*	nb	nb
Al						
1998	*	nb	nb	nb	*	*
1999	nb	*	*	*	nb	nb
Mo						
1998	*	nb	*	*	nb	nb
1999	*	nb	*	*	nb	nb

* - Betekenisvol by $P \leq 0.05$

nb - Nie betekenisvol nie.

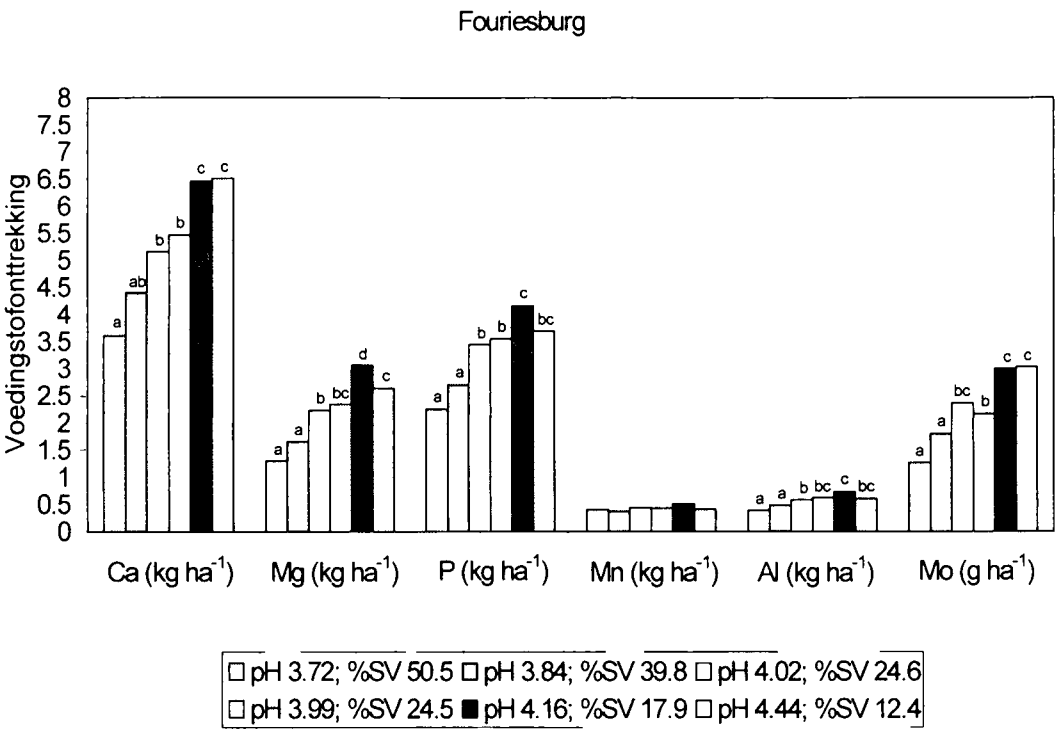
Die tendense was in 1998 en 1999 soortgelyk en daarom word slegs die gemiddelde onttrekking van die Ca, Mg, P, Mn, Al en Mo oor die twee jare grafies voorgestel vir bespreking.

4.2.5.1 Fouriesburg

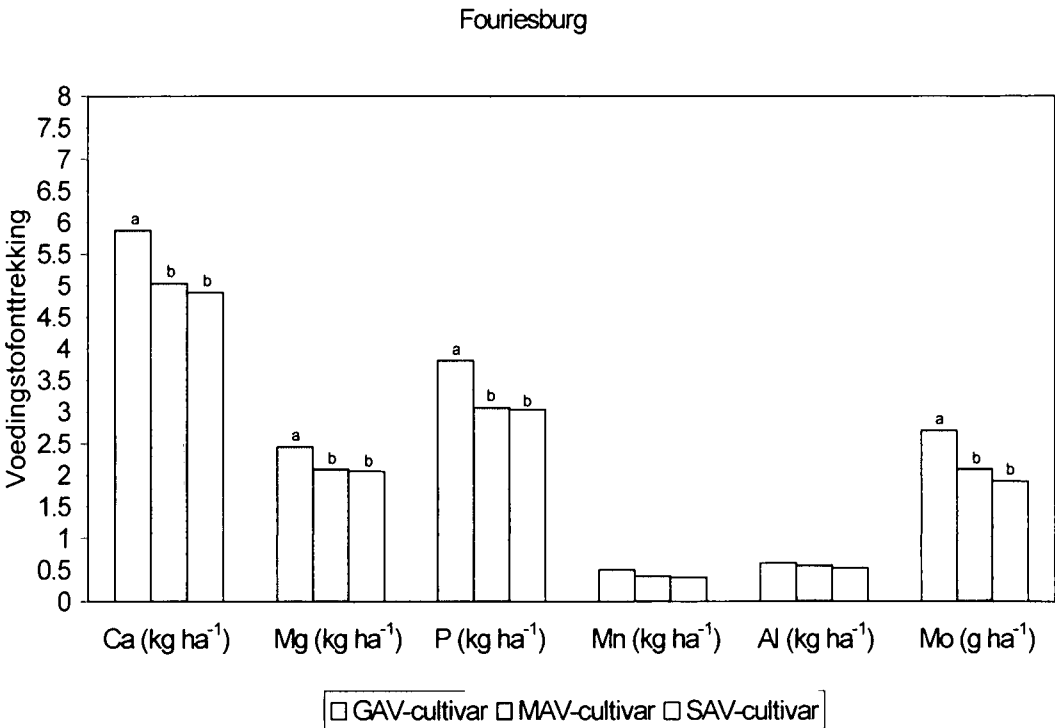
Die onttrekking van Ca, Mg, P, Al en Mo het betekenisvol toegeneem met 'n hoër kalkpeil en 'n maksimum bereik by 'n pH (KCl) van 4.16 en 'n %SV van 17.9 (Figuur 4.3). 'n Soortgelyke tendens is ook by die onttrekking van Mn bespeur, alhoewel nie betekenisvol nie.

Inspeksie van Figuur 4.4 toon dat Tugela-DN (GAV) betekenisvol meer Ca, Mg, P en Mo onttrek het, as Gariep (MAV) en Limpopo (SAV). Die onttrekking van Mn en Al deur die drie cultivars het nie betekenisvol verskil nie.

Die toename in die onttrekking van die voedingstowwe in beide gevalle is te wyte aan 'n hoër biomassa, want die konsentrasies van die voedingstowwe het nie juis betekenisvol verskil nie.



Figuur 4.3 Invloed van kalkpeile op die onttrekking van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo deur die biomassa van koring tydens groeistadium 15 by Fouriesburg. Gemiddeldes met dieselfde letter verskil nie betekenisvol nie.



Figuur 4.4 Invloed van cultivars op die onttrekking van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo deur die biomassa van koring tydens groeistadium 15 by Fouriesburg. Gemiddeldes met dieselfde letter verskil nie betekenisvol nie.

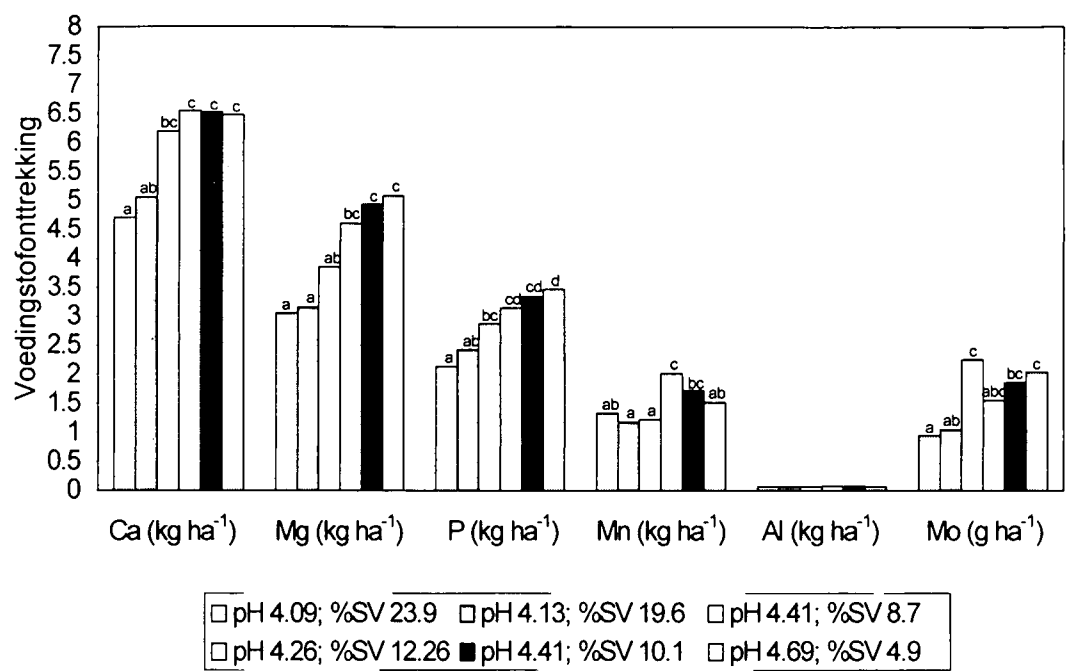
4.2.5.2 Prinsloo

By hierdie lokaliteit het slegs die onttrekking van Ca, Mg, P, Mn en Mo betekenisvol toegeneem met 'n hoër kalkpeil (Figuur 4.5). In die geval van Ca, Mn en Mo het die toename 'n maksimum bereik by 'n pH(KCl) van 4.21 en %SV van 12.36 en daarna gestabiliseer, wat nie die geval was met Mg en P nie.

Volgens Figuur 4.6 het Tugela-DN (GAV) betekenisvol meer Ca, Mg, P, Mn en Mo onttrek as die ander twee cultivars, naamlik Gariep (MAV) en Limpopo (SAV). Laasgenoemde twee cultivars het dieselfde hoeveelheid van hierdie voedingstowwe onttrek.

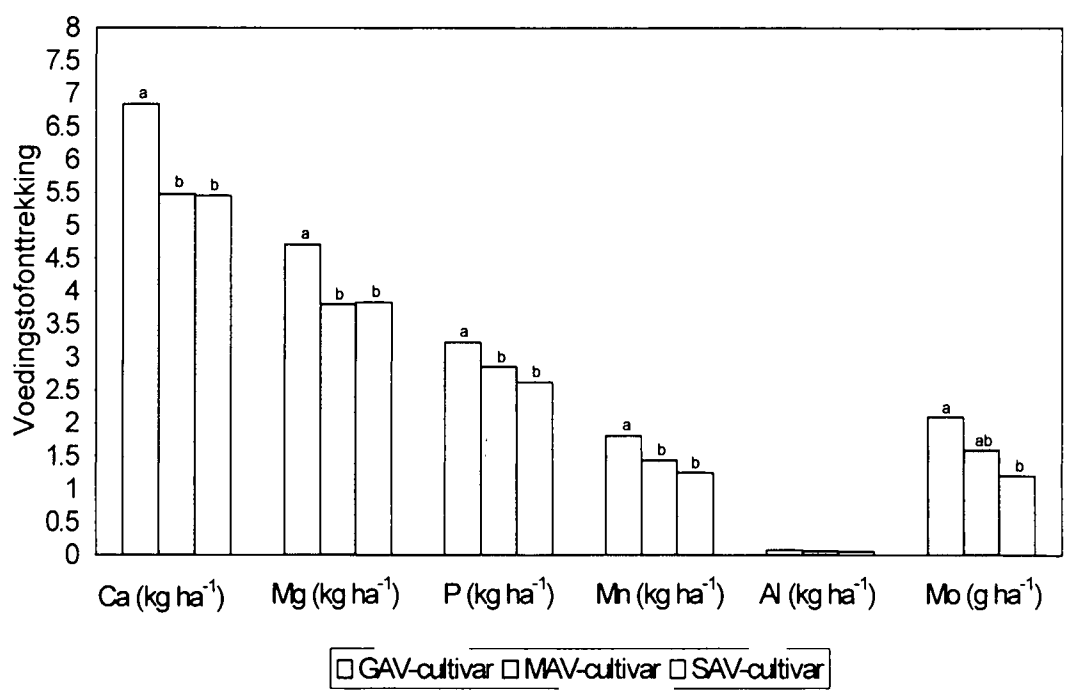
Soos reeds genoem, kan die toename in beide gevalle eerder toegeskryf word aan 'n hoër biomassa, as 'n hoër voedingstofkonsentrasie.

Prinsloo



Figuur 4.5 Invloed van kalkpeile op die onttrekking van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo deur die biomassa van koring tydens groeistadium 15 by Prinsloo. Gemiddeldes met dieselfde letter verskil nie betekenisvol nie.

Prinsloo



Figuur 4.6 Invloed van cultivars op die onttrekking van P, Ca, Mg, Mn, Al en Mo deur die biomassa van koring tydens groeistadium 15 by Prinsloo. Gemiddeldes met dieselfde letter verskil nie betekenisvol nie.

4.4 Gevolgtrekking

- Bekalking het die opbrengs van alle koringcultivars wat in die studie gebruik is positief beïnvloed. Die opbrengs van Tugela-DN (GAV) was die hoogste op die onbekalkte en bekalkte gronde, gevolg deur SST 124 en Gariep (MAV) en Karee, Limpopo en Elands (SAV).
- Die opbrengs van Tugela-DN (GAV) was besonders stabiel op suurgronde, terwyl die opbrengste van die MAV- en SAV-cultivars meer stabiel was op bekalkte gronde.
- Grondwater kan volgens Krizek & Foy (1988) 'n bepalende invloed hê tydens kalibrasie van gewasspesifieke kalkbehoefte. Die verskynsel is ook duidelik tydens 1999, by drie van die vier lokaliteite waargeneem.
- Goeie korrelasies tussen opbrengs en pH, en ook %SV het by al die lokaliteite voorgekom. Die %SV het egter beter gekorreleer met opbrengs as pH(KCl), ongeag die cultivar.
- Opname van N was beperk, ten spyte van die feit dat voldoende N bemes is. Tugela-DN (GAV) het 'n hoër graanproteïene as die MAV- en SAV-cultivars gehad, wat op 'n beter opname van N dui.
- Die verskille in hektolitermassa was nie konsekwent nie en is grootliks deur klimaatsomstandighede beïnvloed.
- Die biomassa het baie tussen die verskillende kalkpeile en cultivars gevarieer. 'n Toename in kalkpeil het oor die algemeen gelei tot 'n toename in biomassa. Op groeistadium 15 (vlagblaar) het Tugela-DN (GAV) die grootste biomassa getoon, gevolg deur SST 124 of Gariep (MAV) en Karee, Limpopo en Elands (SAV).
- Plantontledings het aangedui dat slegs die Mn-konsentrasie in bykans al die gevalle afgeneem het met bekalking. Die ander voedingstowwe het nie baie gewissel met bekalking nie.
- Verskille in voedingstofonttrekkings het hoofsaaklik voorgekom, as gevolg van verskille in toenemende biomassa met bekalking, en nie as gevolg van voedingstofkonsentrasie nie. Tugela-DN (GAV) het betekenisvol meer voedingstowwe (P, Ca, Mg, Mn, Mo en Al) as die ander cultivars onttrek.
- Die resultate van die studie dui die negatiewe aspekte van grondsuurheid

duidelik aan. Die verbouing van koring, met stabiele volhoubare opbrengste, is onmoontlik indien die negatiewe aspekte van gronduurheid nie opgelos en bestuur word nie.

HOOFSTUK 5

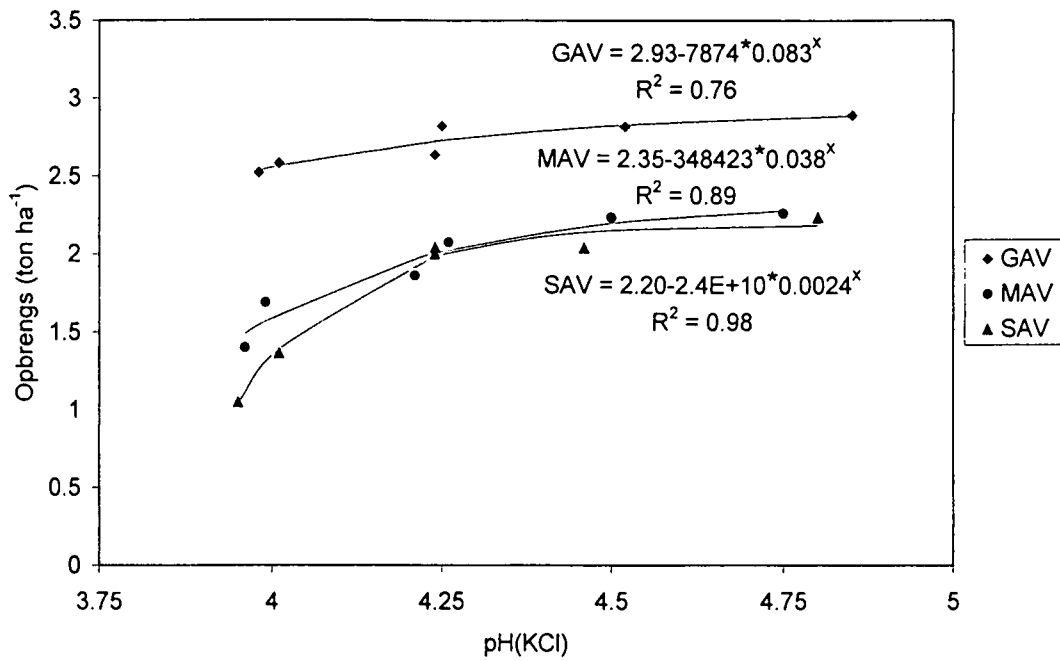
SAMEVATTING EN AANBEVELINGS

Soos wat verskeie navorsers die afgelope eeu die voordele van bekalking op gewasverbouing aangetoon het, is hierdie studie geen uitsondering nie. Bekalking het oor die algemeen die opbrengs, biomassa en voedingstofonttrekking van die drie koringcultivars, wat verskil in verdraagsaamheid teenoor aluminium, betekenisvol verhoog. Daarenteen is die proteïeninhoud en hektolitermassa van die graan weinig deur bekalking beïnvloed.

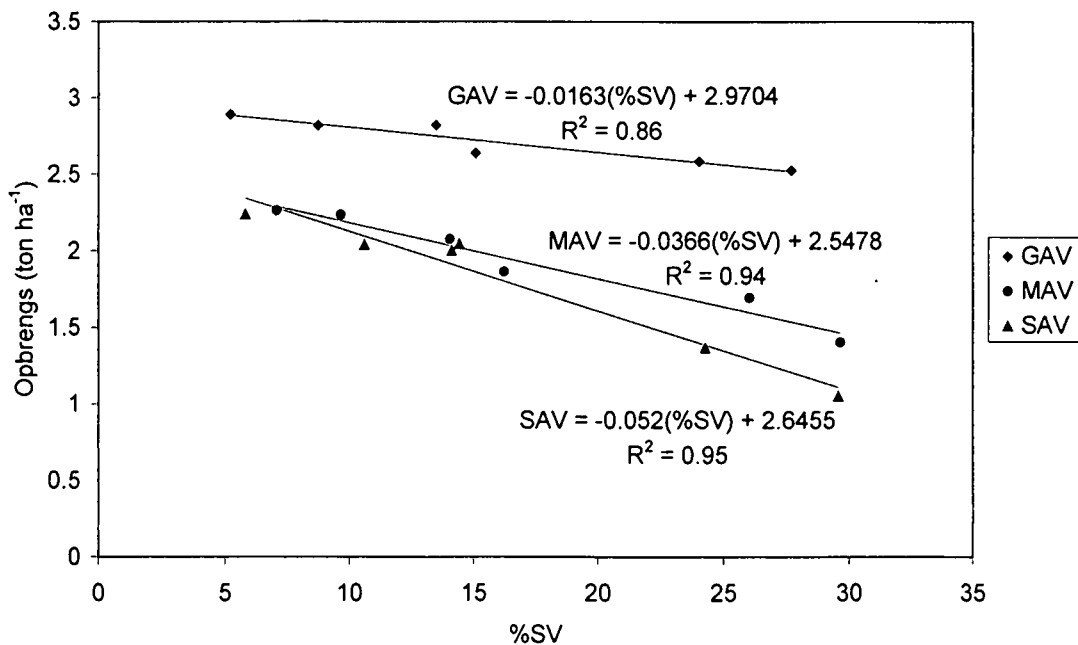
Die studie het sonder twyfel bevestig dat sekere koringcultivars beter aangepas is om op suurgronde te presteer as ander weens hulle verdraagsaamheid teenoor aluminium. Tugela-DN (GAV) het deurgans die hoogste opbrengs gegee, terwyl die opbrengsverskille tussen die MAV- (SST 124 en Gariep) en SAV-cultivars (Karee, Limpopo, Elands) nie altyd so opvallend was nie. In die meeste gevalle het die MAV-cultivars effens hoër opbrengste as die SAV-cultivars gegee.

Die feit dat al die cultivars op bekalking van die suurgronde gereageer het, kan grotendeels daaraan toegeskryf word dat 'n gunstiger omgewing geskep is waarin die wortels kon groei, naamlik 'n hoër pH of laer %SV, met al die voordele daaraan verbonde. By die hoër pH- of laer %SV-vlakke is water en voedingstowwe waarskynlik beter benut en het tot die beter groei en ontwikkeling van die koringcultivars gelei, met gepaardgaande hoër opbrengste soos getoon in Figure 5.1 en 5.2.

Inspeksie van Figuur 5.1 toon 'n skerp styging in opbrengs met 'n toename in pH(KCl), waarna dit afplat en stabiliseer by 'n pH(KCl) van ongeveer 4.25. Daarenteen is die styging in opbrengs met 'n afname in %SV lineêr (Figuur 5.2). Volgens die R^2 -waardes verklaar %SV meer van die variasie in opbrengs as pH(KCl).



Figuur 5.1 Verwantskappe tussen opbrengs en pH(KCl) vir die cultivar met goeie (GAV), medium (MAV) en swak (SAV) aluminiumverdraagsaamheid oor alle proefjare en lokaliteite.



Figuur 5.2 Verwantskappe tussen opbrengs en % suurversadiging (%SV) vir die cultivar met goeie (GAV), medium (MAV) en swak (SAV) aluminiumverdraagsaamheid oor alle proefjare en lokaliteite.

Daarom is die regressievergelykings in Figuur 5.2 gebruik om die persentasie verlies in opbrengs by verskillende vlakke van %SV te bereken (Tabel 5.1). Volgens hierdie tabel is dit duidelik dat die opbrengs van al die cultivars negatief beïnvloed word deur grondsuurheid, maar dat die GAV-cultivar oor sekere meganismes beskik om die nadelige effek van Al te kan weerstaan. Dit is ook duidelik dat 'n afname in opbrengs alreeds vanaf 'n %SV van so laag as 5 kan plaasvind, en dat bekalking essensieel is vir volhoubare koringproduksie in die Oos-Vrystaat.

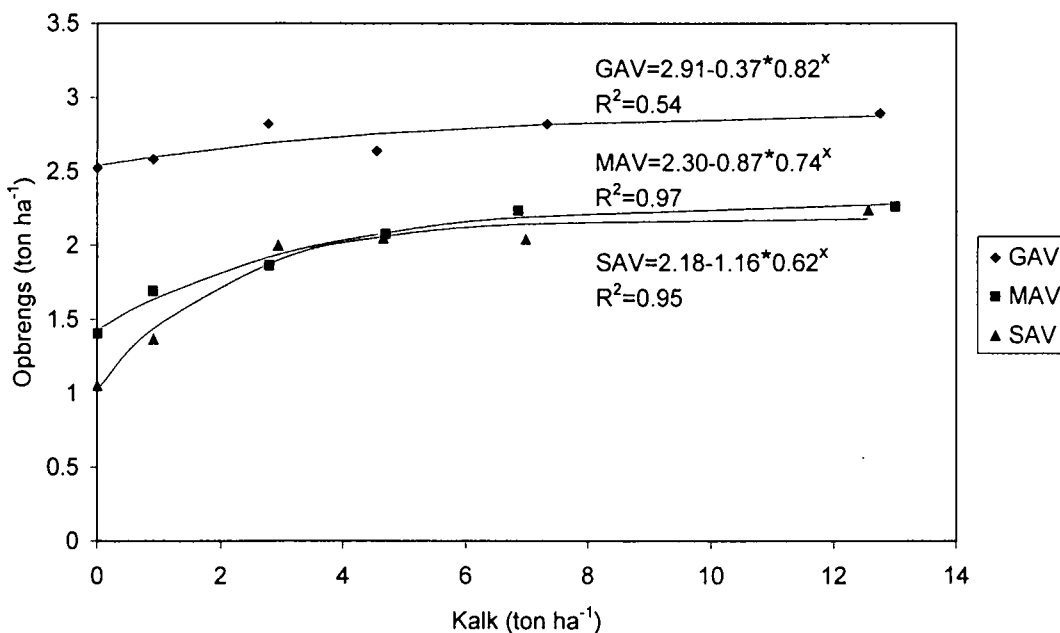
Tabel 5.1 Persentasie opbrengsverliese wat met goeie (GAV), medium (MAV) en swak (SAV) aluminiumverdraagsame koringcultivars by verskillende suurversadigingsvlakke (%SV) verwag kan word.

%SV	Cultivars		
	GAV	MAV	SAV
5	3	7	10
10	6	14	20
15	8	22	30
20	11	29	39
25	14	36	49
30	17	43	59

Na jare se navorsing is een van die grootste struikelblokke steeds om die kalkbehoefte van 'n grond in die veld akkuraat te kwantifiseer. Daarmee word bedoel die hoeveelheid kalk benodig om die pH of %SV van 'n grond sodanig te verander, dat die aangeplante gewas nie deur grondsuurheid benadeel word nie.

Die feit dat daar in hierdie ondersoek 'n besondere goeie verwantskap tussen die pH(KCl) en %SV van 'n wye reeks gronde na bekalking gekry is, het dit moontlik gemaak om 'n vergelyking te genereer waarmee die kalkbehoefte van 'n grond in die gebied bereken kan word, ten einde 'n sekere verandering in pH(KCl) te veroorsaak. Ten einde hierdie vergelyking te gebruik, moet slegs die pH(KCl) en klei-inhoud van 'n grond bekend wees.

Selfs al word GAV-cultivars aangeplant, bly versuring van grond 'n integrale deel van gewasverbouing wat deur die produsent bestuur moet word. Baie produsente is tans in 'n finansiële oorlewingstryd gewikkel en kan nie een van die belangrikste insette, naamlik kalk koop vir toediening aan grond nie. Dit lei dan tot 'n stelselmatige versuring en agteruitgang van die grond, wat direk in die opbrengste weerspieël word. Gegewe hierdie omstandighede, is dit noodsaaklik dat kalkaanbevelings sodanig moet wees dat die produsent die maksimum rendement daarop kry. Die regressievergelyking van die verwantskappe tussen opbrengs en kalktoediening wat in Figuur 5.3 gegee word, is gebruik vir die doel. Hierdie passings is omgeskakel na die Mitcherlich formaat, om kalkpeile vir maksimum ekonomiese opbrengs per cultivar te bereken (Tabel 5.2), volgens die metode van McLaughlin et al. (1999).



Figuur 5.3 Verwantskappe tussen opbrengs en kalktoediening vir die cultivars met goeie (GAV), medium (MAV) en swak (SAV) aluminiumverdraagsaamheid oor alle proefjare en lokaliteite.

Volgens Tabel 5.2 is die mees ekonomiese kalkpeil vir 'n GAV-cultivar 1.0 ton ha⁻¹ indien die koringprys R1450 ton⁻¹ en kalkprys R200 ton⁻¹ behoort. Vir dieselfde koring- en kalkprys sal die MAV- en SAV-cultivars onderskeidelik 1.8 en 2.1 ton kalk ha⁻¹ benodig om maksimum ekonomiese opbrengs te lewer.

Tabel 5.2 Kalkpeile om maksimum ekonomiese opbrengs met goeie (GAV), medium (MAV) en swak (SAV) aluminiumverdraagsame cultivars te behaal.

Cultivar	Kalkprys* R ton ⁻¹	Koringprys (R ton ⁻¹)								
		850	1000	1150	1300	1450	1600	1750	1900	2050
GAV	100	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0
MAV		2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
SAV		2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2
GAV	150	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6
MAV		1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
SAV		1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
GAV	200	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
MAV		1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
SAV		1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
GAV	250	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1
MAV		1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
SAV		1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3
GAV	300	0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9
MAV		0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
SAV		1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
GAV	350	-0.1	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
MAV		0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6
SAV		1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9

*Sluit vervoer- en uitstrooikoste in.

Hierdie inligting stel elke produsent in staat om 'n goed beplande bekalkingsprogram op die been te bring deur bekalking te kombineer met cultivarkeuse, totdat hy of sy in 'n beter finansiële posisie is. In die Oos-Vrystaat, waar 90% van die cultivars wat onder droëland aangeplant word SAV en MAV is, kan so 'n benadering verreikende gevolge hê.

Bogemelde benadering moet deur produsente as 'n interim maatreël beskou word. Hulle uiteindelijke doel moet wees om grondsuurheid ten volle met bekalking op te hef. Slegs dan sal koring volhoubaar onder droëland in die Oos-Vrystaat verbou kan word.

Verwysings

ABSTRACT OF AGRICULTURAL STATISTICS., 2002. The Directorate Agricultural Information Services, Private Bag X144, Pretoria, South Africa.

ADAMS, F., 1984. Crop response to lime in the Southern United States. In F. Adams (ed.). Soil acidity and liming, 2nd ed. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

AITKEN, R.L., MOODY, P.W. & MCKINLEY, P.G., 1990. Lime requirement of acidic Queensland soils. I. Relationships between soil properties and pH buffer capacity. *Aust. J. Soil Res.* 28, 695-701.

ANONIEM, 2001. Handleiding vir die verbouing van koring in die somerreënvalgebied., LNR-Kleingraaninstituut, Privaatsak X29, Bethlehem, Suid-Afrika.

BACHE, B.W., 1988. Measurements and mechanisms in acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19, 775-792.

BADALUCCO, L., GREGO, S., DELL'ORCO, S. & NANNIPIERI, P., 1992. Effect of liming on some chemical, biochemical, and microbiological properties of acid soils under spruce (*Picea abies* L.). *Biol. Fertil. Soils.* 14, 76-83.

BARNARD, R.O., 1979. Plantvoedingsprobleme van versuurde grond: 'n Literatuuroorsig. *Tydskrif vir Natuurwetenskappe.* 19, 35-43.

BERTSCH, P.M., ALLEY, M.M. & ELLMORE, T.L., 1981. Automated aluminium analysis with the aluminon method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 666-667

BEUKES, D.J., 1995. Benefits from identifying and correcting soil acidity in agriculture. ARC-Institute for Soil, Climate and Water, Private Bag X79, Pretoria, South Africa.

BLAKE, L., GOULDING, K.W.T., MOTT, C.J.B. & JONSTON, A.E., 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted experimental station, UK. *Euro. J. Soil Sci.* 50, 401-412.

BOSCH, O.J.H., 1995. Gevoeligheid van koringcultivars vir grondsuurheid in die Oos-Vrystaat. M.Sc. Agric-verhandeling, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein, Suid-Afrika.

BOSCH, O.J.H. & OTTO, W.M., 1995. The extent of soil acidity in the dryland wheat production regions of South Africa. *Cereal Res. Commun.* 23, 1-2.

BOSCH, O.J.H., OTTO, W.M. & HUMAN, J.J., 1996a. Die invloed van grondsuurheid op koringcultivars (*Triticum aestivum* L.) met verskillende vlakke van aluminiumverdraagsaamheid in die Oos-Vrystaat. I. Opbrengs. *S. Afr. J. Plant Soil.* 13, 27-30.

BOSCH, O.J.H., OTTO, W.M. & HUMAN, J.J., 1996b. Die invloed van grondsuurheid op koringcultivars (*Triticum aestivum* L.) met verskillende vlakke van aluminiumverdraagsaamheid in die Oos-Vrystaat. II. Wortelontwikkeling. *S. Afr. J. Plant Soil.* 13, 27-30.

BRADY, N.C. & WEIL, R.R., 2002. Nature and properties of soils. 13th edn., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

CARVER, B.F., INSKEEP, W.P., WILSON, N.P. & WESTERMAN, R.L., 1988. Seedling tolerance to aluminium toxicity in hard red winter wheat germplasm. *Crop Sci.* 28, 463-467.

CARVER, B.F. & OWNBY, J.D., 1995. Acid soil tolerance in wheat. *Adv. Agron.* 54, 117-173.

COCHRANE, T.T., SALINAS, J.G. & SANCHEZ, P.A., 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminium tolerance. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 57, 133-140.

COX, M.C., QUALSET, C.O. & RAINS, D.W., 1985. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25, 435-440.

DU TOIT, A.S., BOOYSEN, J. & HUMAN, J.J., 1997. Use of linear regression and correlation matrix in the evaluation of CERES3 (Maize). *S. Afr. J. Plant Soil.* 14, 177-182.

EDMEADES, D.C., JUDD, M. & SARATHCHANDRA, S.U., 1981. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. *Plant Soil.* 60, 177-186.

EDMEADES, D.C., PRINGLE, R.M., MANSELL, G.P. & SHANNON, P.W., 1984. Effects of lime on soils in the North Island of New Zealand. I. Introduction and description of data. *N.Z. J. Agric. Res.* 27, 349-356.

FARINA, M.P.W. & CHANNON, P., 1988a. Acid-subsoil amelioration: I. A comparison of several mechanical procedures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 169-175.

FARINA, M.P.W. & CHANNON, P., 1988b. Acid-subsoil amelioration: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 175-180.

FARINA, M.P.W. & CHANNON, P., 1991. A field comparison of lime requirement indices for maize., p 465-473. In R.J. Wright *et al.*(eds.). Plant-soil interactions at low pH. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

FARINA, M.P.W., CHANNON, P. & SUMNER, M.E., 1981. A glasshouse comparison of several lime requirement indexes for maize. *Crop Production*. 10, 129-135.

FARINA, M.P.W., CHANNON, P. & THIBAUD, G.R., 2000. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: II. Long-term soil effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 646-651.

FOWLER, D.B., BRYDON, J., DARROCH, B.A., ENTZ, M.H. & JOHNSTON, A.M., 1990. Environment and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. *Agron. J.* 82, 655-664.

FOY, C.D., ARMIGER, W.H., BRIGGLE, L.W. & REID, D.A., 1965. Differential aluminium tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agron. J.* 57, 413-417.

FOY, C.D., 1976. General principles involved in screening plants for aluminium and manganese tolerance. In M.J. Wright (ed.). *Plant Adaptation to mineral stress in problem soils*, Cornell University, Ithaca, New York.

FOY, C.D., 1983. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. *Iowa State J. Res.* 57, 339-354.

FOY, C.D., 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminium and manganese toxicities in acid soil. In F. Adams (ed.). *Soil acidity and liming*, 2nd edn, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

FOY, C.D., 1987. Acid soil tolerance of two wheat cultivars related to soil pH, KCl-extractable aluminum and degree of aluminum saturation. *J. Plant Nutr.* 10, 609-623.

FOY, C.D., 1988. Plant adaption to acid, aluminium toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19, 959-987.

GASCHO, G.J. & PARKER, M.B., 2001. Long-term liming effects on coastal plain soils and crops. *Agron. J.* 93, 1305-1315.

GENSTAT 5 COMMITTEE, 1995. Genstat 5 Release 3.2 for Windows, Rothamsted, United Kingdom.

GENSTAT FOR WINDOWS, 2000. Release 4.2, 5th edition, VSN Internasional, Oxford, United Kingdom.

GOOS, R.J., WESTFALL, D.G., LUDWICH, A.E. & GORIS, J.E., 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. *Agron. J.* 74, 130-133.

GRONDKLASSIFIKASIEWERKGROEP, 1991. Grondklassifikasie. 'n Taksonomiese sisteem vir Suid-Afrika. Memoirs oor die natuurlike hulpbronne van Suid-Afrika nr. 15, Departement van Landbou-ontwikkeling, Pretoria, Suid-Afrika.

HAUMANN, P.E. & VOLSCHENK, J.E., 1979a. Kalkbehoefte van gronde in die hoëveldstreek. I. 'n Vergelyking van verskillende metodes om kalkbehoefte te bepaal. *Agrochemophysica* 11, 33-36.

HAUMANN, P.E. & VOLSCHENK, J.E., 1979b. Kalkbehoefte van gronde in die hoëveldstreek. II. 'n Statistiese vergelyking tussen die kalsiumkarbonaat-inkubasie bepaalde kalkbehoefte en eienskappe van gronde. *Agrochemophysica* 11, 37-39.

HAYNES, R.J., 1984. Lime and phosphate in the soil-plant system. *Adv. Agron.* 37, 249-315.

HAYNES, R.J., 2001. Improving use efficiency as a tool for management of acid soils. In M.P.W. Farina *et al.*, (eds.). Proceedings of the 5th Internasional Plant-Soil Interaction at Low pH Symposium, Alpine Heath, South Africa.

HAYNES, R.J. & NAIDU, R., 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51, 123-137.

HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S., 1988. Effect of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulphur and phosphorus in an acid soil. *Biol. Fertil. Soils.* 6, 153-158.

HELYAR, K.R., 1991. The management of acid soils. In R.J. Wright *et al.* (eds.). Plant-soil interaction at low pH. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

HELYAR, K.R. & ANDERSON, A.J., 1974. Effects of calcium carbonate on the availability of nutrients in acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 38, 341-346.

HELYAR, K.R. & PORTER, W.M., 1989. Soil acidification, its measurement and the processes involved. In A.D. Robson (ed.). Soil acidity and plant growth, Academic Press, Sydney, Australia.

HORNE, J.E., KALEVITCH, A.E. & FILIMONOVA, M.V., 1995. Soil acidity effect on initial wheat growth and development. *J. Sustain. Agric.* 7, 5-13.

JAYMAN, T.C. & SIVASUBRAMANIAM, S., 1974. The use of ascorbic acid to eliminate interference from iron in the Aluminon method for determining aluminium in plant and soil extracts. *Analyst* 99, 296-301.

JOUBERT, G.D., 1974. Die invloed van koebehandling en fotoperiode op fotosintese by koring. Ph. D. proefskrif., Universiteit van Stellenbosch, Stellenbosch, Suid-Afrika.

KAMPRATH, E.J., 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 252-254.

KNOBEL, G.J., 1991. Die invloed van grondsuurheid op koringcultivars met verskillende vlakke van aluminium toleransie. M.Sc. Agric-verhandeling, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein, Suid-Afrika.

KOHLI, M.M. & RAJARAM, S., 1988. Wheat breeding for acid soils: Review of Brazilian/CIMMYT collaboration 1974-1986. CIMMYT, Mexico.

KRIZEK, D.T. & FOY, C.D., 1988. Role of water stress in differential aluminium tolerance of two barley cultivars grown in an acid soil. *J. Plant Nutr.* 11, 351-368.

LAFAVER, H.N., CAMBELL, L.G. & FOY, C.D., 1977. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agron. J.* 69, 563-568.

LOYNACHAN, T.E., 1981. Lime requirement methods for cold region soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 75-80.

MAHLER, R.L., 1986. Evaluation of soil pH manipulation on crop production in Northern Idaho. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17, 905-919.

MAHONEY, G.P. & UREN, N., 1982. The long-term effect of lime on soil pH. Proceedings Second Australian Agronomy Conference, Wagga Wagga, Australia.

MARTINI, J.A., KOCHHANN, R.A., GOMES, E.P. & LANGER, F., 1977. Response of wheat cultivars to liming in some high Al oxisols of Rio Grande do Sul, Brazil. *Agron. J.* 69, 612-616.

McCRAV, J.M. & SUMNER, M.E., 1990. Assessing and modifying Ca and Al levels in acid subsoils. *Adv. Soil Sci.* 14, 45-75.

McLACHLAN, K.D., 1980. Nutrient problems in sown pasture on an acid soil. II. Role of lime and superphosphate. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20, 568-575.

McLAUGHLIN, M.J., REUTER, D.J. & RAYMENT, G.E., 1999. Soil testing – principles and concepts. In K.I. Peverill, L.A. Sparrow & D.J. Reuter (eds.). Soil analysis an interpretation manual. CSIRO Publishing., Collingwood, Victoria, Australia.

MORRIS, C.F. & PAULSEN, G.M., 1985. Development of hard winter wheat after anthesis as affected by nitrogen nutrition. *Crop Sci.* 25, 1001-1010.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, 1975. Munsell color, Macbeth Division, Baltimore, Maryland.

OHKI, K., 1985. Aluminum toxicity effects on growth and nutrient composition in wheat. *Agron. J.* 77, 951-956

PATON, D.F. & LONERAGAN, J.F., 1960. An effect of lime on residual phosphorus in soil. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 524-529.

PEECH, M., 1965. Lime requirement. In C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

POLLE, E., KONZAK, C.F. & KITTRICK, J.A., 1978. Visual detection of aluminium tolerance levels in wheat by hematoxylin staining of seedling roots. *Crop Sci.* 18, 823-827.

PURCHASE, J.L., RAUTENBACH, A.J. & EISENBERG, B.E., 1995. Field determination of tolerance of South African wheat cultivars to aluminium toxicity using nearest neighbour analysis and AMMI-model. Paper presented at Combined Congress of SASCP and SSSSA, Stellenbosch, South Africa.

REEVE, N.G. & SUMNER, M.E., 1970. Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 595-598.

RITCHIE, G.P.S., 1989. The chemical behaviour of aluminium, hydrogen and manganese in acid soils. In A.D. Robson (ed.). Soil acidity and plant growth, Academic Press, Sydney, Australia.

RUIZ-TORRES, N.A., CARVER, B.F. & WESTERMAN, R.L., 1992. Agronomic performance in acid soils of wheat lines selected for hematoxylin staining pattern. *Crop Sci.* 32, 104-107.

SCOTT, B.J., CONYERS, M.K., POILE, G.J. & CULLIS, B.R., 1997. Subsurface acidity and liming affect yield of cereals. *Aust. J. Agric. Res.* 48, 843-854.

SCOTT, B.J. & FISHER, J.A., 1989. Selection of genotypes tolerant of aluminium and manganese. In A.D. Robson (ed.). Soil acidity and plant growth, Academic Press, Sydney, Australia.

SCOTT, B.J., FISHER, J.A. & CULLIS, B.R., 2001. Aluminium tolerance and lime increase wheat yield on the acidic soils of central and southern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric.* 41, 523-532.

SHAINBERG, I., SUMNER, M.E., MILLER, W.P., FARINA, M.P.W., PAVAN, M.A. & FEY, M.V., 1989. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.* 9, 1-11.

SHOEMAKER, H.E., McLEAN, E.O. & PRATT, P.F., 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25, 274-277.

SLATTERY, W.J., CONYERS, M.K. & AITKEN, R.L., 1999. Soil pH, aluminium, manganese and lime requirement. In K.I. Peverill, L.A. Sparrow & D.J. Reuter (eds.). Soil analysis an interpretation manual. CSIRO Publishing., Collingwood, Victoria, Australia.

SUMNER, M.E., 2001. Global extent, development and economic impact of acid soils. In M.P.W. Farina *et al.* (eds.). Proceedings of the 5th Internasional Plant-Soil Interaction at Low pH Symposium, Alpine Heath, South Africa.

TAN, K.H., 1982. Principles of soil chemistry, 1st edn., Marcel Dekker, Inc., New York.

TAN, K.H., 1993. Principles of soil chemistry, 2nd edn., Marcel Dekker, Inc., New York.

TANG, C., DIATLOFF, E., RENGEL, Z. & McGANN, B., 2001. Growth response to subsurface soil acidity of wheat genotypes differing in aluminium tolerance. *Plant Soil*. 236, 1-10.

THE NON-AFFILIATED SOIL ANALYSIS WORK COMMITTEE., 1990. Handbook of standard soil testing methods for advisory purposes. Soil Science Society of South Africa, Pretoria, South Africa

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L., 1975. Soil fertility and fertilizers, 3rd edn. Macmillan Publishing Co., New York.

TISDALE, S.L., NELSON, W.L., BEATON, J.D. & HAVLIN, J.L., 1993. Soil fertility and fertilizers, 5th edn. Macmillan Publishing Co., New York.

TRAN, T.S. & VAN LIEROP, W., 1981. Evaluation and improvement of buffer-pH lime requirement methods. *Soil Sci*. 131, 178-188.

VENTER, A., BEUKES, D.J., TWYMAN, L. & STEYN, C.E., 2001. Developing natural soil acidity maps for South Africa using various techniques. In M.P.W. Farina *et al.*, (eds.). Proceedings of the 5th Internasional Plant-Soil Interaction at Low pH Symposium, Alpine Heath, South Africa.

VON UEXKÜLL, H.R. & MUTERT, E., 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil* 171, 1-15.

WARMAN, P.R., WALSH, I.Y. & RODD, A.V., 2000. Field testing a lime requirement test for atlantic Canada and effect of soil pH on nutrient uptake. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 2163-2169.

WESTERMAN, R.L., 1987. Soil reaction – acidity, alkalinity, and salinity. In E.G. Heyne (ed.). *Wheat and wheat improvement*, 2nd edn. Agron. Soc. of Am., Madison, Wisconsin.

WILLIAMS, C.H., 1980. Soil acidification under clover pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Ani. Hus.* 20, 561-567.

WILLMOTT, C.J., 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.* 2, 184-194.

WRIGHT, R.J., 1989. Soil aluminium toxicity and plant growth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20, 1479-1497.

ZASOSKI, R.J. & BURAU, R.G., 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8, 425-436.

U.S. LIBRARY