

6139 71372

U.O.V.S. BIBLIOTEK

01 at T

University Free State



3430000073779

Universiteit Vrystaat

**VERWANTSKAP TUSSEN ANORGANIESE GRONDSTIKSTOF
EN MIELIE-OPBRENGS MET BEHEERDE VERKEER**

deur

SUZETTE ALETTA SMALBERGER

Voorgelê om te voldoen aan die vereistes vir die graad Magister Scientiae

in die

Departement Grondkunde
Fakulteit Landbou
Universiteit van die Vrystaat
BLOEMFONTEIN

Mei 2001

Studieleier: Prof CC du Preez
Medestudieleier: Dr FG Adriaanse

Universiteit van die
Oranje-Vrystaat
BLOEMFONTEIN
6 - DEC 2001
UOVS SASOL BIBLIOTEEK

INHOUDSOPGAWE

Opsomming	i
Summary	iii
Verklaring	v
Bedankings	vi
1. Inleiding	1
2. Materiaal en Metodes	5
2.1 Keuse van lokaliteite	5
2.2 Proefontwerp en behandelings	7
2.3 Agronomiese praktyke	7
2.4 Waarnemings	10
2.4.1 Bepaling van graanopbrengs	10
2.4.2 Grondmonsterneming en -ontleding	10
2.5 Dataverwerking	12
3. Verwantskap tussen stikstoftoediening en mielie-opbrengs	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Effek van stikstof- en fosfortoediening op graanopbrengs	14
3.2.1 Viljoenskroon	15
3.2.2 Heidelberg	16
3.3 Verwantskap tussen stikstoftoediening en absolute graanopbrengs	17
3.3.1 Viljoenskroon	17
3.3.2 Heidelberg	19
3.4 Verwantskap tussen stikstoftoediening en relatiewe graanopbrengs	21
3.4.1 Viljoenskroon	23
3.4.2 Heidelberg	25
3.5 Gevolgtrekking	28
4. Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese	

	grondstikstof by Viljoenskroon	30
4.3	Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof by Heidelberg	34
4.4	Berekening van die stikstofbehoefte van gronde by Viljoenskroon en Heidelberg	38
4.5	Gevolgtrekking	39
5.	Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs	41
5.1	Inleiding	41
5.2	Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs by Viljoenskroon	42
5.2.1	Absolute opbrengs	42
5.2.2	Relatiewe opbrengs	43
5.3	Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs by Heidelberg	49
5.3.1	Absolute opbrengs	49
5.3.2	Relatiewe opbrengs	52
5.4	Gevolgtrekking	55
6.	Samevatting	57

Verwysings

OPSOMMING

In Suid-Afrika word stikstofbestedingsaanbevelings vir mielies hoofsaaklik op 'n opbrengsmikpunt gebaseer en anorganiese grondstikstof word selde in berekening gebring. Die benadering bring mee dat daar moeilik sinvolle seisoenale aanpassings aan toedieningshoeveelhede gemaak kan word vir variërende anorganiese grondstikstof wat deur wisselende klimaatsomstandighede soos oormaat reën of droogte te weeg gebring word. Daarom is hierdie ondersoek na die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs met beheerde spoorverkeer gedoen.

Data van bemestingsproewe by Viljoenskroon op 'n Clovellygrond (1993/94 tot 1997/98) en by Heidelberg op 'n Avalonggrond (1991/92 tot 1997/98) is gebruik om die verwantskappe tussen stikstoftoediening en mielie-opbrengs, stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof asook anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs te bepaal. By beide lokaliteite is stikstofpeile faktoriaal gekombineer met fosforpeile en drie keer in 'n roosterontwerp herhaal. Die graanopbrengs is jaarliks by beide lokaliteite op elke perseel gemeet. Daar is ook jaarliks grondmonsters twee weke na kantbemesting van stikstof in 'n 300 mm strook oor die mieliery (baanmonsters) en voor planttyd in 'n 1200 mm strook tussen die mielierye (tussenbaanmonsters) op elke perseel by beide lokaliteite geneem. Hierdie monsters is ontleed sodat die hoeveelheid anorganiese stikstof in die baan en totale grondvolumes bereken kon word.

Die verwantskap tussen stikstoftoediening en graanopbrengs was parabolies, die tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof kwadraties en die tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs parabolies van aard. Hierdie verwantskappe het deurgaans meer variasie by Viljoenskroon as by Heidelberg verklaar. Volgens die verklaring van variasie was die verwantskappe wat grondreaksies op stikstoftoedienings voorspel by beide lokaliteite oor jare betroubaar. Plantreaksies is oor jare by beide lokaliteite slegs deur die verwantskap tussen grondstikstof in bane oor die mielierye en relatiewe opbrengs betroubaar voorspel. Hiervolgens kan aanbevelings vir stikstoftoedienings op die optimum hoeveelheid grondstikstof in bane oor mielierye vir 'n bepaalde relatiewe opbrengs gebaseer word.

Die hoeveelheid stikstof wat toegedien moet word om die anorganiese stikstofinhoud van die bane oor mielerye tot die verlangde vlak te verhoog kan met regressievergelykings bereken word.

In Suid-Afrika is die algemene praktyk dat ongeveer 'n derde van die stikstof met die aanplanting van mielies gebandplaas word en die res so vier tot ses weke na opkoms as kantbemesting toegedien word. Bogemelde inligting wat bereken kan word stel die boer in staat om die hoeveelheid stikstof wat toegedien moet word aan te pas na aanleiding van die anorganiese grondstikstof voor en/of tydens 'n bepaalde seisoen. So 'n benadering het voordele waar die opbrengs van mielies jaarliks baie varieer weens wisselvallige reënval soos ook in hierdie ondersoek ondervind is. Dit moet beklemtoon word dat so 'n benadering groter eise aan boere, grondontledingslaboratoriums en kunsmisverskaffers sal stel. Oor- of onderbemesting behoort volgens die benadering aansienlik teenoor die bestaande benadering verminder te word. Meer navorsing is egter noodsaaklik vir ekstrapolasie na ander ekotope.

SUMMARY

Nitrogen fertilizer recommendations for maize production in South Africa are based on yield to be achieved. Inorganic soil nitrogen is seldom used. This approach causes difficulties in the meaningful seasonal adoption in application rates to be made due to variance in inorganic soil nitrogen due to climatic variations such as too much rain or drought. Therefore the relationship between inorganic soil nitrogen and inorganic soil nitrogen with maize yield under controlled traffic practices was carried out.

Data of fertilizer trials at Viljoenskroon on a Clovelly soil (1993/94 to 1997/98) and at Heidelberg on a Avalon soil (1991/92 to 1997/98) were used to determine the relationship between applied nitrogen and maize yield, applied nitrogen and inorganic soil nitrogen as well as inorganic soil nitrogen and maize yield. At both localities the nitrogen rates were factorially combined with phosphor rates and replicated three times in a "roosterontwerp". The grain yield was determined annually at both localities. Soil samples were annually taken from two weeks after nitrogen side dressing in a 300 mm band over the maize row (intra row samples) and before plant in a 1200 mm band between the maize rows (inter row samples) on each plot at both localities. These samples were analysed to determine the amount of inorganic nitrogen in the row as well as total soil volumes.

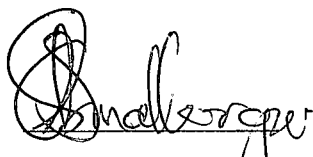
The relationship between applied nitrogen and grain yield was parabolic, between applied nitrogen and inorganic soil nitrogen quadratic and between inorganic soil nitrogen and grain yield parabolic. These relationships had explained more variance at Viljoenskroon than at Heidelberg throughout the study. According to the variance, the relationship of soil reaction on nitrogen application predicted by both localities over years was reliable. Plant reaction was predicted at by both localities over years by the relationship between soil nitrogen in the intra row maize rows and relative yield. According to this nitrogen application recommendations can be made for the optimum amount of soil nitrogen in the intra row for a certain relative maize yield.

The amount of nitrogen required to raise inorganic nitrogen content of intra row soil to the desirable level was obtained by the use of the regression equation.

The general practice for maize production in South Africa is that a third of the nitrogen is band placed at planting and the remainder applied four to six weeks after planting as top dressing. The abovementioned information could help the farmer to calculate the amount of nitrogen that should be applied to adjust inorganic soil nitrogen levels before and/or during a specified season. This approach has the advantage that where the maize yield varies according to inconsistent rainfall nitrogen applications may be adjusted. It must be accentuated that this approach puts greater demands to farmers, soil analytical laboratories and fertilizer providers. Over- and under fertilization should considerably decrease due to this approach. More research is however needed for exploitation in other ecotypes.

Ek verklaar dat die verhandeling wat hierby vir die graad Magister Scientiae aan die Universiteit van die Vrystaat deur my ingedien word, my selfstandige werk is en nie voorheen deur my vir 'n verhandeling 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.


SA Smalberger

BEDANKINGS

Al die eer aan God vir die vermoë en krag wat ek ontvang het om die studie te voltooi.

Professor Chris du Preez vir die professionele hulp en leiding as studieleier.

Dr Erik Adriaanse wat as mede-studieleier opgetree het.

Mevrou Rida van Heerden vir die tegniese hulp.

Die Landbounavorsingsraad vir die finansiering en die Instituut vir Graangewasse vir die gebruik van die fasiliteite en in besonder die Plantvoedingafdeling vir talle grond- en plantontledings.

'n Spesiale woord van dank aan my familie en vriende vir hulle steun en aanmoediging.

HOOFSTUK 1

INLEIDING

Mielies is by verre die belangrikste graangewas wat in Suid-Afrika verbou word. Die suksesvolle produksie van mielies is egter slegs moontlik met voldoende bemesting. Volgens Ferreira (1999) is die bydrae van bemesting en bekalking tot die lopende produksiekoste van mielies ongeveer 26% vir die belangrikste mieliestreke. Daarom is dit noodsaaklik dat bemesting van mielies volgens wetenskaplik gefundeerde riglyne moet geskied sodat die bydrae daarvan tot die produksiekoste binne aanvaarbare perke bly.

Die Suid-Afrikaanse gronde waarop mielies verbou word, word deur lae organiese materiaal gekenmerk (Du Toit, 1992). Gevolglik is die organiese stikstofreserwes in die gronde laag en is stikstofbemesting essensieël vir mielieverbouing. Stikstof is die voedingstof wat in die grootste hoeveelheid bemes word en maak dus die grootste deel van die bemestingskoste van mielies uit.

Stikstofbemestingriglyne vir mielies in Suid-Afrika is na aanleiding van verwantskappe tussen stikstoftoediening en oesopbrengs wat eksperimenteel vir verskillende kombinasies van grond en klimaat bepaal is opgestel (Venter, 1982). Gevolglik word stikstofbemestingsaanbevelings vir mielies hoofsaaklik op 'n opbrengsmikpunt gebaseer. Die benadering bring mee dat daar 'n gebrek aan meetbare parameters is waarvolgens sinvolle aanpassings aan toedieningshoeveelhede gemaak kan word vir variërende omstandighede, soos oormaat reën of droogte.

Wêreldwyd word daar al sedert die sewentigerjare al hoe meer staat gemaak op grondontledingsdata vir bemestingsaanbevelings van stikstof (Keeney, 1982; Stanford, 1982; Volschenk, 1982). Dit spruit enersyds uit die steeds stygende pryse van stikstofmisstawwe en andersyds uit kommer oor stikstofbesoedeling van die omgewing, veral binnelandse waters. Die verskillende metodes wat aangewend word om planttoeganklike stikstof te bepaal word breedvoerig deur Keeney (1982), Stanford (1982) en Volschenk (1982) bespreek.

Die anorganiese stikstof in die wortelsone is bykans geheel en al planttoeganklik en behoort waarskynlik by stikstofbemestingsaanbevelings in berekening gebring te word (Smith, 1986;

Ward, 1971). Dit geld veral vir gebiede waar die klimaat van so 'n aard is dat daar normaalweg nie oormatige logging en/of denitrifikasie voor planttyd of gedurende die groeiseisoen plaasvind nie (Stanford, 1982). Sodoende kan daar vir hierdie gebiede meer verantwoordbare stikstofbestedingsriglyne opgestel word.

Daarom het verskeie internasionale navorsers (Magdoff, Ross & Amadon, 1984; Blackmer, Pottker, Cerrato & Webb, 1989; Binford, Blackmer & Cerrato., 1992; Christensen & Huffman, 1992; Motavalli, Bundy, Andraski & Peterson, 1992; Buerkert, Horlacher & Marschner, 1995; Heckman, Probst, Hlubik & Paterson, 1995) die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en opbrengs ondersoek. Hierdie navorsers het egter verskillende optimum waardes van anorganiese grondstikstof gerapporteer. Die belangrikste rede daarvoor is dat die gronde se stikstofleeringsvermoë verskil het weens verskille in organiese materiaalinhoud. Ander redes is dat die anorganiese grondstikstof nie altyd tot dieselfde diepte bepaal is nie en in sommige gevalle, waar ammoniumstikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) 'n aansienlike bydrae tot die anorganiese grondstikstof kon lewer, is slegs nitraatstikstof ($\text{NO}_3\text{-N}$) bepaal.

Enkele plaaslike navorsers het al pogings aangewend om die bydrae van anorganiese grondstikstof tot die opbrengs van mielies te kwantifiseer. Du Preez & Burger (1986) rapporteer dat die hoeveelheid anorganiese stikstof in die mieliegronde van die Oranje-Vrystaat en Transvaal met planttyd in 1984 van so 'n omvang was dat dit by stikstofbestedingsaanbevelings in berekening gebring behoort te word. Volgens hulle was die anorganiese stikstof in die ondergrond van betekenis en kan 'n aansienlike bydrae tot die stikstofvoeding van mielies lewer mits die wortelontwikkeling goed is. In die ondersoek was die anorganiese stikstof ter sprake hoofsaaklik nitrate.

Die bevinding van Du Preez & Burger (1986) het daartoe gelei dat Van der Walt & Du Preez (1991) die potensiaal van nitraatontledings vir stikstofaanbevelings by mielies ondersoek het. Goeie verwantskappe is tussen nitraatinhoud en relatiewe opbrengs met grondmonsters wat lukraak net voor plant tot ten minste 600 mm diepte geneem is verkry. Hierdie navorsers het dus aanvaar dat die bandgeplaaste stikstof wat residueel is na braak homogeen in die grond versprei is terwyl dit nie noodwendig so is nie. Die neem van grondmonsters net voor plant het ook die nadeel dat dit nie gesinchroniseer is met die neem van die monsters vir die gebruikelike bepaling van die vrugbaarheidstatus van gronde vir bestedingsaanbevelings nie.

Gevolglik kan boere logistiese probleme ondervind om geskikte bemestingstowwe betyds aan te skaf.

Goeie verwantskappe tussen residuele nitraatstikstof plus toegediende stikstof en relatiewe opbrengs vir mielies is deur Bloem & Barnard (1995) gerapporteer wanneer grondmonsters net voor plant geneem is, maar nie wanneer grondmonsters net na oes geneem is nie. Hierdie monsters is saamgestel deur die vermenging van vyf submonsters waarvan een op die vorige seisoen se plantry, twee tussen die plantrye en twee tussen die gemelde posisies tot 'n diepte van 600 mm geneem is. Al die residuele stikstof is waarskynlik nie met hierdie metode van monsterneming gekwantifiseer nie aangesien bandplasing van misstowwe ongeveer 50 mm vanaf die plantry en kantbemesting ongeveer 100 mm vanaf die plantry geskied en ammoniumstikstofbepalings ook nie in die studie gedoen is nie.

Volgens Adriaanse & Human (1990) lewer ammonium 'n groot bydrae tot residuele anorganiese stikstof waar ammoniumbevattende misstowwe op Suid-Afrikaanse mieliegronde gebandplaas word, veral as die gronde sanderig en effens suur is. Derhalwe het Landman (1995) goeie verwantskappe tussen anorganiese stikstof, dit wil sê ammonium plus nitraat, en relatiewe mielie-opbrengs op sulke gronde verkry. Beheerde spoorverkeer is onder die omstandighede toegepas en grondmonsters is twee weke na kantbemesting geneem. Grondmonsters is saamgestel uit submonsters wat in 'n 300 mm baan oor die mielierye tot 'n diepte van 600 mm geneem is. Landman (1995) het gevind dat bandplasing gevolg deur kantbemesting van stikstofbevattende misstowwe by beheerde spoorverkeer tot gevolg het dat feitlik alle anorganiese stikstof twee weke na kantbemesting in 'n 300 mm baan oor die mielierye voorkom. Selfs met verloop van jare het hierdie toegediende stikstof nie in die tussenbaan grondvolumes in beweging nie.

Die resultate van hierdie plaaslike navorsers bevestig dat anorganiese stikstof in berekening gebring moet word by stikstofbemestingsaanbevelings vir mielies. Hulle is dit eens dat grondmonsters vir die doel ten minste 600 mm diep geneem behoort te word. Daar is egter geen eenvormigheid tussen die navorsers wat die tyd en metode van grondmonsterneming betref nie. Daar blyk ook nog twyfel te wees oor óf ammonium- plus nitraatstikstof óf net nitraatstikstof in berekening gebring moet word. Dit is duidelik dat daar nog heelwat leemtes is wat nagevors moet word voordat bemestingsaanbevelings vir mielies sinvol volgens die residuele anorganiese stikstof in grond aangepas kan word.

Hierdie ondersoek na die verwantskap tussen anorganiese stikstof in grond en opbrengs van mielies onder beheerde spoorverkeer is teen die agtergrond gedoen ten einde meetbare parameters te vind waarvolgens stikstofbemestingsaanbevelings gedoen kan word. Die volgende verwantskappe is deeglik ondersoek met data vanaf bemestingsproewe by Viljoenskroon op 'n Clovellygrond en by Heidelberg op 'n Avalongrond en daaroor word volledig in hierdie verhandeling gerapporteer:

- Die verwantskap tussen stikstofvoeding en mielie-opbrengs.
- Die verwantskap tussen stikstofvoeding en anorganiese grondstikstof.
- Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs.

HOOFSTUK 2

MATERIAAL EN METODES

2.1 Keuse van lokaliteite

Ten einde die verwantskap tussen anorganiese stikstof in die grond en opbrengs van mielies onder beheerde spoorverkeer te ondersoek is die data van twee N x P bemestingsproewe gebruik. Hierde proewe is in die Viljoenskroondistrik van die Vrystaatprovinsie en in die Heidelbergdistrik van die Gautengprovinsie uitgevoer.

Die proewe is gekies na aanleiding van klimaatstoestande, grondtipes en bewerkingspraktyke sodat die resultate wat uit hierdie ondersoek voortvloei wye toepassing in die mielieproduserende dele van Suid-Afrika kan hê. In die Vrystaat word 30% van Suid-Afrika se mielies geproduseer (Du Toit, 1997). Daarteen word slegs 9% van Suid-Afrika se mielies in Gauteng geproduseer. Die omstandighede waaronder mielies in Gauteng geproduseer word, is egter soortgelyk aan die in Mpumalanga waar 22% van Suid-Afrika se mielies geproduseer word. Enkele klimaatsparameters van die twee lokaliteite word in Tabel 2.1 opgesom.

Tabel 2.1: Enkele klimaatsparameters van die lokaliteite by Viljoenskroon en Heidelberg

Klimaatsparameters	Viljoenskroon	Heidelberg
Ligging	26°55'O en 27°10'S	28°19'O en 26°50'S
Hoogte bo seevlak (m)	1321	1450
Gemiddelde jaarlikse:		
Reënval (mm)	585	639
Verdamping (mm)	2184	1927
Ariditeitsindeks	0.27	0.33
Temperatuur (°C)	16.5	15.6
Sonskyn (uur dag ⁻¹)	8.7	7.7

Tabel 2.2: Maandelikse reënval oor die proeftydperke by Viljoenskroon en Heidelberg

Jaar	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Gem
Viljoenskroon													
1993	115	135	43	34	8	0	0	0	10	181	47	197	770
1994	110	179	64	13	0	0	2	0	0	35	75	61	539
1995	81	88	72	20	22	0	0	12	11	150	107	167	730
1996	73	203	79	143	66	1	23	21	7	95	84	82	877
1997	40	49	146	84	112	1	18	1	31	35	81	105	704
1998	135	60	107	0	0	0	0	2	12	110	137	220	782
Gem	92	119	85	49	35	0	7	6	12	101	89	139	734
Heidelberg													
1991	181	35	98	0	0	7	0	0	3	84	27	105	539
1992	48	11	38	230	1	0	3	4	0	0	193	81	402
1993	45	117	80	61	11	0	0	3	0	371	109	73	870
1994	93	89	75	0	0	0	0	0	1	75	73	93	499
1995	106	49	60	45	11	0	0	14	6	88	92	236	707
1996	122	182	58	102	21	0	0	0	0	84	107	96	772
1997	127	40	323	82	110	10	0	10	97	44	143	163	1149
1998	169	54	66	8	0	0	0	3	40	51	248	64	700
Gem	111	72	100	86	22	1	0	4	12	101	138	114	705

Die Viljoenskroonproef is vir vyf seisoene vanaf 1993/94 tot 1997/98 herhaal, terwyl die Heidelbergproef vir sewe seisoene vanaf 1991/92 tot 1997/98 herhaal is. Oor hierdie proeftydperke was die gemiddelde jaarlikse reënval by Viljoenskroon 734 mm en by Heidelberg 705 mm (Tabel 2.2) teenoor die gemiddelde jaarlikse reënval oor die langtermyn van 585 mm by Viljoenskroon (44 jaar) en 639 mm by Heidelberg (17 jaar) (Tabel 2.1). Dus was die klimaatstoestand gunstig vir mielieverbouing by altwee lokaliteite.

By Viljoenskroon is die proef op 'n grond van die Clovellyvorm, Setlagolifamilie aangeplant. Hierdie grond is deur Landman (1995) volgens die taksonomiese grondklassifikasiesistiem vir Suid-Afrika (Grondklassifikasiewerksgroep, 1991)

geklassifiseer. By Heidelberg is die proef op 'n grond van die Avalonvorm, Ventersdorpfamilie (Grondklassifikasiewerksgroep, 1991) aangeplant. Enkele eienskappe van die twee gronde voordat daar met die proewe begin is, word in Tabel 2.3 gegee. Volgens die bemestingsriglyne vir mielies onder droëlandtoestande in die Republiek van Suid-Afrika (Somergaansentrum, 1994) is die vrugbaarheidstatus van die gronde met betrekking tot die ander belangrikste plantvoedingstowwe (Tabel 2.3) voldoende vir mielieverbouing. Daar is egter by beide lokaliteite regstellings gedoen soos in Afdeling 2.3 beskryf.

2.2 Proefontwerp en behandelings

Die Viljoenskroonproef het bestaan uit vyf stikstofpeile (0, 40, 80, 120 en 180 kg N ha⁻¹) wat faktoriaal gekombineer is met vyf fosforpeile (0, 10, 20, 40 en 60 kg P ha⁻¹) en drie keer in 'n roosterontwerp herhaal is op persele van 7.5 x 10 m (5 mielierye). Daarteenoor het die Heidelbergproef bestaan uit vyf stikstofpeile (0, 40, 80, 120 en 180 kg N ha⁻¹) wat faktoriaal gekombineer is met ses fosforpeile (0, 5, 10, 20, 40 en 60 kg P ha⁻¹) en drie keer in 'n roosterontwerp herhaal is op persele van 6 x 10 m (4 mielierye).

Hierdie toedienings van stikstof as kalksteenammoniumnitraat (28% N) en fosfor as dubbelsuperfosfaat (20% P) is oor die proeftydperk konstant gehou per perseel. Die stikstof is teen 20 kg ha⁻¹ met plant in 'n band 50 mm onder en 75 mm sywaarts van die pit toegedien. Ongeveer 4 tot 6 weke na plant is die res van die stikstof as kantbemesting ongeveer 150 mm van die mieliery en 100 mm diep toegedien. Die fosfor is tydens plant saam met die stikstof gebandplaas.

2.3 Agronomiese praktyke

Beheerde spoorverkeer is by beide lokaliteite toegepas. Met die aanvang van die seisoen is op die ry gerip en daarna is onkruidbeheer en saadbedvoorbereiding deur skoffelbewerking gedoen. By Viljoenskroon is die mieliestoppels na afloop van die seisoen op die land agtergelaat, maar by Heidelberg is die mielies kort op die grond afgesny en ná oes verwyder. By beide lokaliteite is die kultivar PAN 6549 vanweë

die hoë mate van aanpasbaarheid en stabiliteit in 1.5 m rywydtes aangeplant. Die plantdatums vir beide lokaliteite word in Tabel 2.4 aangetoon. By Viljoenskroon en

Tabel 2.3: Enkele eienskappe van die gronde by Viljoenskroon (Landman, 1995) en Heidelberg (LNR-IGG, 1991) voor aanvang van die proewe

Eienskap*	0-150	Diepte (mm) 150-300	300-600
Viljoenskroon			
Klei-inhoud (%)	7.30	11.10	12.10
pH(KCl)	4.69	4.49	4.72
Uitruilbare (mg kg ⁻¹):			
Na (Ambic)	7.20	0.80	0.00
K (Ambic)	60.00	38.40	32.20
Mg (Ambic)	42.20	32.00	43.00
Ca (Ambic)	151.40	229.80	281.00
Ekstraheerbare (mg kg ⁻¹):			
P (Ambic)	14.69	2.77	1.75
Zn (Ambic)	1.62	2.48	3.29
NH ₄ -N (KCl)	1.18	1.31	1.47
NO ₃ -N (KCl)	2.45	1.46	1.27
Heidelberg			
Klei-inhoud (%)	13.70	21.80	27.40
pH(KCl)	4.96	4.50	4.89
Uitruilbare (mg kg ⁻¹):			
Na (Ambic)	5.06	4.49	2.33
K (Ambic)	126.31	60.80	50.47
Mg (Ambic)	58.25	63.24	104.70
Ca (Ambic)	429.04	419.50	543.46
Ekstraheerbare (mg kg ⁻¹):			
P (Ambic)	34.77	5.84	4.96
Zn (Ambic)	3.65	3.26	3.31
NH ₄ -N (KCl)	3.15	2.97	5.15
NO ₃ -N (KCl)	4.84	7.13	5.15

*Ontledings is volgens standaardmetodes gedoen (The Non-affiliated Soil Analysis Work Committee, 1990).

Tabel 2.4: Plantdatums vir Viljoenskroon en Heidelberg

Seisoen	Viljoenskroon	Heidelberg
1991/92	–	22 November 1991
1992/93	–	12 November 1992
1993/94	29 November 1993	23 November 1993
1994/94	25 November 1994	21 November 1994
1995/96	3 November 1995	28 November 1995
1996/97	7 November 1996	13 November 1996
1997/98	3 Desember 1997	18 November 1997

Heidelberg was die effektiewe plantpopulasie onderskeidelik 22 000 en 18 000 plante per hektaar.

Grondmonsters is jaarliks by beide lokaliteite geneem om die vrugbaarheidstatus van die gronde te monitor ten einde regstellings te maak indien nodig. Daarom is by Viljoenskroon 40 kg ha⁻¹ K as KCl en 36 kg ha⁻¹ Mg as MgO met aanvang van die 1993/94, 1996/97 en 1997/98 seisoene in die band met plant saam met N en P toegedien. Daarenteen is by Heidelberg slegs 1 ton ha⁻¹ mikrofyn kalsitiese kalk voor die 1991/92 seisoen toegedien.

Gardomil Super ('n mengsel van Atrasien, Terbutielasien en Metolachlor) is vir die beheer van wye spektrum breëblaaronkruid- en sekere grasse met plant toegedien. Verder is Deltametrien (Decis) en Karbofuran (Curaterr) met plant vir insekbeheer toegedien. Daar is gepoog om gedurende die seisoen die beste bewerkingspraktyke en doeltreffende onkruid- en plaagbeheer toe te pas.

Nogtans was daar by Viljoenskroon op 'n laat stadium gedurende die 1994/95 seisoen 'n stronkboorderinfestasië wat tot laer opbrengste gelei het. Gedurende 1993/94 en 1994/95 seisoene was daar ook by Heidelberg stronkboorderinfestasiës. Gedurende 1993/94 was dit vroeg in die seisoen en die skade nie so groot nie, maar gedurende 1994/95 was die skade eers laat in die seisoen en die gevolg was baie swak opbrengste.

2.4 Waarnemings

2.4.1 Bepaling van graanopbrengs

Opbrengs is jaarliks by beide lokaliteite op elke perseel gemeet. Die netto perseelgrootte vir die doel was 4.5 x 8 m (3 rye) by Viljoenskroon en 3 x 8 m (2 rye) by Heidelberg. By elke perseel is die kopmassa sonder blare bepaal, waarna 'n verteenwoordigende monster van 10 koppe gebruik is vir die bepaling van dorspersentasie en voginhoud. Graanopbrengs is dan uitgewerk nadat daar vir 'n voginhoud van 12.5% gekorrigeer is.

2.4.2 Grondmonsterneming en -ontleding

By beide lokaliteite is daar grondmonsters op twee stadiums geneem.

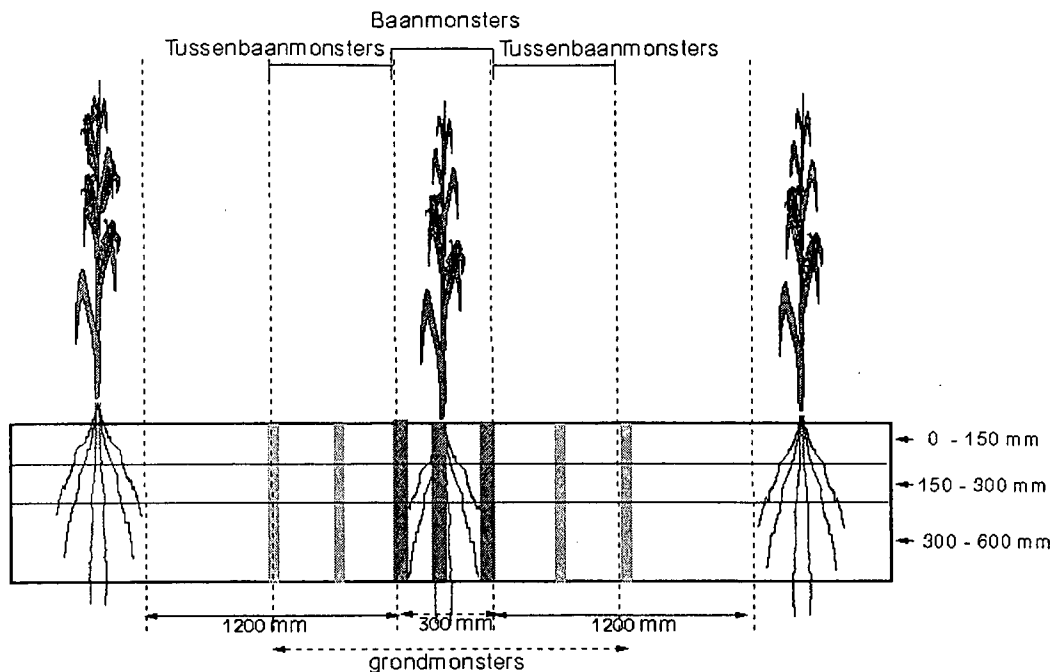
- Voor-plant: Die monsters is na oes, maar voor die eerste grondbewerking geneem.
- Na-plant: Die monsters is twee weke na die kantbemesting van stikstof geneem.

Hierdie monsterneming is volgens die metode soos beskryf deur Landman (1995) uitgevoer. Hy het gevind dat met beheerde spoorverkeer waar kunsmis gebandplaas word 'n verrykte kunsmisone oor die mieliery ontstaan wat nie met die normale metode van monsterneming in ag geneem word nie. Daar is dus oor die mielierye en tussen die mielierye monsters geneem soos in Figuur 2.1 geïllustreer.

- Baanmonsters: Nege submonsters is in 'n 300 mm strook oor die mielierye vir die 0-150 mm diepte geneem, terwyl drie submonsters vir die 150-300 mm en 300-600 mm dieptes per oesry saamgestel is.
- Tussenbaanmonsters: Twaalf submonsters is in 'n 1200 mm strook tussen die mielierye vir die 0-150 mm diepte geneem, terwyl vier submonsters vir die 150-300 mm en 300-600 mm dieptes per oesry saamgestel is.

Die baanmonsters is voor-plant en na-plant geneem, maar die tussenbaanmonsters is slegs voor-plant geneem. Landman (1995) het gevind dat die stikstof- en

fosforinhoud van die tussenbaanmonsters nie noemenswaardig van voor tot na plant verskil het nie.



Figuur 2.1: Grondmonsternemingsmetode (Landman & Adriaanse, 1995).

Die grondmonsters is binne 24 uur na die laboratorium vervoer waar dit by kamertemperatuur gedroog is. Na droging is die monsters gemaal, gesif (< 2 mm) en gestoor totdat dit ontleed is.

Al die grondmonsters is vir anorganiese stikstof ontleed, terwyl slegs die monsters van die 0-150 mm diepte-inkrement vir ekstraheerbare fosfor ontleed is deur van standaardmetodes gebruik te maak (The Non-Affiliated Soil Analysis Work Committee, 1990). Die stikstof is met 1.0 N KCl geëkstraheer waarna die ammonium, nitriet en nitraat kolorimetries bepaal is, sodat die anorganiese stikstof deur sommering bereken kon word. 'n Bray oplossing is gebruik om die fosfor te ekstraheer wat dan kolorimetries bepaal is. Hierdie lugdroë gravimetriese waardes van stikstof en fosfor is omgeskakel na kg ha^{-1} deur die brutodigtheid van die gronde te gebruik wat deur Landman (1995) vir Viljoenskroon en deur die LNR-IGG (1991) vir Heidelberg gerapporteer is.

Die anorganiese stikstofinhoud van die baan en totale grondvolume voor en na plant is tot op dieptes van 150, 300 en 600 mm vir die doeleindes van hierdie ondersoek bereken.

2.5 Dataverwerking

Daar is variansie-analises met behulp van Statgraphics (Manugistics, 1998) gedoen om die effek van die behandelingskombinasies op die opbrengs van mielies by 'n betekenispeil van 95% vas te stel. In die analises is plantestand as kovariantkorreksie gebruik. Geen roosterontwerpontledings is gedoen nie, aangesien Landman (1995) gevind het dat dit geen betekenisvolle bydrae tot die verbetering van die ontledings maak het nie. Albei proewe is dus as ewekansige blokontwerpe hanteer.

Alle verwantskappe is met behulp van Costat (CoHort, 1995) bepaal deur die gemiddelde waardes te gebruik, sodat daar deurgans tussen die twee lokaliteite 'n vergelyking getref kan word. By Viljoenskroon is die graanopbrengs en die anorganiese grondstikstof die gemiddelde van die vyf fosfortoedienings by elke stikstoftoediening (gemiddeld van 15 metings). By Heidelberg is die graanopbrengs die gemiddeld van die hoogste fosfortoediening by elke stikstoftoedining (gemiddeld van 3 metings), terwyl die anorganiese grondstikstof die gemiddeld van al ses fosfortoedienings is (gemiddeld van 18 metings). In Afdeling 3.2 is 'n uiteensetting gegee waarom by Heidelberg slegs die hoogste fosfortoedining en by Viljoenskroon al die fosfortoedienings gebruik is betreffende graanopbrengs.

HOOFSTUK 3

VERWANTSKAP TUSSEN STIKSTOFTOEDIENING EN MIELIE- OPBRENGS

3.1 Inleiding

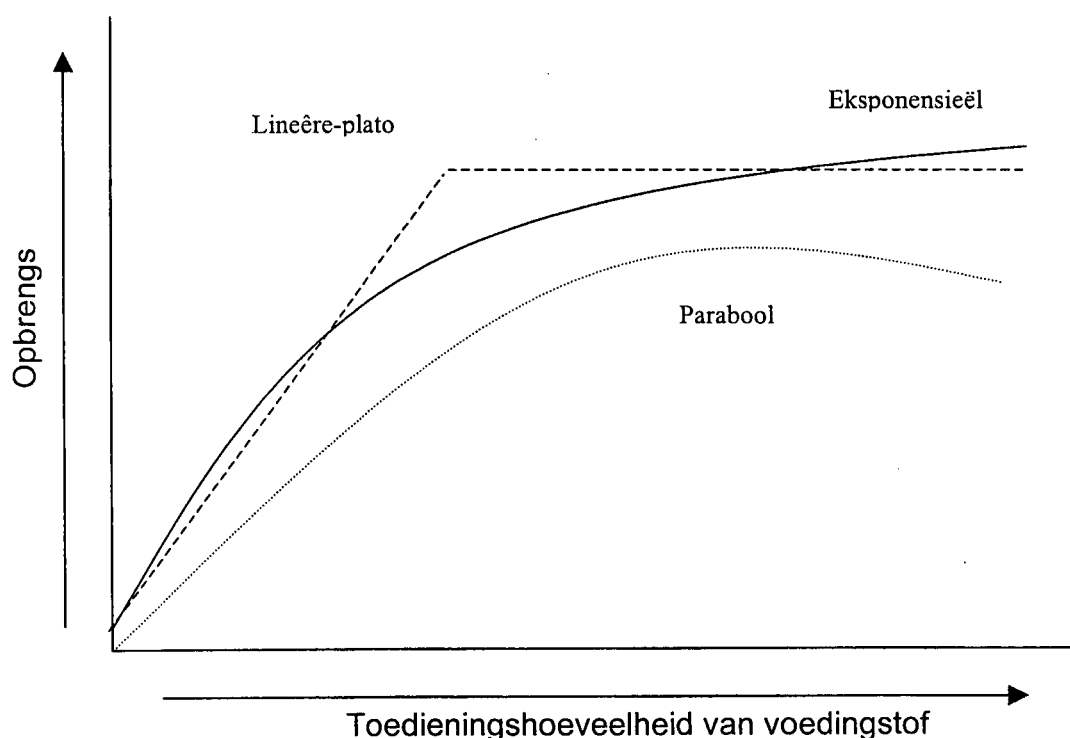
Stikstof is 'n essensiële plantvoedingstof en moet normaalweg in groot hoeveelhede toegedien word wanneer graangewasse soos mielies verbou word ten einde goeie opbrengste te verseker (Mengel & Kirkby, 1987; Addiscott, Whitemore & Powlson, 1992). Die dinamiese aard van stikstof in die grond-plant-atmosfeer sisteem bring mee dat bemestingsaanbevelings ten opsigte van stikstof meestal op opbrengsmikpunte gebaseer word (Ahmed, Rohrbach, Gono, Mazhangara, Mugwira, Masendeke & Alibaba, 1997; Bänzinger, 1997; Thylén, 1997). Hierdie benadering vereis dat daar verwantskappe tussen toegediende N en opbrengs bepaal moet word vir verskillende kombinasies van grond, klimaat en gewas wat as riglyne vir bemestingsaanbevelings kan dien. Die uitgangspunt met sulke verwantskappe is dat die stikstofbehoefte van die gewas en die stikstofleweringsvermoë van die grond by 'n gegewe klimaat verreken word.

Verskeie wiskundige modelle word gebruik om die verwantskap tussen toegediende N en opbrengs te beskryf. Die modelle wat die meeste vir die doel gebruik word, is volgens Havlin, Beaton, Tisdale & Nelson (1999) 'n eksponensiële model: $y = e^x$; paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$; en lineêre-plato model: $y = mx + b$ (lineêre deel met helling = m) en $y = b$ (platodeel met 'n helling = 0) waar y die opbrengs en x die toegediende N verteenwoordig. In Figuur 3.1 word potensiese reaksiekrommes geïllustreer wat met die drie modelle bereken kan word. Ongeag die wiskundige model wat gebruik word sal die reaksiekrommes varieer met grond, klimaat, gewas en so meer.

Uit voorafgaande is dit duidelik dat met hierdie benadering die raming van 'n opbrengsmikpunt krities is ten einde akkurate stikstofaanbevelings te maak. 'n Onderskatting van die opbrengsmikpunt kan weens onderbemesting met N tot 'n oesverlies lei. Alternatiewelik, 'n oorskating van die opbrengsmikpunt kan weens

oorbemesting met N tot besoedeling van ondergrondse water lei. Die kans vir 'n onder- of oorskating van 'n opbrengsmikpunt verhoog wanneer die variasie in klimaat toeneem soos vanaf subhumiede tot halfdroë gebiede (Havlin *et al.*, 1999).

In Suid-Afrika waar mielies meestal in halfdroë gebiede verbou word, word akkurate stikstofaanbevelings bemoeilik deurdat opbrengste baie wisselvallig is (Venter, 1982). Ten einde vas te stel of die akkuraatheid van stikstofaanbevelings vir mielies verhoog kan word deur die anorganiese stikstof in die grond te verreken moet die verwantskap tussen toegediende N en opbrengs eers gekwantifiseer word. Dus word die verwantskap tussen toegediende N en mielie-opbrengs by Viljoenskroon en Heidelberg in hierdie hoofstuk gerapporteer.



Figuur 3.1: Voorbeelde van potensiële reaksiekrommes wat met drie wiskundige modelle bereken word (Havlin *et al.*, 1999)

3.2 Effek van stikstof- en fosfortoediening op graanopbrengs

Aangesien N en P behandelings by beide lokaliteite faktoriaal gekombineer is kan die invloed van P op die opbrengs nie geïgnoreer word wanneer die verwantskap tussen

toegediende N en opbrengs gekwantifiseer word nie. 'n Vereiste by die vasstelling van so 'n verwantskap is dat die opbrengs nie deur 'n tekort aan P aan bande gelê is nie.

3.2.1 Viljoenskroon

In Tabel 3.1 is 'n opsomming van 'n variansie-analise wat op die opbrengsdata van Viljoenskroon gedoen is. Fosfor het onder geen omstandighede opbrengs betekenisvol beïnvloed nie, terwyl die seisoen x stikstof interaksies wel opbrengs betekenisvol beïnvloed het. Aangesien die N x P interaksies nie betekenisvol was nie kon die verwantskap tussen toegediende N en opbrengs vir elke seisoen gekwantifiseer word ongeag die hoeveelheid P wat toegedien is.

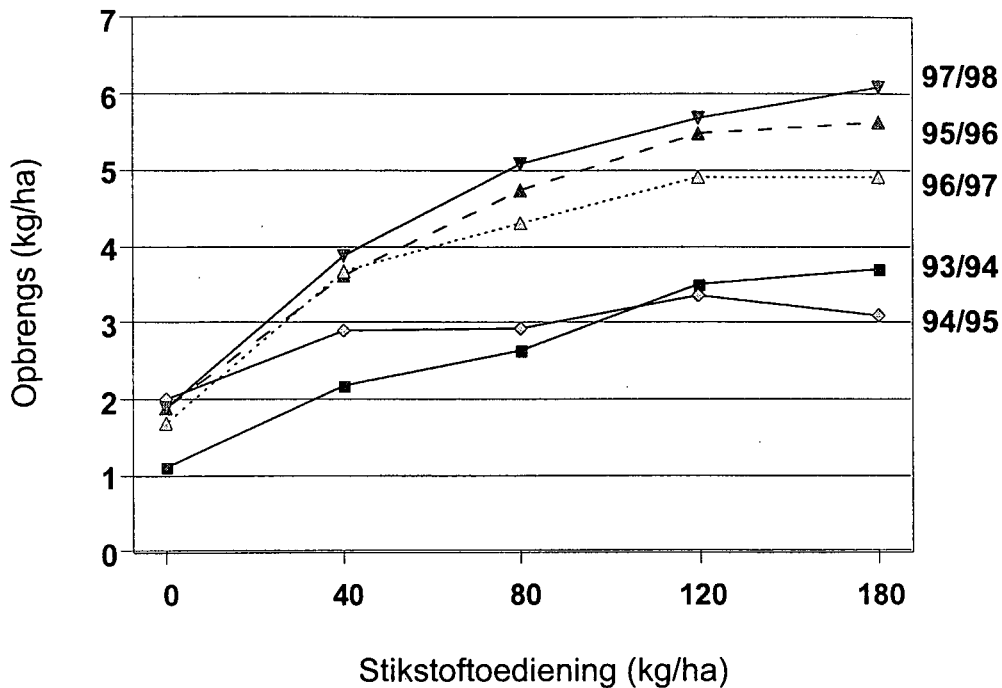
Tabel 3.1: Opsomming van variansie-analise van Viljoenskroon se opbrengsdata

Bron	Vg	F-toets	P-waarde
Kovariant			
Plante	1	9.26	0.0026
Hoofeffekte			
Herhaling	2	6.98	0.0011
Seisoen	4	42.47	0.0000
Stikstof	4	173.06	0.0000
Fosfor	4	2.09	0.0833
Interaksies			
Seisoen x Stikstof	16	5.57	0.0000
Seisoen x Fosfor	16	1.05	0.4082
Stikstof x Fosfor	16	1.64	0.0590
Seisoen x Stikstof x Fosfor	64	0.62	0.9887

KV = 22 %

Die effek van stikstoftoediening op graanopbrengs vir die verskillende seisoene word in Figuur 3.2 getoon. Dit is duidelik dat die opbrengsreaksie op stikstoftoediening in die 1993/94 en 1994/95 seisoene heelwat swakker was as in die ander seisoene. In die 1993/94 seisoen het die mielies moontlik swak gereageer op stikstoftoediening omdat dit in Desember, Januarie en Februarie onderskeidelik 197, 110 en 179 mm gereën het, wat heelwat meer as die gemiddeld was (Tabel 2.2). Hoë reënval kon tot stikstofverliese deur logging en denitrifikasie gelei het. 'n Ernstige infestasië van

stronkboorders was in die 1994/95 seisoen verantwoordelik vir die swak opbrengsreaksie op stikstoftoediening. Na aanleiding hiervan is besluit om die opbrengsdata van slegs vier seisoene, naamlik 1993/94, 1995/96, 1996/97 en 1997/98 vir die bepaling van die verwantskap tussen toegediende N en opbrengs te gebruik.



Figuur 3.2 Die effek van stikstoftoediening oor alle fosfortoedienings vir verskillende seisoene op absolute opbrengs by Viljoenskroon

3.2.2 Heidelberg

'n Opsomming van 'n variansie-analise wat op die opbrengsdata van Heidelberg gedoen is, word in Tabel 3.2 gegee. Betekenisvolle seisoen x stikstof, seisoen x fosfor en stikstof x fosfor interaksies het voorgekom. In teenstelling met Viljoenskroon kon verwantskappe tussen toegediende N en opbrengs by hierdie lokaliteit slegs met inagneming van fosforreaksies gedoen word.

Die effek van stikstoftoediening oor alle fosfortoedienings en fosfortoediening oor alle stikstoftoedienings op graanopbrengs vir die verskillende seisoene word in Figuur

3.3 getoon. Gedurende die 1994/95 seisoen was daar geen opbrengsreaksie op stikstof- of fosfortoediening nie. 'n Ernstige stronkboorderinfestasië was hiervoor verantwoordelik. In die 1993/94 seisoen het die infestasië van stronkboorders ook die opbrengsreaksie aan bande gelê, veral in die geval van stikstof-toediening. Daarom is besluit om nie die opbrengsdata van die 1993/94 en 1994/95 seisoene te gebruik by die bepaling van die verwantskap tussen toegediende N en opbrengs nie. Hierdie verwantskap is dan bepaal met die ander vyf seisoene se opbrengsdata by die hoogste fosfortoediening.

Tabel 3.2: Opsomming van variansie-analise van Heidelberg se opbrengsdata

Bron	Vg	F-toets	P-waarde
Kovariant			
Plantestand	1	43.00	0.0000
Hoofeffekte			
Herhaling	2	39.97	0.0000
Seisoen	6	444.67	0.0000
Stikstof	4	29.74	0.0000
Fosfor	5	26.10	0.0000
Interaksies			
Seisoen x Stikstof	24	6.39	0.0000
Seisoen x Fosfor	30	4.02	0.0000
Stikstof x Fosfor	20	3.77	0.0000
Seisoen x Stikstof x Fosfor	120	1.01	0.4581

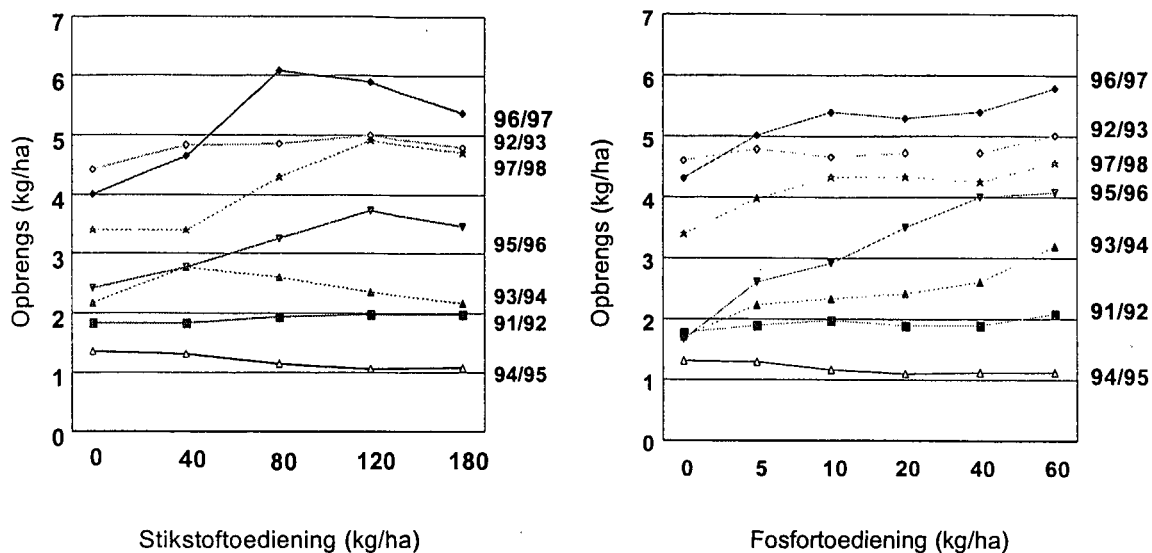
KV = 21 %

3.3 Verwantskap tussen stikstof-toediening en absolute graanopbrengs

Die verwantskap tussen toegediende N en absolute opbrengs is by beide lokaliteite die beste beskryf deur die paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$ waar y die absolute opbrengs (kg ha^{-1}) en x die toegediende N (kg ha^{-1}) verteenwoordig.

3.3.1 Viljoenskroon

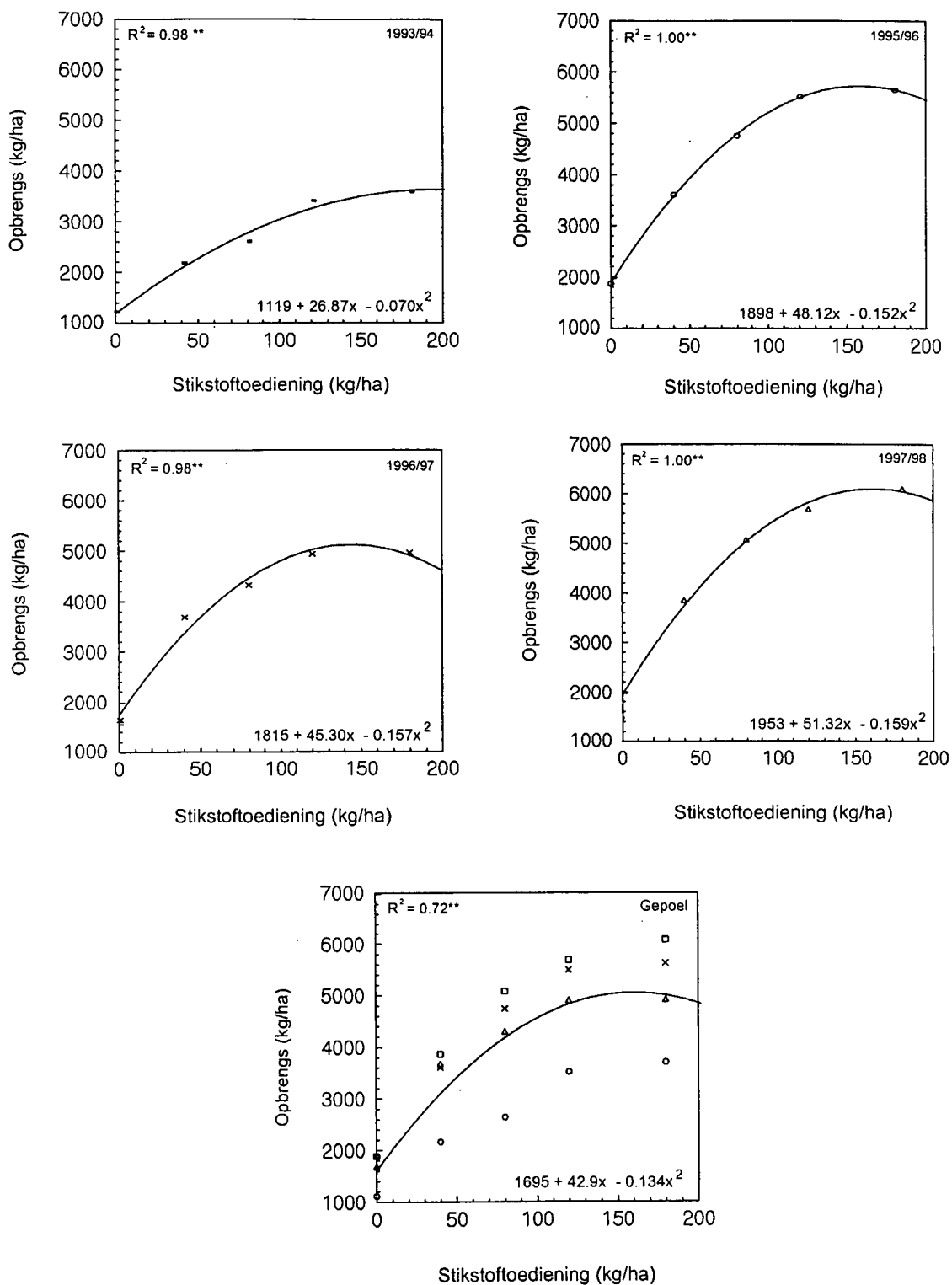
Soos reeds in Afdeling 3.2.1 gemeld is die data van net vier seisoene gebruik om die verwantskap tussen toegediende N en absolute opbrengs (Figuur 3.4) vas te stel. Daar is goeie passings met die data van elke seisoen ($R^2 \geq 0.98$) en oor seisoene ($R^2 = 0.72$) verkry



Figuur 3.3: Die effek van stikstoftoediening oor alle fosfortoedienings en fosfortoediening oor alle stikstoftoedienings vir verskillende seisoene op absolute opbrengs by Heidelberg

Die absolute opbrengs het in die 1995/96, 1996/97 en 1997/98 seisoene toegeneem met 'n verhoging in stikstoftoediening totdat 'n maksimum bereik is, waarna die absolute opbrengs afgeneem het met 'n verdere verhoging in stikstoftoediening. Dieselfde tendens is in die 1993/94 seisoen waargeneem behalwe dat 'n duidelike draaipunt ten spyte van hoë stikstoftoedienings ontbreek het. In hierdie groeiseisoen het dit vanaf Desember tot Februarie 486 mm gereën (Tabel 2.2) wat stikstofverliese deur logging en denitrifikasie in die hand kon gewerk het en van daar die relatief laer absolute opbrengste (Figuur 3.4).

Die stikstoftoedienings wat in die vier seisoene 'n maksimum absolute graanopbrengs tot gevolg gehad het, het vanaf 144 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 5083 kg ha^{-1} in 1996/97 tot 192 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 3698 kg ha^{-1} in 1993/94 gevarieer (Tabel 3.3). Hierdie variasie kan moontlik onder andere aan die reënval toegeskryf word. Dit blyk dat wanneer die vier seisoene se data gepoel word 'n graanopbrengs van 5130 kg ha^{-1} met 'n stikstoftoediening van 160 kg ha^{-1} gerealiseer het.



Figuur 3.4: Verwantskap tussen stikstof-toediening oor alle fosfortoedienings en absolute opbrengs vir verskillende seisoene en oor seisoene by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

Hierdie gemiddelde opbrengs is in ooreenstemming met die langtermyn opbrengspotensiaal vir Viljoenskroondistrik wat op 5000 kg ha⁻¹ geraam word (Du Toit, 1997). Daar word aanvaar dat mielies (hele plant, uitgesonder die wortels) ongeveer 27 kg N ha⁻¹ opneem vir elke 1000 kg graan wat geproduseer word (MVSA, 1997), dit wil sê vir 'n graanopbrengs van 5000 kg ha⁻¹ beloop dit 135 kg N ha⁻¹.

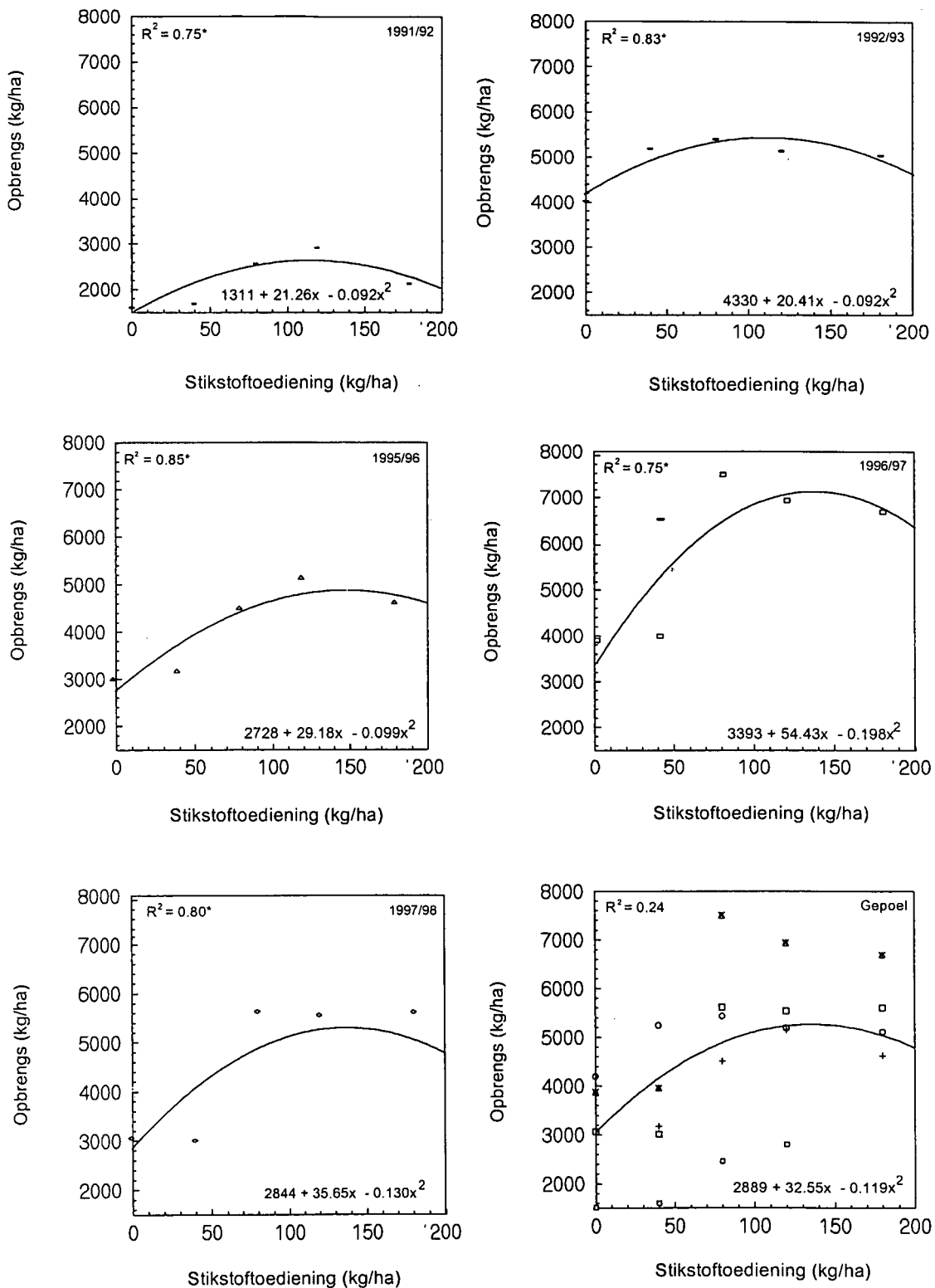
Tabel 3.3: Maksimum absolute opbrengs en die stikstoftoediening waarby dit oor fosfortoedienings by Viljoenskroon vir verskillende seisoene en oor seisoene behaal is

Seisoen	Opbrengs (kg ha ⁻¹)	Stikstoftoediening (kg ha ⁻¹)
93/94	3698	192
95/96	5700	165
96/97	5083	144
97/98	6094	161
Gepoel	5130	160

3.3.2 Heidelberg

Soos in Afdeling 3.2.1 gemeld is die data van net vyf seisoene gebruik om die verwantskap tussen toegediende N en absolute opbrengs te bepaal (Figuur 3.5). By hierdie lokaliteit is swakker passings met die data van elke seisoen ($R^2 \leq 0.75$) en oor vyf seisoene ($R^2 = 0.24$) verkry teenoor Viljoenskroon (Figuur 3.4).

In al vyf die seisoene het die absolute opbrengs toegeneem met 'n verhoging in stikstoftoediening totdat 'n maksimum bereik is, waarna die absolute opbrengs afgeneem het met 'n verdere verhoging in stikstoftoediening. Die opbrengsreaksie op die toegediende N was in die 1991/92 en 1992/93 seisoene om een of ander rede nie so dramaties as in die 1995/96, 1996/97 en 1997/98 seisoene nie. Dit kan enersyds aan minder reën (Tabel 2.2) of andersyds aan hoër residuele anorganiese stikstof te wyte wees. Die reënval van November tot Maart vir die 1991/92 seisoen was slegs 229 mm teenoor 519 tot 693 mm vir die ander vier seisoene (Tabel 2.2). In die latere seisoene kon stikstofoordraging, veral by die hoë vlakke van toediening moontlik



Figuur 3.5: Verwantskap tussen stikstoftoediening by fosfortoedienings van 60 kg P ha⁻¹ en absolute opbrengs vir verskillende seisoene en oor seisoene by Heidelberg (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

bygedra het tot meer plantbeskikbare N as in die vroeër seisoene. Residuele anorganiese stikstof is waarskynlik by die lae toedienings ook met verloop van seisoene uitgeput.

Die stikstoftoedienings wat in die vyf seisoene 'n maksimum absolute opbrengs tot gevolg gehad het, word in Tabel 3.4 gegee. Hierdie toedienings het vanaf 110 kg N ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 5462 kg ha⁻¹ in 1992/93 tot 147 kg N ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 4878 kg ha⁻¹ in 1995/96 gewissel. Dit blyk dat wanneer die data van die vyf seisoene gepoel word 'n graanopbrengs van 5113 kg ha⁻¹ met 'n stikstoftoediening van 137 kg ha⁻¹ gerealiseer het. Hierdie gemiddelde opbrengs is in ooreenstemming met die langtermyn opbrengspotensiaal vir die Heidelbergdistrik wat op 5000 kg ha⁻¹ geraam word (Du Toit, 1997). Soos reeds gemeld sal 135 kg N ha⁻¹ deur mielies opgeneem word vir so 'n opbrengs.

Uit voorafgaande blyk dit dat 'n stikstoftoediening van 160 kg N ha⁻¹ by Viljoenskroon en 137 kg N ha⁻¹ by Heidelberg nodig is om die beraamde langtermyn opbrengs van nagenoeg 5000 kg ha⁻¹ te realiseer. Hierdie verskil in stikstoftoediening by die twee lokaliteite is waarskynlik aan twee redes te wyte. Die Avalongrond by Heidelberg met 'n klei-inhoud van 14-27% in die boonste 600 mm het 'n hoër stikstofleweringspotensiaal en 'n laer stikstoflogingspotensiaal as die Clovellygrond by Viljoenskroon met 'n klei-inhoud van 7-12% in die boonste 600 mm.

Die vasstelling van akkurate stikstofbemestingsriglyne vir mielies by beide lokaliteite word bemoeilik deur die feit dat die verwantskap tussen toegediende N en absolute opbrengs van jaar tot jaar wissel as gevolg van onder andere die variasie in reënval. 'n Moontlike oplossing mag wees om eerder die verwantskap tussen toegediende N en relatiewe opbrengs te bepaal.

3.4 Verwantskap tussen stikstoftoediening en relatiewe graanopbrengs

By beide lokaliteite is die relatiewe opbrengste van elke seisoen bereken deur die behandelingskombinasie met die hoogste opbrengs gelyk te stel aan 100 en die ander as 'n persentasie daarvan uit te druk. Die verwantskap tussen toegediende N en

relatiewe opbrengs is die beste beskryf deur die paraboliese model $y = a + bx + cx^2$ waar y die relatiewe opbrengs (%) en x die toegediende N (kg ha^{-1}) verteenwoordig.

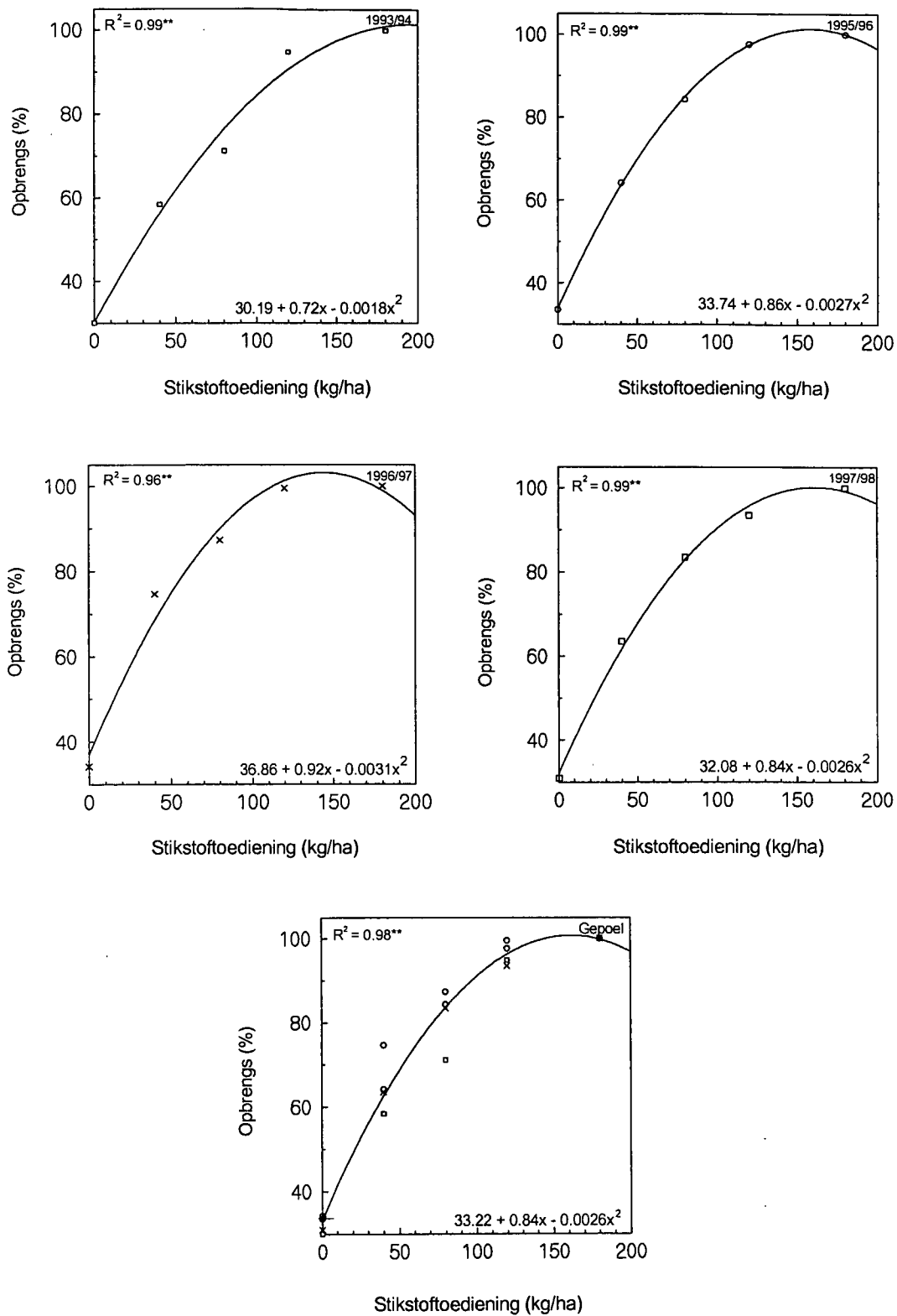
Tabel 3.4: Maksimum absolute opbrengs en die stikstoftoediening waarby dit vir fosfortoedienings van 60 kg P ha^{-1} by Heidelberg vir verskillende seisoene en oor seisoene behaal is

Seisoen	Opbrengs (kg/ha^{-1})	Stikstoftoediening (kg/ha^{-1})
91/92	2539	116
92/93	5462	110
95/96	4878	147
96/97	7134	137
97/98	5427	141
Gepoel	5115	137

3.4.1 Viljoenskroon

Weens redes soos in Afdeling 3.2.1 aangevoer is net vier seisoene se data gebruik vir die vasstelling van die verwantskap tussen toegediende N en relatiewe opbrengs (Figuur 3.6). Goeie passings is met die data van elke seisoen ($R^2 \geq 0.96$) verkry asook waar die data van die vier seisoene gepoel is ($R^2 = 0.98$). Hierdie verwantskappe het vir die afsonderlike jare die variasie soortgelyk aan die vir absolute opbrengs verklaar, maar wanneer die data oor jare gepoel is, is 26 persentasie punte meer van die variasie met die gebruik van relatiewe opbrengs in vergelyking met absolute opbrengs verklaar (Vergelyk Figure 3.4 en 3.6).

Die stikstoftoedienings wat in die vier seisoene 'n maksimum relatiewe opbrengs tot gevolg gehad het, word in Tabel 3.5 gegee. Hierdie toedienings varieer van 148 kg N ha^{-1} in 1996/97 tot 200 kg N ha^{-1} in 1993/94. Indien die data van die vier seisoene gepoel word, blyk dit dat 'n 162 kg N ha^{-1} toediening 'n maksimum relatiewe opbrengs sou gee (Tabel 3.5).



Figuur 3.6: Verwantskap tussen stikstoftoediening oor alle fosfortoedienings en relatiewe opbrengs vir verskillende seisoene en oor seisoene by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

Tabel 3.5: Maksimum relatiewe opbrengs en die stikstof-toediening waarby dit oor fosfortoedienings by Viljoenskroon vir verskillende seisoene en oor seisoene behaal is

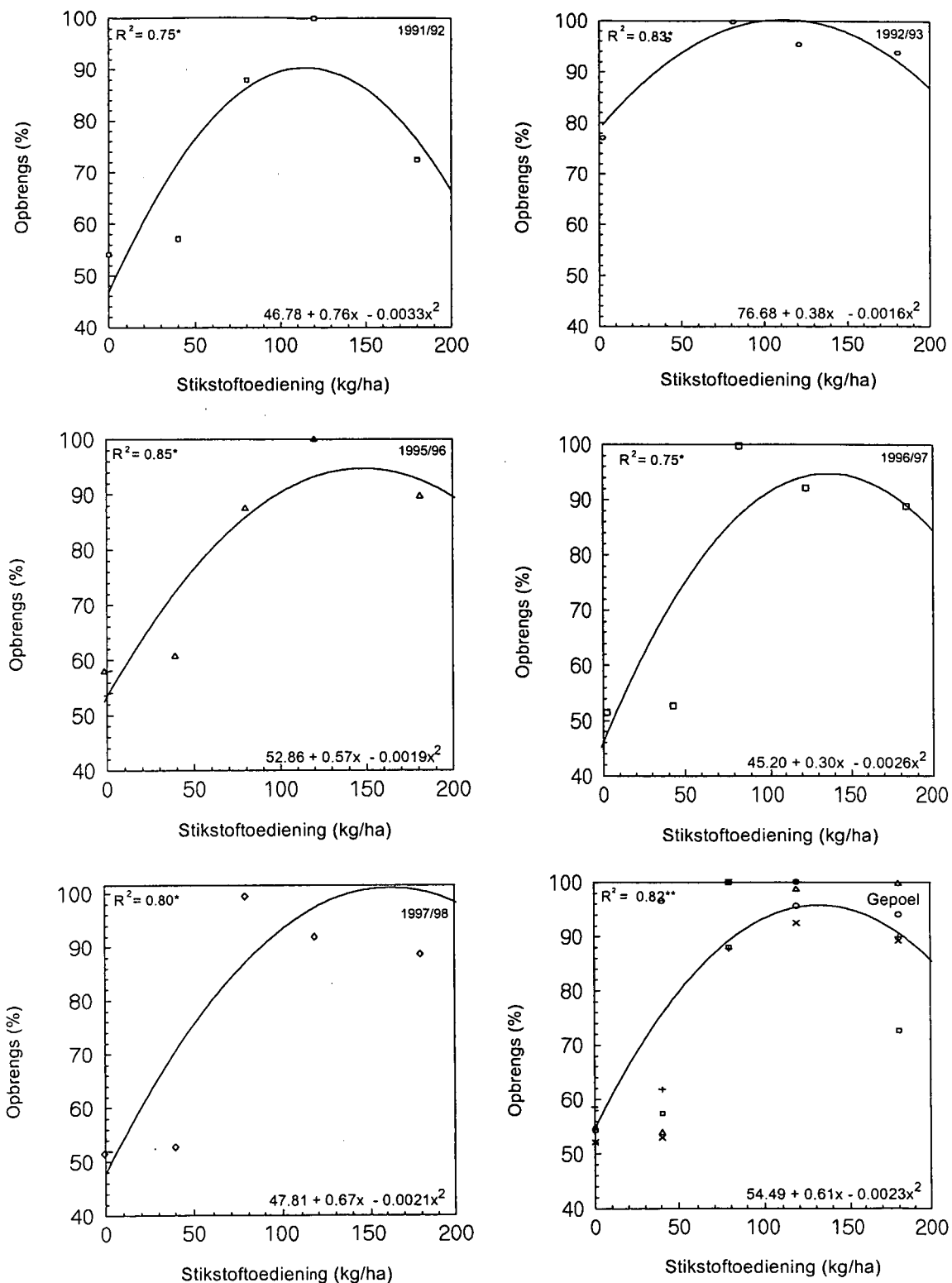
Seisoen	Relatiewe opbrengs (%)	Stikstof-toediening (kg/ha)
93/94	102	200
95/96	102	159
96/97	105	148
97/98	100	162
Gepoel	101	162

3.4.2 Heidelberg

Soos in Afdeling 3.2.1 gemeld is die data van net vyf seisoene gebruik om die verwantskap tussen toegediende N en relatiewe opbrengs te bepaal (Figuur 3.7). In vergelyking met Viljoenskroon is die passings met die data vir elke seisoen ($R^2 \leq 0.75$) en waar die data van die vyf seisoene gepoel is ($R^2 = 0.82$) swakker by hierdie lokaliteit, maar steeds heeltemal aanvaarbaar. Hierdie verwantskappe het vir die afsonderlike jare die variasie soortgelyk aan die vir absolute opbrengs verklaar, maar wanneer die data oor jare gepoel is, is 58 persentasie punte meer van die variasie met die gebruik van relatiewe opbrengs teenoor absolute opbrengs verklaar (Vergelyk Figure 3.5 en 3.7).

Die stikstof-toedienings wat maksimum relatiewe opbrengs in elk van die vyf seisoene en oor seisoene tot gevolg gehad het, word in Tabel 3.6 gegee. Hierdie toedienings varieer van 117 kg N ha⁻¹ in 1991/92 tot 160 kg N ha⁻¹ in 1997/98. Indien die data van die vyf seisoene gepoel word, het 137 kg N ha⁻¹ 'n maksimum relatiewe opbrengs tot gevolg gehad.

Hiervolgens is 'n stikstof-toediening van 162 kg N ha⁻¹ by Viljoenskroon en 137 kg N ha⁻¹ by Heidelberg nodig vir maksimum relatiewe opbrengs. Die hoeveelhede N is effektief dieselfde as wat vir maksimum absolute opbrengs benodig is (Afdeling 3.3), te wete 160 kg N ha⁻¹ by Viljoenskroon en 137 kg N ha⁻¹ by Heidelberg.



Figuur 3.7: Verwantskap tussen stikstof-toediening by fosfortoedienings van 60 kg P ha⁻¹ en relatiewe opbrengs vir verskillende seisoene en oor seisoene by Heidelberg (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

Tabel 3.6: Maksimum relatiewe opbrengs en die stikstoftoediening waarby dit vir fosfortoedienings van 60 kg P ha⁻¹ by Heidelberg vir verskillende seisoene en oor seisoene behaal is

Seisoen	Relatiewe opbrengs (%)	Stikstoftoediening (kg/ha)
91/92	91	117
92/93	99	119
95/96	96	156
96/97	96	142
97/98	101	160
Gepoel	96	137

Hoewel die variasie in opbrengs tussen seisoene tot 'n groot mate deur die gebruik van relatiewe opbrengs verminder is waarsku Colwell, Suhet & Van Rajj (1988) egter teen die gebruik van relatiewe opbrengs en opper die volgende besware:

- Die relatiewe opbrengs kan nie as basis vir die bepaling van ekonomiese bemestingsriglyne gebruik word nie, omdat boere hulle inkomste bereken na aanleiding van die absolute opbrengs.
- Die maksimum opbrengs wat as basis moet dien vir die berekening van relatiewe opbrengs is gewoonlik swak gedefinieer deur eksperimentele data en moet meestal geskat word.
- Die funksionele verwantskap tussen bemesting en opbrengs verskil tussen lokaliteite met die gevolg dat 'n gegewe hoeveelheid bemesting nie noodwendig proporsioneel tot die gekose maksimum opbrengs is nie.
- Die gebruik van relatiewe opbrengs kan tot statistiese bevooroordeling lei omdat die berekening van die regressie daardeur beïnvloed kan word.
- Die toets vir die betekenisvolheid van 'n regressie wat bereken is met relatiewe opbrengste oor verskillende eksperimente is ongeldig omdat die afwyking van die regressie uit verskillende tipes foute bestaan.

Volgens Black (1993) het die gebruik van relatiewe opbrengs slegs beperkinge in terme van ekonomiese optimaliserings indien relatiewe opbrengs nie na absolute opbrengs, vir aanbevelings omgeskakel word nie. Die gebruik van relatiewe opbrengs

kan 'n effektiewe hulpmiddel in die ontwikkeling van algemene verwantskappe vir spesifieke situasies wees. Statistiese sydelingsheid wat oor verskeie eksperimente vir relatiewe opbrengs van toepassing is, is ook vir absolute opbrengs van toepassing.

3.5 Gevolgtrekking

Maksimum absolute opbrengs oor seisoene van 5130 kg ha⁻¹ te Viljoenskroon en 5117 kg ha⁻¹ te Heidelberg is met toedienings van onderskeidelik 160 en 137 kg N ha⁻¹ verkry. Die verskil in stikstoftoediening vir maksimum opbrengs by die twee lokaliteite is waarskynlik daaraan toe te skryf dat die Avalongrond by Heidelberg met 'n klei-inhoud van 14-27% 'n hoër stikstofleweringspotensiaal en 'n laer stikstoflogingspotensiaal as die Clovellygrond by Viljoenskroon met 'n klei-inhoud van 7-12% tot 600 mm diepte het.

Maksimum relatiewe opbrengs oor seisoene is met stikstoftoedienings van 162 en 137 kg N ha⁻¹ by Viljoenskroon en Heidelberg onderskeidelik verkry. Die waardes stem ooreen met die toedieningshoeveelhede vir maksimum absolute opbrengs. Vir Heidelberg was die gebruik van relatiewe opbrengs in teenstelling met absolute opbrengs 'n betroubaarder metode om die optimum stikstoftoediening vir maksimum opbrengs oor seisoene te bepaal. Net so het die gebruik van relatiewe opbrengs in plaas van absolute opbrengs die betroubaarheid van die vasstelling van 'n optimum stikstoftoediening vir maksimum opbrengs te Viljoenskroon aansienlik verbeter.

HOOFSTUK 4

VERWANTSKAP TUSSEN STIKSTOFTOEDIENING EN ANORGANIESE GRONDSSTIKSTOF

4.1 Inleiding

Grondstikstof kom in 'n organiese en anorganiese vorm voor. Ongeveer 95 tot 99% van alle grondstikstof is in die organiese vorm teenwoordig, wat ontoeganklik vir plante is. Die organiese grondstikstof kan egter deur die proses van mineralisasie na planttoeganklike vorms soos ammonium- en nitraatstikstof omgeskakel word. Hierdie anorganiese grondstikstof kan egter weer deur die proses van immobilisasie na die organiese vorm omgeskakel word. Die twee prosesse, naamlik mineralisasie en immobilisasie verloop gewoonlik gelyktydig en die verhouding van C:N in die grond bepaal watter een dominant sal wees (Jansson & Persson, 1982; Haynes, 1986).

Normaalweg word ammoniumstikstof in grond geabsorbeer op die humus- en kleideeltjies daarin en sodoende beskerm teen loging (Nommik & Vahtras, 1982). In goed deurlugte gronde word die ammoniumstikstof egter vinnig deur die proses van nitrifikasie na nitraatstikstof omgeskakel, wat baie meer aan loging onderhewig is (Schmidt, 1982). Onder sekere toestande kan die planttoeganklike ammonium- en nitraatstikstof ook verlore gaan deur vervlugtiging. In alkaliese gronde word die ammonium na NH_3 en in swak deurlugte gronde word die nitraat na N_2O en N_2 omgesit (Haynes & Sherlock, 1986). Die opname van stikstof deur plante put hierdie poel van anorganiese grondstikstof uit wanneer mineralisasie nie vinnig genoeg plaasvind nie (Broadbent, 1984).

Die aanvulling van hierdie anorganiese stikstofpoel uit organiese materiaal is in die meeste gronde onvoldoende om in die stikstofbehoefte van mielies te voorsien (Olson & Kurtz, 1982). Daarom word die poel meestal met ammonium- en/of nitraatstikstof deur bemesting aangevul ten einde goeie oesopbrengste te verseker. In 'n goeie seisoen wanneer hoë opbrengste realiseer word die anorganiese stikstofpoel in gronde meestal uitgeput, maar in 'n swak seisoen wanneer laer opbrengste realiseer is dit nie altyd die geval nie (Stanford, 1982; Goh & Haynes, 1986). Die kwantifisering van die

anorganiese stikstofpoel in gronde kan dus 'n belangrike bydrae tot beter bemestingsaanbevelings by mielies lewer (Meisinger, 1984).

Grondontledings van stikstof word tans nog nie algemeen in Suid-Afrika gebruik om bemestingsaanbevelings vir mielies aan te pas nie, alhoewel verskeie navorsers al die waarde daarvan uitgewys het (Du Preez & Burger, 1986; Van der Walt & Du Preez, 1991; Bloem & Barnard, 1995; Landman, 1995). Dit kan waarskynlik toegeskryf word daaraan dat stikstof baie dinamies in grond is en moeilik gekwantifiseer word, veral as dit geskied met grondmonsters wat op die tradisionele tyd vir bemestingsaanbevelings geneem is. Hierdie grondmonsters word gewoonlik drie tot vier maande voor plant geneem.

Die algemene praktyk in Suid-Afrika waar mielies droëland verbou word, is dat ongeveer 'n derde van die stikstof met plant gebandplaas word en die res so vier tot ses weke na opkoms as 'n kantbemesting gegee word. Indien daar 'n goeie verwantskap tussen mielie-opbrengs en die anorganiese grondstikstof na kantbemesting bestaan, sou dit moontlik wees om meer wetenskaplik gefundeerde aanpassings aan die hoeveelheid stikstof wat toegedien moet word te maak. Daarom was dit noodsaaklik om eers vas te stel of betroubare verwantskappe tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof na kantbemesting op die spesifieke lokaliteite oor 'n aantal jare daargestel kan word. Die data wat oor hierdie aspek by Viljoenskroon en Heidelberg ingesamel is, word in hierdie hoofstuk gerapporteer.

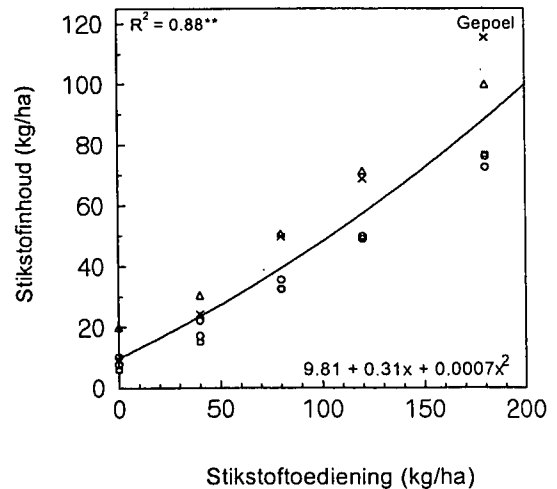
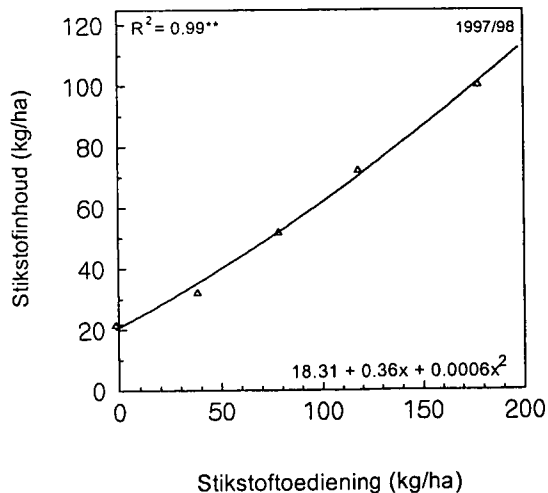
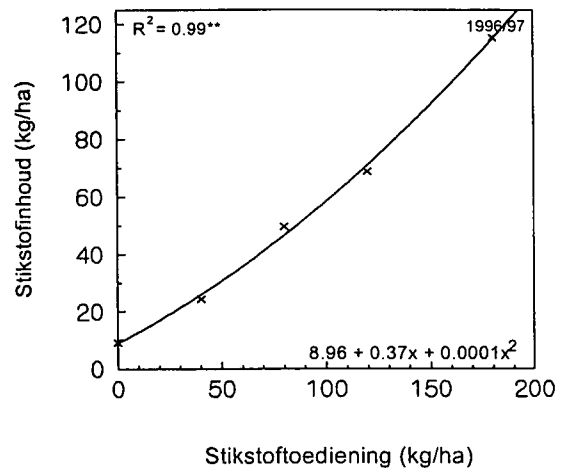
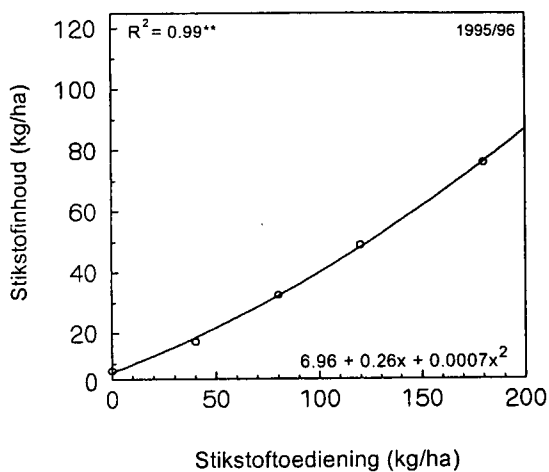
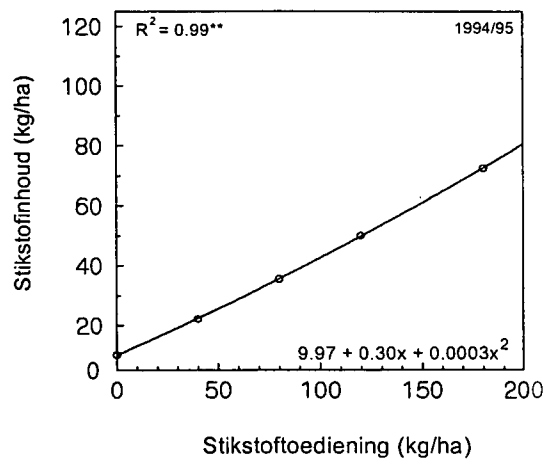
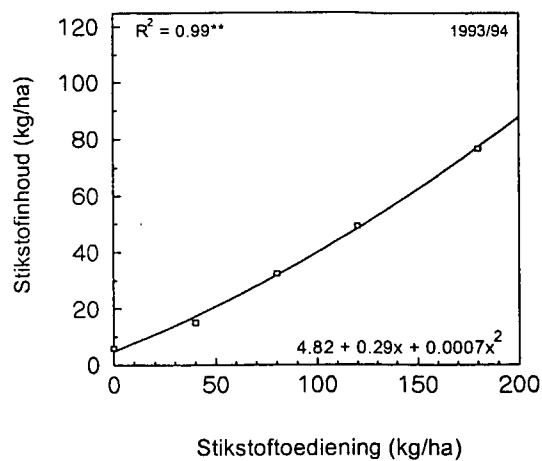
4.2 Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof by Viljoenskroon

Grondmonsters is vir vyf seisoene, naamlik vanaf 1993/94 tot 1997/98 by Viljoenskroon geneem en ontleed soos in Afdeling 2.4.2 beskryf. Hierdie ontledingsdata is gebruik om die anorganiese stikstofinhoud van onderskeidelik die baan en totale grondvolume tot dieptes van 150, 300 en 600 mm te bereken. Baanmonsters wat ongeveer twee weke na kantbemesting geneem is en tussenbaanmonsters wat voor plant, voor die eerste bewerking geneem is, is gebruik. In ooreenstemming met bevindings van ander navorsers (Van der Walt & Du Preez, 1991; Bloem & Barnard, 1995; Landman, 1995) het die passings verbeter met 'n

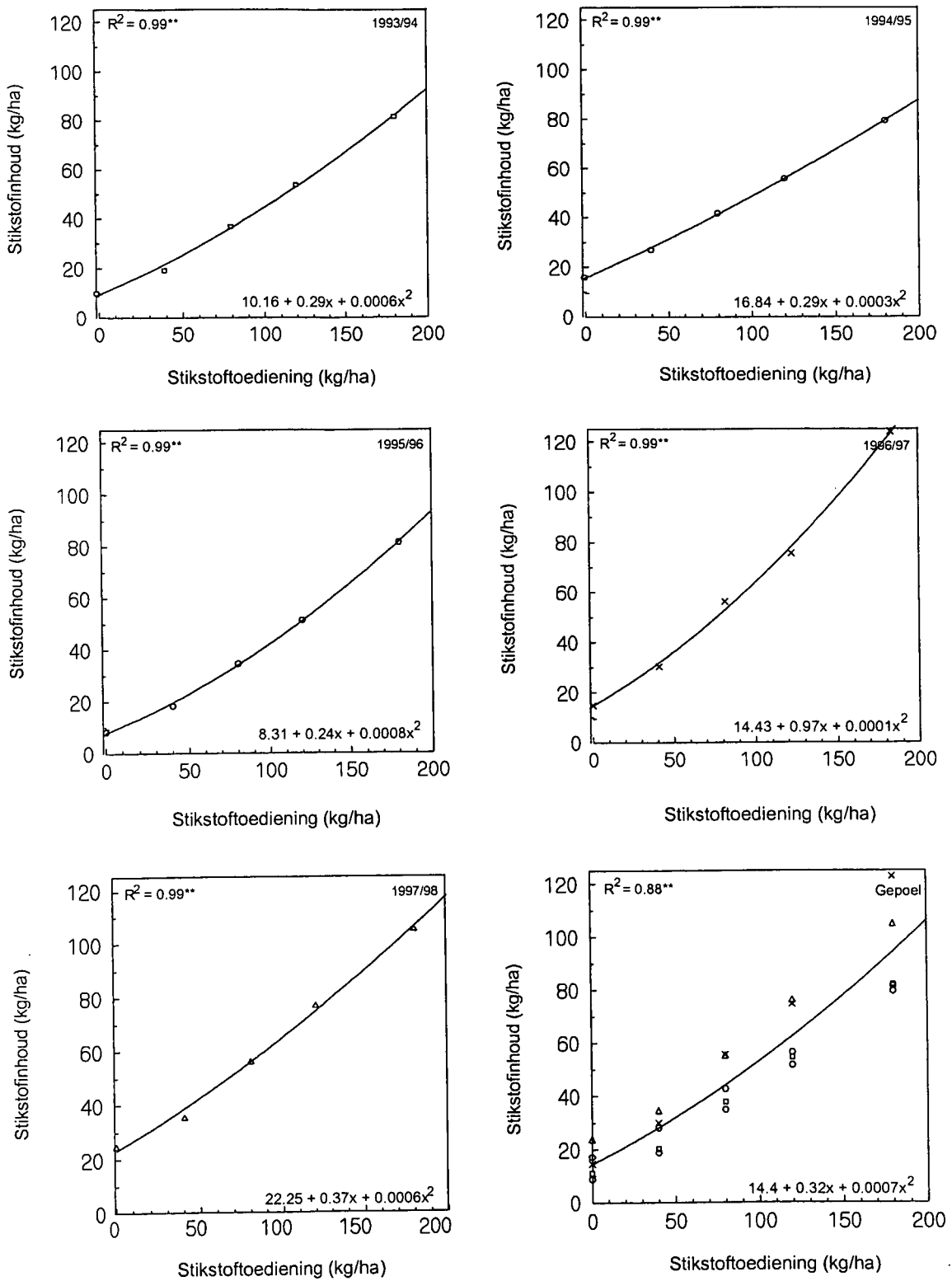
toename in diepte. Daarom word slegs die verwantskappe tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die baan grondvolume (Figuur 4.1) en totale grondvolume (Figuur 4.2) tot 600 mm diepte hier bespreek. Die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die baan en totale grondvolume is die beste beskryf deur 'n kwadratiese model: $y = a + bx + cx^2$, waar y die anorganiese grondstikstof (kg ha^{-1}) en x die toegediende N (kg ha^{-1}) verteenwoordig. Goeie passings en sterk reaksies op behandelings is vir beide die grondvolumes met die data van elke seisoen ($R^2 \geq 0.99$) en waar data van die vyf seisoene gepoel is ($R^2 = 0.88$) verkry.

Die anorganiese stikstofinhoud van die grond was gedurende die eerste twee seisoene (1993/94 en 1994/95) laag, omdat daar waarskynlik nog nie residue in die grond opgebou het nie. Gedurende 1995/96 het ook geen opbou van anorganiese stikstof plaasgevind nie, ten spyte van die relatief lae opbrengste gedurende 1993/94 en 1994/95 (Figuur 3.2). Hierdie reaksie kan moontlik verklaar word deur die 240 mm reën wat in 1995/96 gedurende Desember en Januarie geval het (Tabel 2.2) en veral die nitraatstikstof dieper as 600 mm kon geloog het. In 1996/97 en 1997/98 was die anorganiese grondstikstof aansienlik hoër en kan die bydrae van residuele stikstof, veral by die hoër toedienings gesien word (Figure 4.1 en 4.2).

Die gemiddelde bydrae van die baan en tussenbaan grondvolume tot die anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume oor vyf seisoene word in Tabel 4.1 gegee. Hiervolgens het die bydrae van die baan grondvolume vanaf $9.72 \text{ kg N ha}^{-1}$ by die 0 kg N ha^{-1} toediening tot $88.27 \text{ kg N ha}^{-1}$ by die 180 kg N ha^{-1} toediening toegeneem. Daarenteen het die bydrae van die tussenbaan grondvolume slegs vanaf $4.68 \text{ kg N ha}^{-1}$ by die 0 kg N ha^{-1} toediening tot $5.48 \text{ kg N ha}^{-1}$ by die 180 kg N ha^{-1} toediening toegeneem. Die resultate bevestig die bevindings van Landman (1995) dat stikstof wat gebandplaas word met beheerde verkeer hoofsaaklik in 'n 300 mm baan oor die mieliery by Viljoenskroon konsentreer. Dit is ook duidelik dat die stikstofleweringsvermoë van hierdie Clovellygrond laag is aangesien anorganiese stikstofontledings by geen stikstoftoedienings relatief laag was en toedienings van 180 kg N ha^{-1} nie die anorganiese stikstoftoedienings oor jare bo 94 kg N ha^{-1} verhoog het nie (Tabel 4.1).



Figuur 4.1: Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die baan grondvolume vir sekere jare en oor jare by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



Figuur 4.2: Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolumen vir sekere jare en oor jare by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

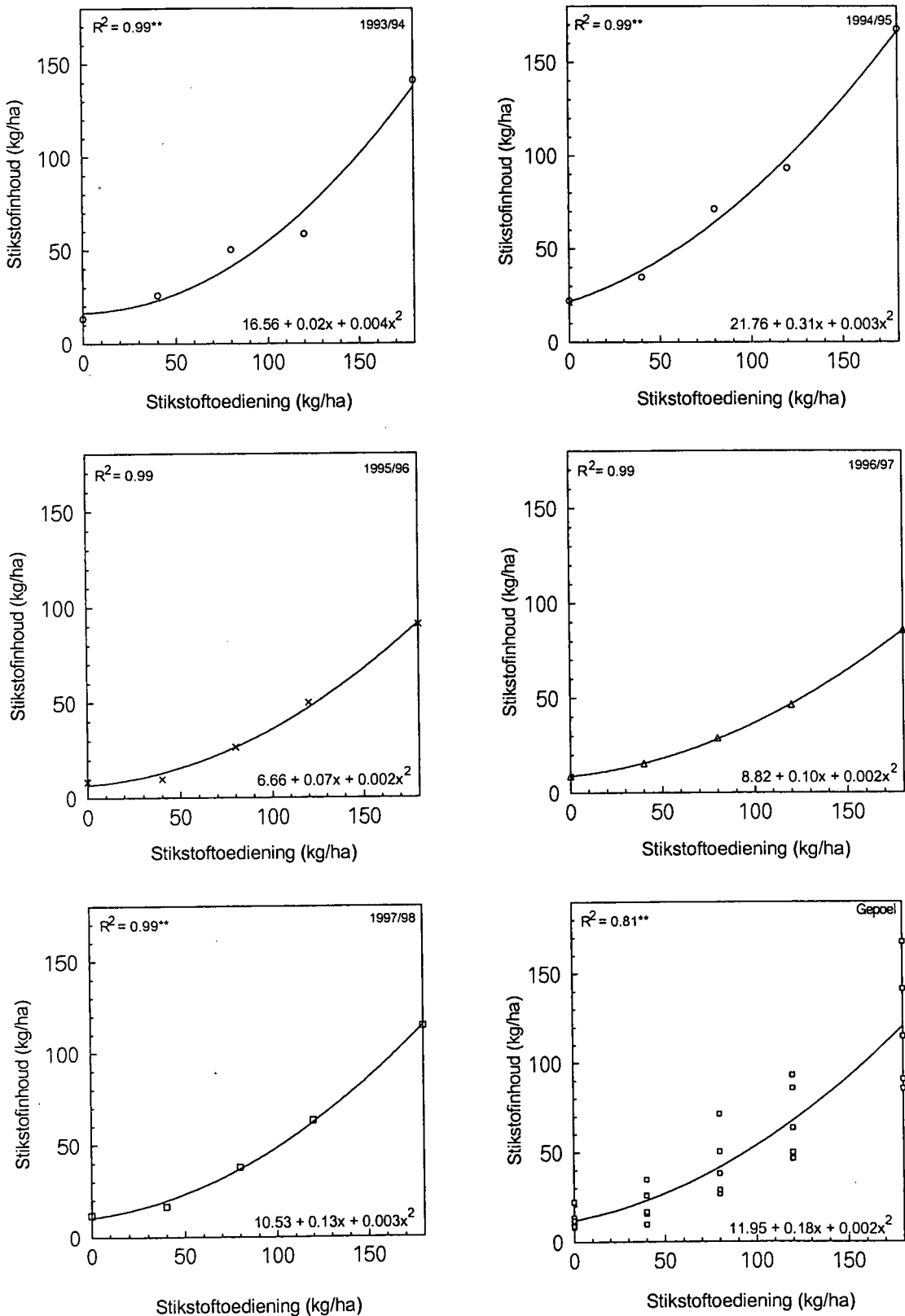
Tabel 4.1 Gemiddelde bydrae van die baan en tussenbaan grondvolume tot die anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume vir verskillende stikstoftoedienings oor vyf seisoene by Viljoenskroon

Stikstoftoediening (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)		
	Baan	Tussenbaan	Totaal
0	9.72	4.68	14.40
40	23.37	4.80	28.17
80	39.20	5.01	44.21
120	57.20	5.30	62.50
180	88.27	5.48	93.75

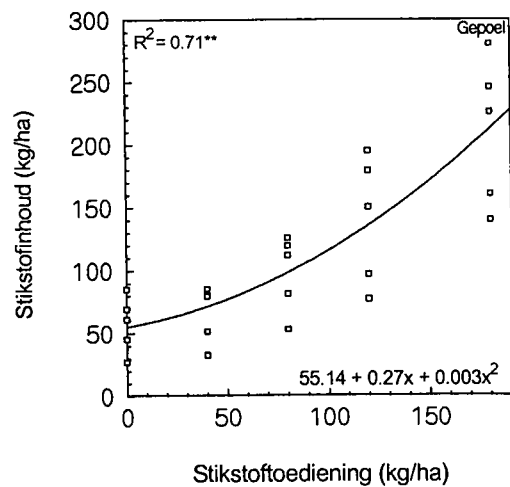
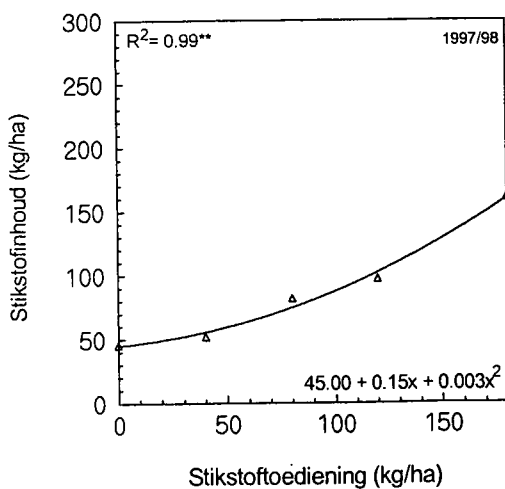
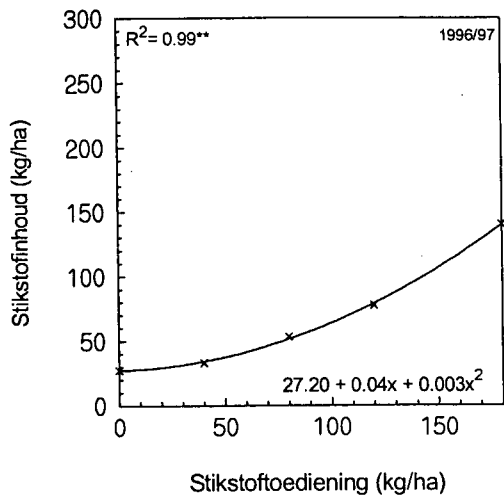
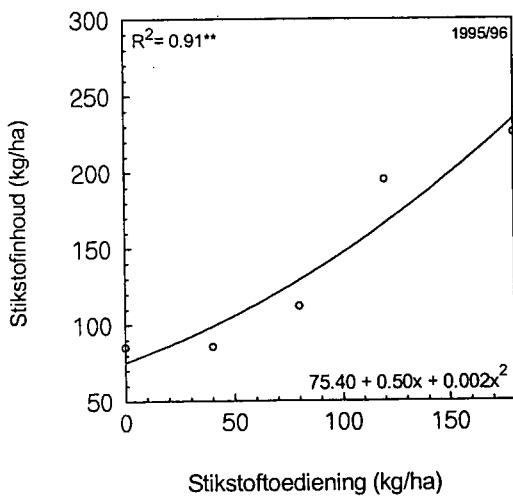
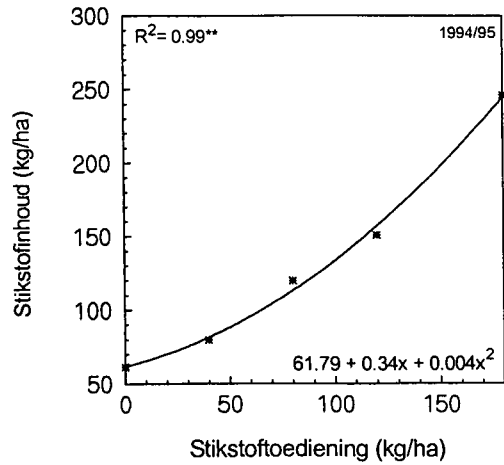
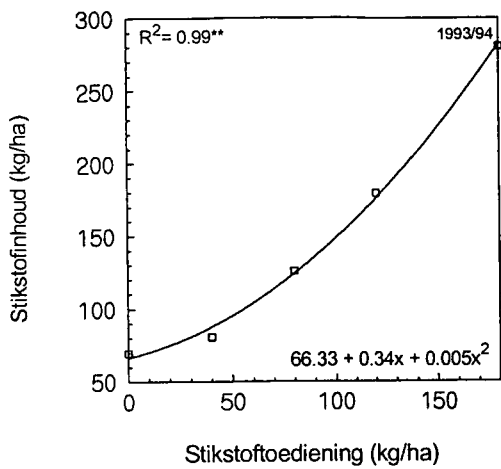
4.3 Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof by Heidelberg

By hierdie lokaliteit is die grondmonsters gedurende 1991/92 en 1992/93 nie geneem en ontleed soos beskryf in Afdeling 2.4.2 nie. Daarom kon slegs die ontledingsdata van die laaste vyf seisoene, naamlik 1993/94 tot 1997/98 gebruik word om die anorganiese stikstofinhoud van onderskeidelik die baan en totale grondvolume tot dieptes van 150, 300 en 600 mm te bereken. Net soos by Viljoenskroon is die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van beide grondvolumes die beste beskryf deur 'n kwadratiese model en het die passings verbeter met 'n toename in diepte (Afdeling 4.2).

Die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud word vir die baan grondvolume in Figuur 4.3 en vir die totale grondvolume in Figuur 4.4 gegee. Daar is deurgaans goeie passings vir die individuele seisoene vir die baan en totale grondvolumes verkry. Relatief swakker passings is egter by hierdie lokaliteit ($R^2 = 0.81$ vir die baan en 0.71 vir die totale grondvolume) in vergelyking met Viljoenskroon ($R^2 = 0.88$ vir beide grondvolumes) verkry waar die data van die individuele seisoene gepoel is (Vergelyk Figure 4.1 en 4.2 met 4.3 en 4.4).



Figuur 4.3: Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die baan grondvolume by Heidelberg (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



Figuur 4.4: Verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume by Heidelberg (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

Inspeksie van Figuur 4.3 toon dat die anorganiese stikstofinhoud van die baan grondvolume in die eerste twee seisoene (1993/94 en 1994/95) hoër as in die laaste drie seisoene (1995/96 tot 1997/98) was. Die toegediende stikstof kon moontlik as nitraat tot dieper as 600 mm gedurende die laaste drie seisoene geloog het. In 1995/96, 1996/97 en 1997/98 het dit in Desember en Januarie onderskeidelik 358, 223 en 332 mm gereën teenoor 166 en 199 mm vir 1993/94 en 1994/95 onderskeidelik (Tabel 2.2). Soveel reën skep ook gunstige toestande vir denitrifikasie met die gevolg dat van die toegediende stikstof ook as N_2O en N_2 kon vervlugtig het. Goeie opbrengste in 1995/96 en 1996/97 kon ook bygedra het tot die laer anorganiese grondstikstof in die daaropvolgende 1996/97 en 1997/98 seisoene deurdat meer van die toegediende stikstof opgeneem en verwyder is. 'n Soortgelyke tendens is by die totale grondvolume te bespeur, behalwe dat die anorganiese grondstikstof in 1995/96 ook hoog was (Figuur 4.4).

Die gemiddelde bydrae van die baan en tussenbaan grondvolume tot die anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume oor vyf seisoene word in Tabel 4.2 gegee. In teenstelling met wat by Viljoenskroon gevind is, het die anorganiese stikstofinhoud van die tussenbaan grondvolume toegeneem met hoër stikstoftoedienings en lewer sodoende 'n groter bydrae tot die anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume. By die 0, 40 en 80 kg N ha⁻¹ toedienings het die tussenbaan grondvolume 'n groter bydrae as die baan grondvolume gelewer, terwyl die omgekeerde by die 180 kg N ha⁻¹ toediening gevind is. Die bydrae van die twee grondvolumes was bykans dieselfde by die 120 kg N ha⁻¹ toediening, te wete 68 kg N ha⁻¹. Die klei-inhoud van die grond was hoër (Tabel 2.3) en die helling van die terrein steiler by Heidelberg as by Viljoenskroon. Dit verklaar die groter mate van laterale beweging van opgeloste N by Heidelberg teenoor Viljoenskroon.

Die Avalongrond by Heidelberg het 'n groter stikstofleweringsvermoë as die Clovellygrond by Viljoenskroon, aangesien anorganiese stikstofontledings by geen stikstoftoedienings sowel as by hoë stikstoftoedienings aansienlik hoër was by Heidelberg as by Viljoenskroon (Vergelyk Tabel 4.1 en 4.2).

Tabel 4.2 Gemiddelde bydrae van die baan en tussenbaan grondvolume tot die anorganiese stikstofinhoud van die totale grondvolume oor vyf seisoene by Heidelberg

Stikstoftoediening (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)		
	Baan	Tussenbaan	Totaal
0	11.95	43.19	55.14
40	23.00	48.43	71.43
80	41.43	56.90	98.33
120	67.36	68.48	135.84
180	120.25	91.75	212.00

4.4 Berekening van die stikstofbehoefte van gronde by Viljoenskroon en Heidelberg

Uit Afdelings 4.2 en 4.3 is dit duidelik dat die toegediende stikstof weens verskeie redes nie alles as anorganiese grondstikstof meetbaar was nie. Daarom is wiskundige vergelykings ontwikkel waarmee die hoeveelheid N wat as kantbemesting benodig word om die gemete anorganiese stikstofinhoud van onderskeidelik die baan en totale grondvolumes te verhoog, afgelei kon word. Die volgende kwadratiese vergelykings, naamlik $y = 9.81 + 0.31x + 0.0007x^2$ (Gepoelde data in Figuur 4.1), $y = 14.4 + 0.32x + 0.0007x^2$ (Gepoelde data in Figuur 4.2), $y = 11.95 + 0.18x + 0.002x^2$ (Gepoelde data in Figuur 4.3) en $y = 55.14 + 0.27x + 0.0003x^2$ (Gepoelde data in Figuur 4.4) is gebruik om vier datastelle vir die doel te genereer. Daarna is wiskundige passings op elk van die gegengereerde datastelle gedoen en 'n meervoudige lineêre model het die beste gevaar: $y = a + bx_1 + cx_2$, waar y die verlangde stikstoftoediening (kg ha⁻¹) aan die grond is, x_1 die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) waarna gemik word en x_2 die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) wat gemeet is.

Die vergelykings waarmee die stikstofbehoefte van onderskeidelik die baan en totale grondvolumes by Viljoenskroon asook by Heidelberg bereken kan word, word in Tabel 4.3 gegee. Hierdie vergelykings is net geldig vir die reeks van anorganiese

stikstofinhoud wat tot 600 mm diepte in die baan en totale grondvolumes van die twee lokaliteite gemeet is (Figure 4.1 tot 4.4).

Tabel 4.3 Vergelykings waarmee die verlangde stikstoftoediening aan gronde by Viljoenskroon en Heidelberg bereken kan word

Lokaliteit	Grondvolume	Vergelyking ¹	R ²
Viljoenskroon	Baan	$y = -0.01 + 2.18x_1 - 2.18x_2$	0.99**
	Totale	$y = +0.18 + 2.17x_1 - 2.18x_2$	0.99**
Heidelberg	Baan	$y = -0.01 + 1.67x_1 - 1.67x_2$	0.96**
	Totale	$y = -0.01 + 1.08x_1 - 1.08x_2$	0.97**

¹waar y die stikstoftoediening (kg ha⁻¹) aan die grond is, x₁ die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) waarna gemik word en x₂ die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) wat tot 600 mm diepte gemeet is; * betekenisvol by 95% en ** betekenisvol by 99%.

4.5 Gevolgtrekking

Die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof is by beide lokaliteite die beste met 'n kwadratiese model beskryf. Dit bevestig die bevinding van Addiscott *et al.* (1992) dat soos die stikstoftoediening aan 'n gewas verhoog word 'n al hoe groter fraksie daarvan as residue in die grond agter bly. By beide lokaliteite was die passings vir die individuele seisoene baie goed, maar hoewel steeds heeltemal aanvaarbaar was dit swakker wanneer data van die verskillende seisoene gepoel is. Hierdie effek was groter by Heidelberg as by Viljoenskroon.

Die stikstofbehoefte van die baan en totale grondvolumes kan akkuraat met behulp van die opgestelde vergelykings by beide lokaliteite bereken word. Baan toegediende N het te Heidelberg na die tussenbaan grondvolumes beweeg terwyl dit nie by Viljoenskroon die geval was nie. Alvorens bemestingsriglyne volgens hierdie voorspelbare grondreaksies van toegediende stikstof aangepas word, sal vasgestel moet word of plantreaksies by die twee lokaliteite 'n funksie van anorganiese grondstikstof in beide die baan en tussenbaan grondvolumes is. Alternatiewelik kan die breedte van die baan waarin toegediende stikstof te Heidelberg konsentreer ook in opvolgstudies vasgestel word.

Hierdie resultate bevestig weereens die dinamiese aard van anorganiese grondstikstof. Dit is duidelik dat verskille in klimaat, helling, grond en produksiepraktyke deeglik verreken sal moet word ten einde bemestingsriglyne aan te pas na aanleiding van die anorganiese grondstikstof.

HOOFSTUK 5

VERWANTSKAP TUSSEN ANORGANIESE GRONDSTIKSTOF EN MIELIE-OPBRENGS

5.1 Inleiding

'n Gewas soos mielies reageer nie net op toegediende stikstof nie, aangesien die grond ook 'n poel van anorganiese stikstof het wat planttoeganklik is. Hierdie anorganiese stikstofpoel varieer egter tussen gronde vir 'n spesifieke seisoen asook tussen seisoene vir 'n spesifieke grond om verskeie redes. Daarom is dit noodsaaklik dat die anorganiese stikstofpoel van 'n grond kort voor aanplanting van 'n gewas gekwantifiseer word, sodat stikstoftoedienings daarvolgens aangepas kan word (Farina & Venter, 1994; Motavalli *et al.*, 1992; Lucht, 1996; Snyder, 1999).

Die grootte van die anorganiese stikstofpoel in 'n grond word nie net bepaal deur die stikstofleweringsvermoë daarvan en die faktore wat hierdie proses beïnvloed nie (Motavalli *et al.*, 1992). Dit is veral die lot van die toegediende stikstof wat 'n invloed op die grootte van die anorganiese stikstofpoel van gronde het. Gedurende droë seisoene wanneer laer opbrengste realiseer word minder van die toegediende stikstof deur gewasse verwyder as gedurende nat seisoene wanneer hoër opbrengste realiseer en dit het 'n groot invloed op die anorganiese stikstofpoel van gronde en dus die reaksie van gewasse op stikstoftoediening (Henaoui, 1997). Daarom beveel Steele, Cooper & Dyson (1982) aan dat die verwantskap tussen stikstoftoediening en opbrengs van 'n gewas slegs bepaal word op grond waar die vorige jaar nie oor- of onderbemes is nie.

Soos reeds gemeld behoort die anorganiese stikstofinhoud van grond kort voor die aanplant van 'n gewas in berekening gebring te word wanneer oor die hoeveelheid van stikstoftoedienings besluit word (Magdoff *et al.*, 1984; Blackmer *et al.*, 1989; Christensen & Huffman, 1992; Motavalli *et al.*, 1992). Verskeie plaaslike navorsers (Van der Walt & Du Preez, 1991; Bloem & Barnard, 1995; Landman, 1995) het ook gerapporteer dat dit die moeite werd sal wees om die anorganiese stikstofinhoud van grond kort voor die aanplant van 'n gewas by stikstofaanbevelings te verreken.

Selfs al word die anorganiese stikstofpoel van 'n grond so kort as moontlik voor aanplanting van 'n gewas gekwantifiseer kan die poel nog baie verander weens die dinamiese aard van stikstof. Daarom het Binford *et al.* (1992) die anorganiese stikstofpoel van grond eers na die aanplanting van 'n gewas vir aanpassings aan stikstoftoedienings gekwantifiseer. In Suid-Afrika waar ongeveer 'n derde van die stikstof met die aanplant van mielies gebandplaas word en die res van die stikstof vier tot ses weke na opkoms as 'n kantbemesting gegee word kan hierdie benadering voordelig wees. Daarom is die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof na kantbemesting en mielie-opbrengs by Viljoenskroon en Heidelberg ondersoek en in hierdie hoofstuk word daarvoor gerapporteer.

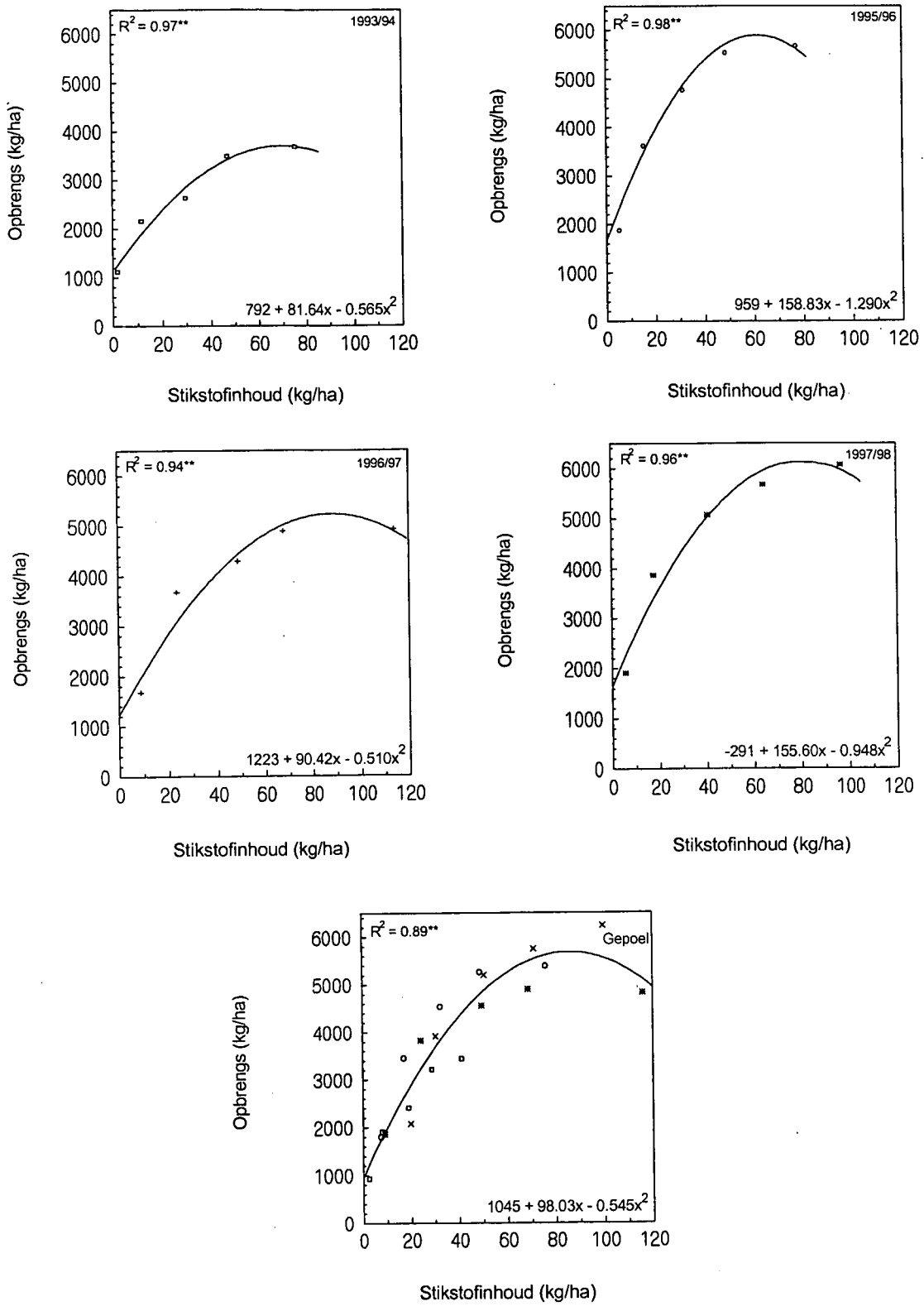
5.2 Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs by Viljoenskroon

Die data van slegs vier seisoene (1993/94, 1995/96, 1996/97 en 1997/98) is gebruik om die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs by Viljoenskroon vas te stel, vir redes soos in Afdeling 3.2.1 gegee.

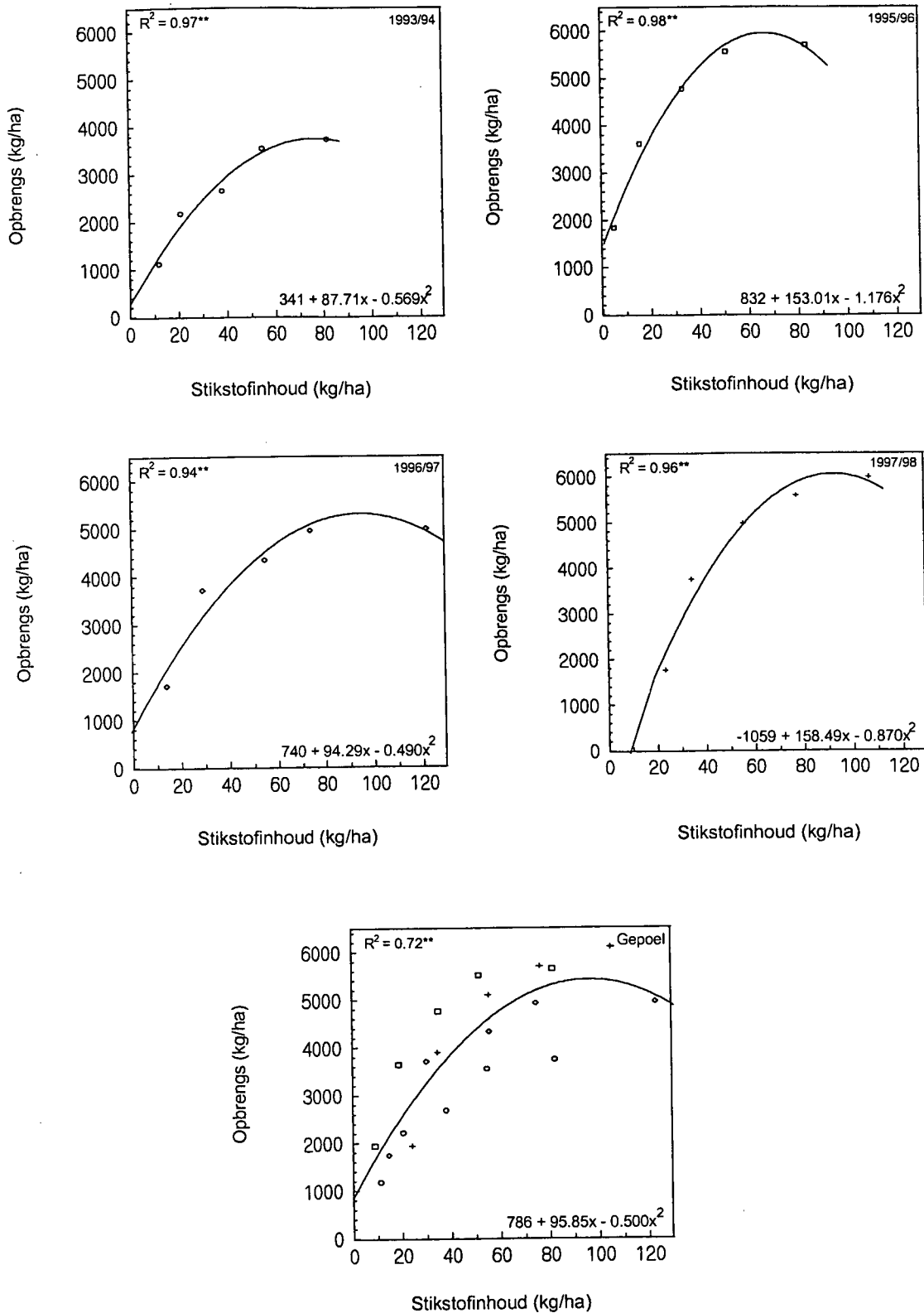
5.2.1 Absolute opbrengs

Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en absolute opbrengs is die beste deur die paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$ beskryf, waar y die absolute opbrengs (kg ha^{-1}) en x die anorganiese grondstikstofinhoud (kg ha^{-1}) verteenwoordig. Hierdie verwantskappe word vir die baan grondvolume in Figuur 5.1 en vir die totale grondvolume in Figuur 5.2 geïllustreer. Daar is goeie passings met die data van elke seisoen ($R^2 \geq 0.94$) en waar die data van die vier seisoene gepoel is ($R^2 = 0.89$ vir die baan en $R^2 = 0.72$ vir die totale grondvolume) verkry.

Die opbrengsreaksie op die anorganiese stikstof in hierdie Clovellygrond na kantbemesting was in die 1993/94 seisoen swakker as in die drie daaropvolgende seisoene vir beide grondvolumes (Figure 5.1 en 5.2). Dit is belangrik om die verskille in opbrengs tussen die 1993/94 en 1994/95 seisoene uit te wys omdat die anorganiese stikstofinhoud in die twee seisoene min of meer dieselfde was. 'n Soortgelyke



Figuur 5.1: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die baan grondvolume en absolute opbrengs by Viljoenskroon vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



Figuur 5.2: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die totale grondvolume en absolute opbrengs by Viljoenskroon vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

patroon is ook tussen die 1995/96 en 1996/97 seisoene te bespeur. Hierdie verskille kan alleenlik aan die reënval toegeskryf word (Tabel 2.2).

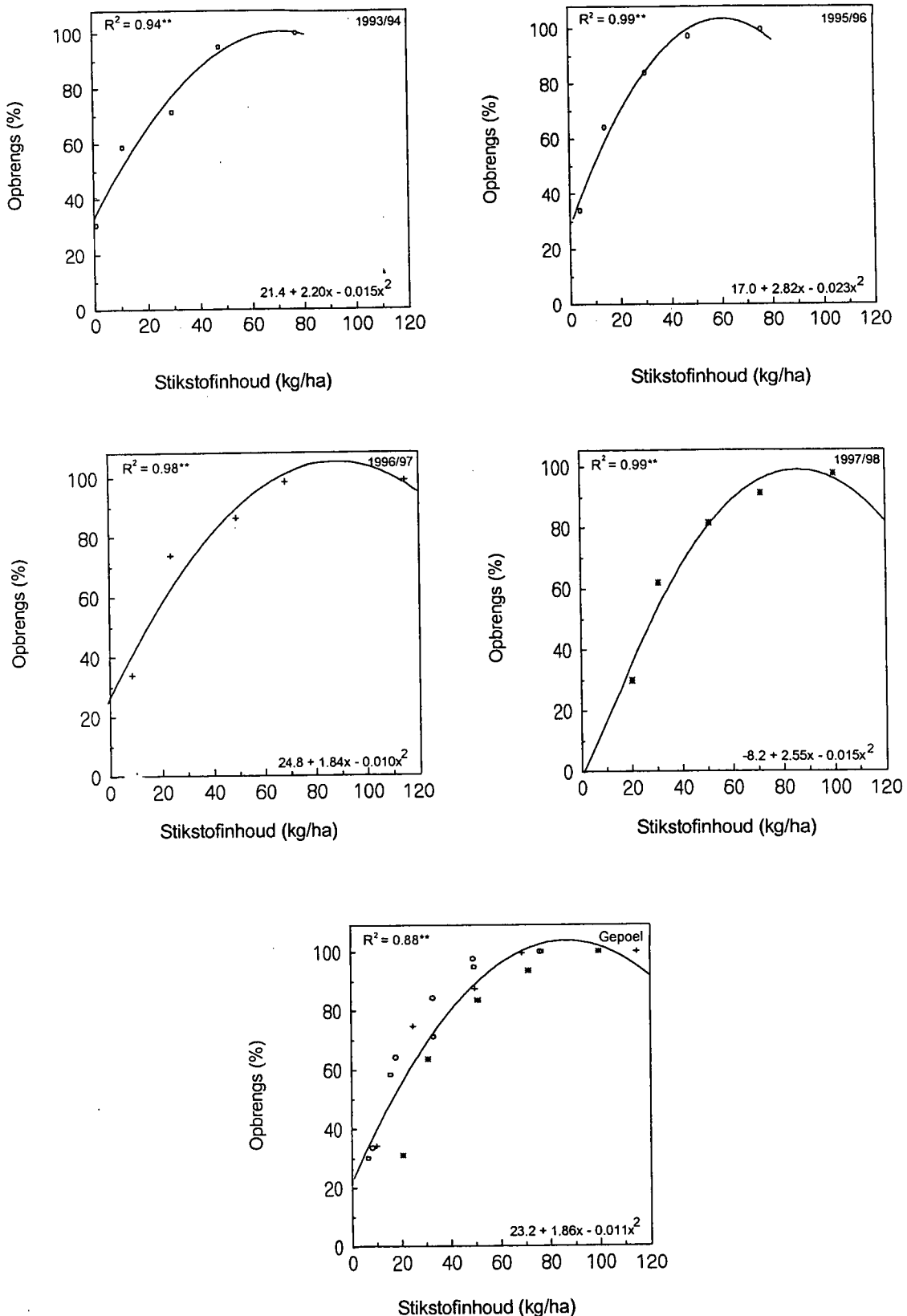
Die anorganiese grondstikstofinhoud wat 'n maksimum absolute opbrengs tot gevolg gehad het, word in Tabel 5.1 gegee. In die geval van die baan grondvolume varieer dit vanaf 62 kg N ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 5848 kg ha⁻¹ in 1995/96 tot 89 kg N ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 5231 kg ha⁻¹ in 1996/97. By die totale grondvolume varieer dit vanaf 65 kg N ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 5809 kg ha⁻¹ in 1995/96 tot 96 kg ha⁻¹ vir 'n opbrengs van 5276 kg ha⁻¹ in 1996/97. Dit blyk dat wanneer die data van die vier seisoene gepoel word 'n opbrengs van 5453 kg ha⁻¹ met 90 kg N ha⁻¹ in die baan grondvolume sal realiseer. In die geval van die totale grondvolume kan 'n opbrengs van 5380 kg ha⁻¹ met 96 kg N ha⁻¹ realiseer.

Tabel 5.1: Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum absolute opbrengs by Viljoenskroon vir seisoene en oor seisoene verkry is

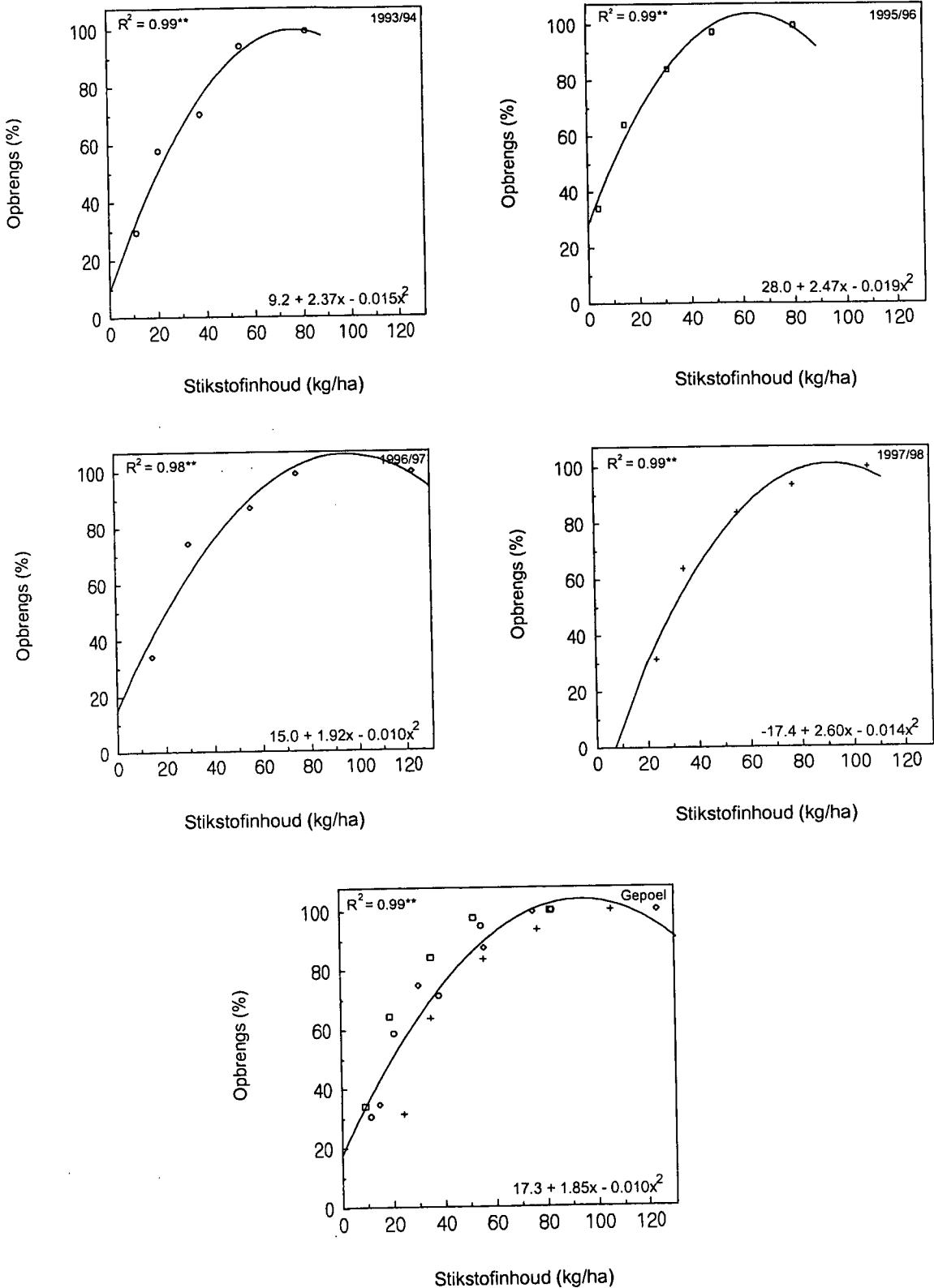
Seisoen	Baan grondvolume		Totale grondvolume	
	Opbrengs (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)	Opbrengs (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)
1993/94	3741	72	3721	77
1995/96	5848	62	5809	65
1996/97	5231	89	5276	96
1997/98	6094	82	6250	91
Gepoel	5453	90	5380	96

5.2.2 Relatiewe opbrengs

Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstofinhoud en relatiewe opbrengs is ook die beste deur die paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$ beskryf, waar y die relatiewe opbrengs (%) en x die anorganiese grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) verteenwoordig. Hierdie verwantskappe word vir die baan grondvolume in Figuur 5.3 en vir die totale grondvolume in Figuur 5.4 gegee.



Figuur 5.3: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die baan grondvolume en relatiewe opbrengs vir seisoene en oor seisoene by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



Figuur 5.4: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die totale grondvolume en relatiewe opbrengs vir seisoene en oor seisoene by Viljoenskroon (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

Goeie passings is met die data van elke seisoen ($R^2 \geq 0.94$) en waar die data van die vier seisoene gepoel is ($R^2 = 0.88$ vir die baan en $R^2 = 0.99$ vir die totale grondvolume) verkry. Die verklaring van variasie was soortgelyk aan die tussen anorganiese grondstikstofinhoud en absolute opbrengs wat in Afdeling 5.2.1 bespreek is, behalwe dat aansienlik meer variasie met relatiewe opbrengs verklaar kon word wanneer die data vir die totale grondvolume oor seisoene gepoel is.

Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum relatiewe opbrengs behaal is, word in Tabel 5.2 gegee. By die baan grondvolume varieer dit vanaf 61 kg N ha⁻¹ in 1995/96 tot 92 kg N ha⁻¹ in 1996/97. In die geval van die totale grondvolume varieer dit vanaf 65 kg N ha⁻¹ in 1995/96 tot 96 kg N ha⁻¹ in 1996/97. Indien die data van die vier seisoene gepoel word blyk dit dat 'n maksimum relatiewe opbrengs met 85 kg N ha⁻¹ in die baan grondvolume en 92 kg N ha⁻¹ in die totale grondvolume gerealiseer het. Dit is onderskeidelik 5 en 4 kg N ha⁻¹ laer as wat vir 'n maksimum absolute opbrengs afgelei is (Afdeling 5.2.1).

Daar kan dus ten opsigte van Viljoenskroon tot die slotsom gekom word dat die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum opbrengs realiseer baie tussen seisoene varieer waarskynlik as gevolg van verskille in reënval (Tabelle 5.1 en 5.2). Nogtans blyk dit dat daar 85 tot 90 kg N ha⁻¹ in die baan grondvolume twee weke na kantbemesting moet wees ten einde die langtermyn gemiddelde opbrengs van 5000 kg ha⁻¹ te verseker. Die totale grondvolume moet vir die doeleindes 92 tot 96 kg N ha⁻¹ bevat.

Tabel 5.2: Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum relatiewe opbrengs by Viljoenskroon vir seisoene en oor seisoene verkry is

Seisoen	Baan grondvolume		Totale grondvolume	
	Opbrengs (%)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)	Opbrengs (%)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)
1993/94	102	73	103	79
1995/96	103	61	108	65
1996/97	109	92	107	96
1997/98	100	85	103	93
Gepoel	102	85	103	92

5.3 Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs by Heidelberg

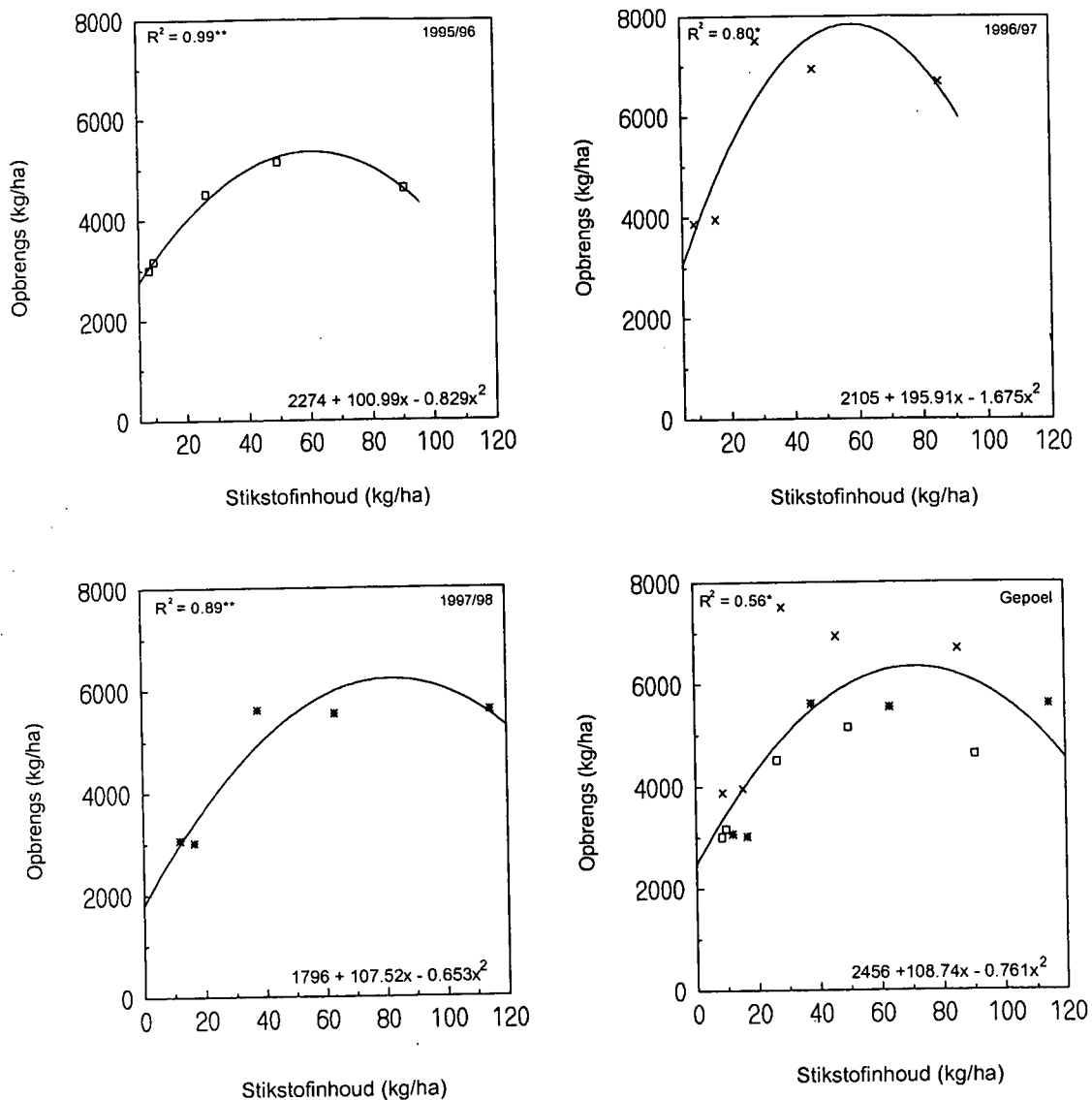
By hierdie lokaliteit is slegs drie seisoene (1995/96, 1996/97 en 1997/98) se data gebruik om die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs vas te stel weens redes soos in Afdelings 3.2.2 en 4.3 gegee.

5.3.1 Absolute opbrengs

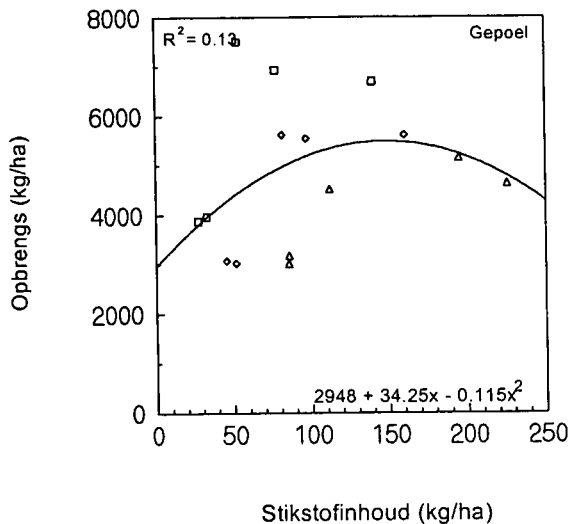
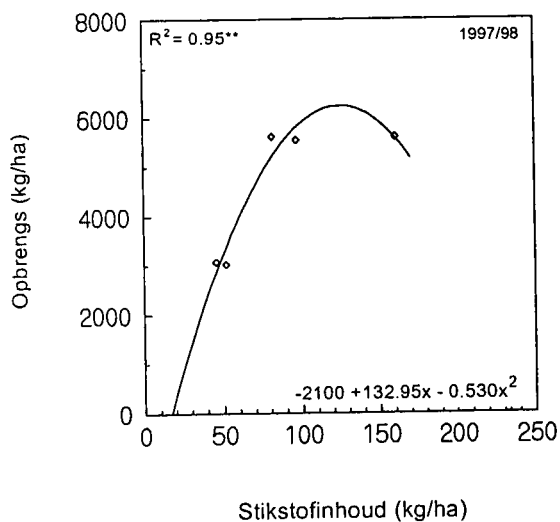
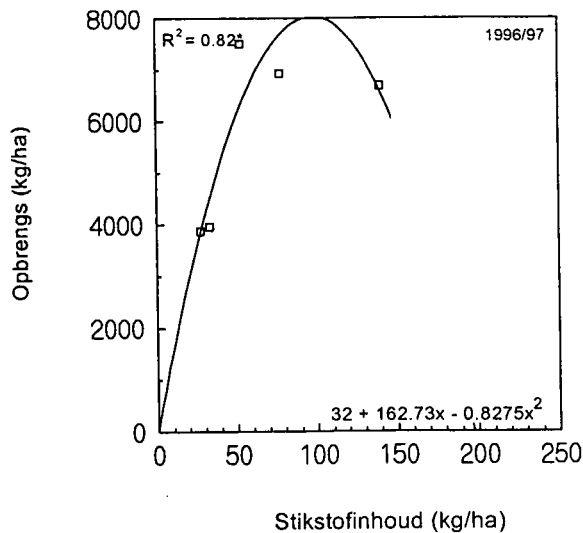
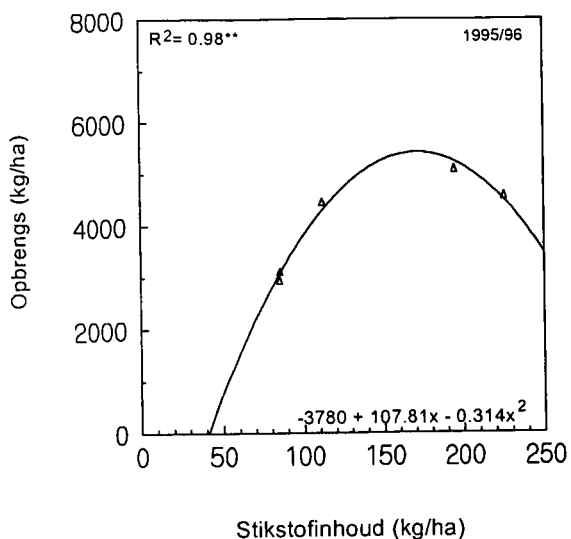
Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstofinhoud en absolute mielie-opbrengs is die beste deur die paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$ beskryf, waar y die absolute opbrengs (kg ha^{-1}) en x die anorganiese grondstikstofinhoud (kg ha^{-1}) verteenwoordig. Hierdie verwantskappe word vir die baan grondvolume in Figuur 5.5 en vir die totale grondvolume in Figuur 5.6 getoon. Die passings vir die individuele seisoene was by die baan grondvolume ($R^2 \leq 0.99$) sowel as die totale grondvolume ($R^2 \leq 0.98$) steeds baie goed maar ietwat swakker as by Viljoenskroon (Figure 5.3 en 5.4). Baie swak passings is egter by die baan grondvolume ($R^2 = 0.56$) en totale grondvolume ($R^2 = 0.13$) verkry wanneer die data van die drie seisoene gepoel is.

Volgens Figure 5.5 en 5.6 blyk dit dat die opbrengsreaksie op die anorganiese stikstof in hierdie Avalongrond na kantbemesting baie tussen die drie seisoene gevarieer het. In 1995/96 is laer opbrengste as in 1996/97 met min of meer vergelykbare hoeveelhede anorganiese grondstikstof verkry. Daarenteen is in 1997/98 laer opbrengste as in 1996/97 verkry met hoër anorganiese grondstikstofinhoud. Hierdie verskynsel kan waarskynlik aan die reënval toegeskryf word (Tabel 2.2).

In Tabel 5.3 word die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum absolute opbrengs gerealiseer het gegee. By die baan grondvolume varieer dit vanaf 58 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 7833 kg ha^{-1} in 1996/97 tot 82 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 6222 kg ha^{-1} in 1997/98. Die variasie in die totale grondvolume is groter, naamlik vanaf 98 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 8027 kg ha^{-1} in 1996/97 tot 172 kg N ha^{-1} vir 'n opbrengs van 5474 kg ha^{-1} in 1995/96. Dit blyk dat wanneer die drie seisoene se data gepoel word 'n opbrengs van 6335 kg ha^{-1} met 71 kg N ha^{-1} in die baan



Figuur 5.5: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die baan grondvolume en absolute opbrengs by Heidelberg vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



Figuur 5.6: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die totale grondvolume en absolute opbrengs by Heidelberg vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

1553 637 3
UNIVERSITEIT

grondvolume en 'n opbrengs van 5457 kg ha⁻¹ met 130 kg ha⁻¹ in die totale grondvolume gerealiseer het.

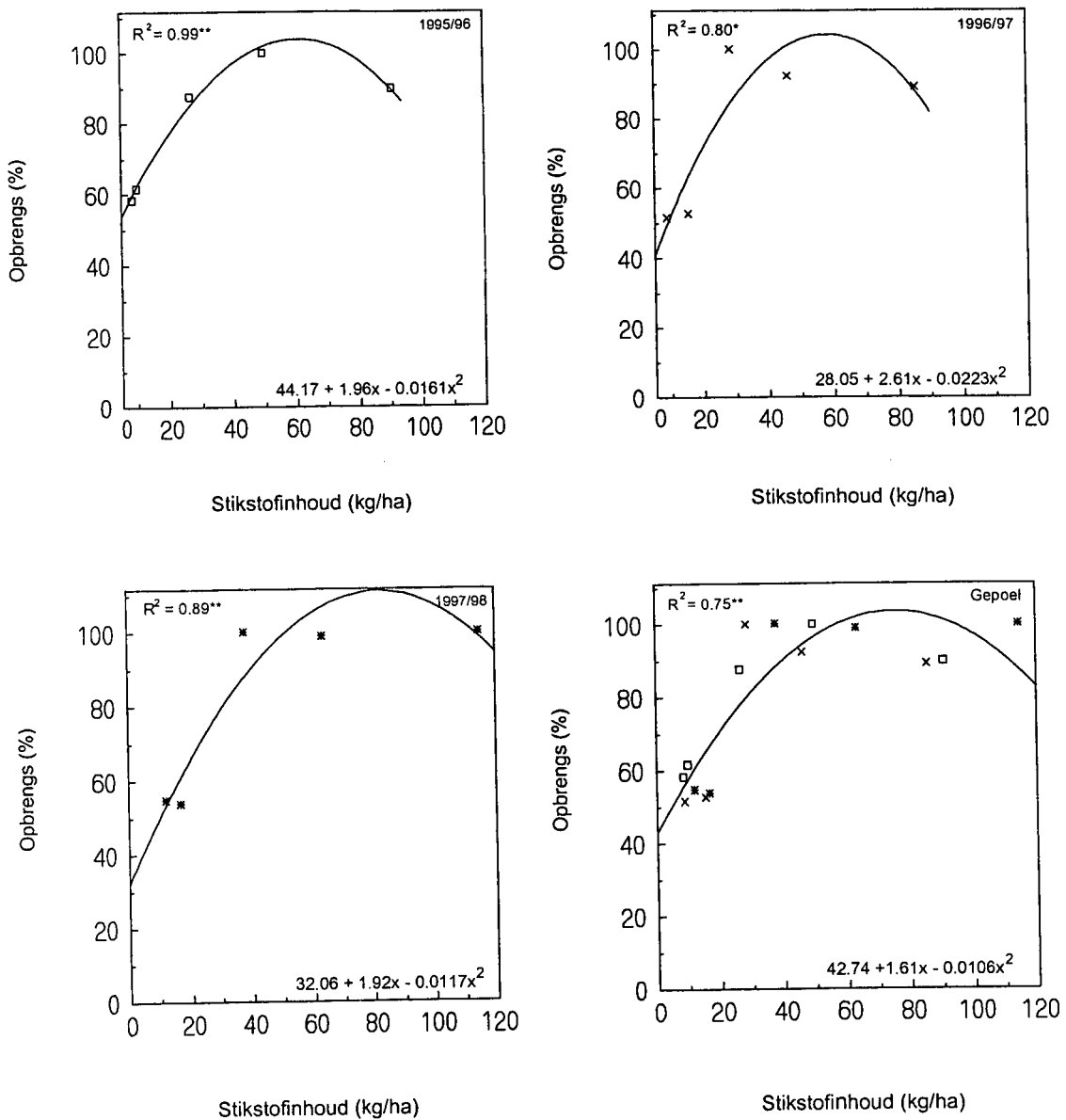
Tabel 5.3: Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum absolute opbrengs gekry is by Heidelberg

Seisoen	Baan grondvolume		Totale grondvolume	
	Opbrengs (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)	Opbrengs (kg ha ⁻¹)	Stikstofinhoud (kg ha ⁻¹)
1995/96	5349	61	5474	172
1996/97	7833	58	8027	98
1997/98	6222	82	6238	125
Gepoel	6335	71	5457	130

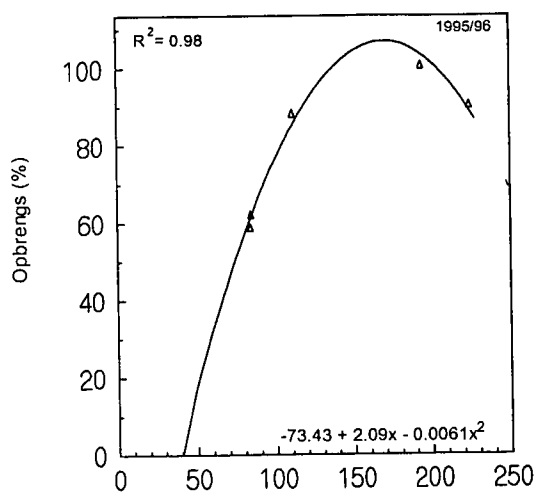
5.3.2 Relatiewe opbrengs

Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstofinhoud en relatiewe opbrengs is ook die beste deur die paraboliese model: $y = a + bx + cx^2$ beskryf, waar y die relatiewe opbrengs (%) en x die anorganiese grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) verteenwoordig. In Figure 5.7 en 5.8 word hierdie verwantskappe onderskeidelik vir die baan grondvolume en totale grondvolume geïllustreer. Die passings vir die individuele seisoene was by die baan grondvolume ($R^2 \geq 0.80$) sowel as die totale grondvolume ($R^2 \geq 0.82$) steeds baie goed, maar ietwat swakker as by Viljoenskroon (Figuur 5.3 en 5.4). Die verklaring van variasie met relatiewe opbrengs was soortgelyk aan die tussen anorganiese grondstikstofinhoud en absolute opbrengs vir individuele jare, maar aansienlik beter wanneer data vir die baan ($R^2 = 0.75$) sowel as totale grondvolume ($R^2 = 0.49$) gepoel is (Vergelyk Figure 5.5 en 5.6).

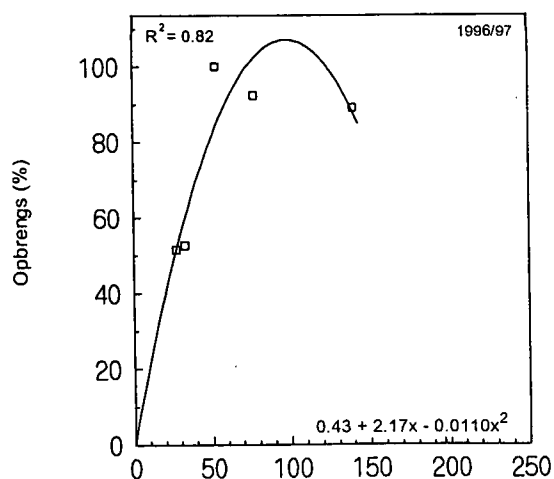
Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum relatiewe opbrengs gerealiseer het, word in Tabel 5.4 gegee. Dit varieer in die baan grondvolume vanaf 59 kg N ha⁻¹ in 1996/97 tot 82 kg N ha⁻¹ in 1997/98 en in die totale grondvolume vanaf 99 kg N ha⁻¹ in 1996/97 tot 171 kg N ha⁻¹ in 1995/96. Indien die drie seisoene se data gepoel word blyk dit dat 'n maksimum relatiewe opbrengs met 76 kg N ha⁻¹ in



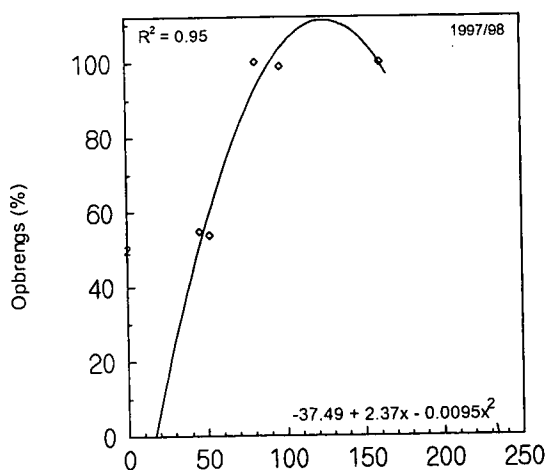
Figuur 5.7: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die baan grondvolume en relatiewe opbrengs by Heidelberg vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)



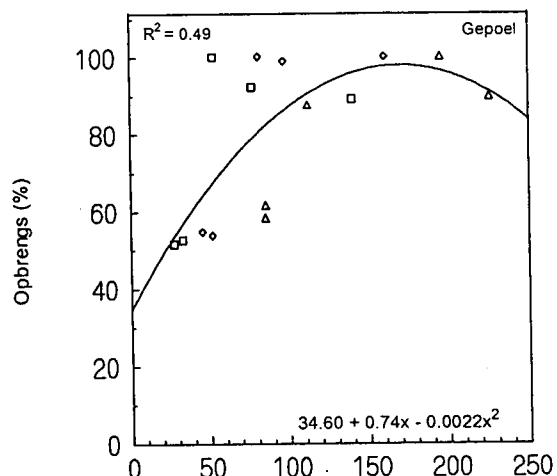
Stikstofinhoud (kg/ha)



Stikstofinhoud (kg/ha)



Stikstofinhoud (kg/ha)



Stikstofinhoud (kg/ha)

Figuur 5.8: Verwantskap tussen anorganiese grondstikstof in die totale grondvolume en relatiewe opbrengs by Heidelberg vir seisoene en oor seisoene (* betekenisvol by 95 % en ** betekenisvol by 99 %)

die baan grondvolume en 169 kg N ha^{-1} in die totale grondvolume gerealiseer het. Dit is onderskeidelik 5 en 39 kg N ha^{-1} hoër as wat vir 'n maksimum absolute opbrengs afgelei is (Afdeling 5.3.1).

Dit is duidelik dat die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum opbrengs gerealiseer het ook by Heidelberg baie tussen seisoene varieer, veral in die totale grondvolume (Tabelle 5.3 en 5.4). Volgens die gepoelde data van die drie seisoene is 71 tot 76 kg N ha^{-1} in die baan grondvolume en 130 tot 169 kg N ha^{-1} in die totale grondvolume nodig vir 'n maksimum opbrengs.

Tabel 5.4: Die anorganiese grondstikstofinhoud waarby 'n maksimum relatiewe opbrengs by Heidelberg vir seisoene en oor seisoene verkry is

Seisoen	Baan grondvolume		Totale grondvolume	
	Opbrengs (%)	Stikstofinhoud (kg ha^{-1})	Opbrengs (%)	Stikstofinhoud (kg ha^{-1})
1995/96	106	63	106	171
1996/97	104	59	107	99
1997/98	111	82	110	125
Gepoel	104	76	97	169

5.4 Gevolgtrekking

Goeie verwantskappe is tussen anorganiese grondstikstof en absolute of relatiewe opbrengs vir die baan en totale grondvolumes verkry wanneer individuele jare van beide lokaliteite ondersoek is. Met die oog op verbeterde bemestingsriglyne is goeie verwantskappe oor jare egter van belang. Viljoenskroon het in die opsig verskillend van Heidelberg reageer.

By Viljoenskroon is die meeste variasie vir data wat oor jare gepoel is, verklaar deur die totale grondvolume en relatiewe opbrengs te gebruik. Dit was 10 persentasie punte beter as met die baan grondvolume en absolute opbrengs, 11 persentasie punte

beter as met die baan grondvolume en relatiewe opbrengs en 27 persentasie punte beter as met die totale grondvolume en absolute opbrengs. Hierdie verwantskappe was egter almal betroubaar genoeg om aan te beveel.

By Heidelberg is die meeste variasie vir data wat oor jare gepoel is, verklaar deur die baan grondvolume en relatiewe opbrengs. Dit was 33 persentasie punte beter as met die baan grondvolume en relatiewe opbrengs, 4 persentasie punte beter as met die totale grondvolume en relatiewe opbrengs en 76 persentasie punte beter as met die totale grondvolume en absolute opbrengs. Slegs eersgenoemde verwantskap was betroubaar genoeg om aan te beveel.

Die gebruik van relatiewe opbrengs in plaas van absolute opbrengs het dus vir beide lokaliteite aansienlik meer variasie oor seisoene verklaar en word daarom oor lokaliteite aanbeveel. Die gebruik van die baan grondvolume het goeie verwantskappe oor seisoene by beide lokaliteite tot gevolg gehad en kan daarom ook oor lokaliteite aanbeveel word.

Die gebruik van die totale grondvolume in plaas van die baan grondvolume het die verklaring van variasie sodanig beïnvloed dat dit slegs op Viljoenskroon en nie op Heidelberg bo die baan grondvolume aanbeveel kan word. Die tussenbaan grondstikstof is te Viljoenskroon effektief benut ten spyte van die feit dat dit baie laag was (Tabel 4.1) en daarom is 11 persentasie punte meer variasie verklaar wanneer dit teenoor relatiewe opbrengs ingesluit is. Die tussenbaan grondstikstof is te Heidelberg baie swak benut aangesien 40 persentasie punte minder variasie verklaar is wanneer dit teenoor relatiewe opbrengs ingesluit is. 'n Bykomende bewys dat tussenbaan grondstikstof te Viljoenskroon beter benut is as te Heidelberg is dat die tussenbaan anorganiese stikstofontledings by die 0 kg N ha^{-1} toediening laer was as die baan grondstikstof te Viljoenskroon (Tabel 4.1), maar dat die teenoorgestelde by Heidelberg (Tabel 4.2) waargeneem is.

HOOFSTUK 6

SAMEVATTING

Die Suid-Afrikaanse gronde waarop mielies algemeen verbou word, word deur lae organiese materiaal gekenmerk (Du Toit, 1992). Gevolglik is die organiese stikstofreserwes in die meeste gronde laag en is stikstofbemesting essensieël vir mielieverbouing. Aangesien stikstof die voedingstof is wat meestal in die grootste hoeveelheid bemes word maak dit dus gewoonlik ook 'n aansienlike bydrae tot die bemestingskoste van mielies.

Die huidige Suid-Afrikaanse stikstofbemestingriglyne vir mielies is na aanleiding van verwantskappe tussen stikstof-toediening en oesopbrengs opgestel wat eksperimenteel vir verskillende kombinasies van grond en klimaat bepaal is (Venter, 1982; Somergraansentrum, 1994). Stikstofbemestingsaanbevelings vir mielies word gevolglik hoofsaaklik op 'n opbrengsmikpunt gebaseer. Die benadering bring mee dat daar 'n gebrek aan meetbare parameters is waarvolgens sinvolle aanpassings aan toedieningshoeveelhede gemaak kan word vir variërende omstandighede, soos oormaat reën of droogte.

Enkele plaaslike navorsers het al die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs ondersoek (Van der Walt & Du Preez, 1991; Bloem & Barnard, 1995; Landman, 1995). Hierdie navorsers het egter almal verskillende optimum waardes van anorganiese grondstikstof gerapporteer. Die belangrikste rede daarvoor is, dat die gronde se stikstofleweringsvermoë verskil het weens verskille in organiese materiaalinhoud. Daar was ook geen eenvormigheid tussen die navorsers wat die tyd en metode van monsterneming betref nie. Dit is duidelik dat daar nog heelwat leemtes is wat nagevors behoort te word voordat bemestingsaanbevelings vir mielies sinvol volgens die residuele anorganiese stikstof in Suid-Afrikaanse gronde aangepas kan word.

In Suid-Afrika waar mielies hoofsaaklik onder droëlandtoestande verbou word, is die algemene praktyk dat ongeveer 'n derde van die stikstof met plant gebandplaas word en die res vier tot ses weke na opkoms as kantbemesting toegedien word. Hierdie

praktyk leen hom daartoe dat die huidige stikstofbemestingsriglyne gewysig kan word deur die anorganiese grondstikstof voor en/of na aanplanting in berekening te bring. Volgens Binford *et al.* (1992) behoort so 'n benadering weens die dinamiese aard van stikstof in die grond-plant-atmosfeer sisteem die beste resultate te lewer.

Hierdie ondersoek na die verwantskap tussen anorganiese stikstof in grond en opbrengs van mielies onder beheerde spoorverkeer is teen die agtergrond gedoen ten einde meetbare parameters te vind waarvolgens bemestingsaanbevelings gedoen kan word. Data van bemestingsproewe by Viljoenskroon op 'n Clovellygrond (1993/94 tot 1997/98) en by Heidelberg op 'n Avalonggrond (1991/92 tot 1997/98) is gebruik om die verwantskappe tussen stikstoftoediening en mielie-opbrengs, stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof asook anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs te bepaal.

Die Viljoenskroonproef het bestaan uit vyf stikstofpeile (0, 40, 80, 120 en 180 kg N ha⁻¹) wat faktoriaal gekombineer was met vyf fosforpeile (0, 10, 20, 40 en 60 kg P ha⁻¹) en drie keer in 'n roosterontwerp herhaal is. Daarenteen het die Heidelbergproef bestaan uit vyf stikstofpeile (0, 40, 80, 120 en 180 kg N ha⁻¹) wat faktoriaal gekombineer was met ses fosforpeile (0, 5, 10, 20, 40 en 60 kg P ha⁻¹) en drie keer in 'n roosterontwerp herhaal is.

Hierdie toedienings van stikstof as kalksteenammoniumnitraat (28% N) en fosfor as dubbelsuperfosfaat (20% P) is oor die proeftydperk konstant gehou. Die stikstof is teen 20 kg ha⁻¹ met plant in 'n band 50 mm onder en 75 mm sywaarts van die pit toegedien. Ongeveer 4 tot 6 weke na plant is die res van die stikstof as kantbemesting ongeveer 150 mm van die mieliery en 100 mm diep toegedien. Die fosfor is tydens plant saam met die stikstof gebandplaas.

Die graanopbrengs is jaarliks by beide lokaliteite op elke perseel gemeet. Daar is ook jaarliks grondmonsters twee weke na kantbemesting van stikstof in 'n 300 mm strook oor die mieliery (baanmonsters) en voor planttyd in 'n 1200 mm strook tussen die mielierye (tussenbaanmonsters) vir die diepte-intervalle 0-150, 150-300 en 300-600 mm op elke perseel by beide lokaliteite geneem. Die monsters is vir anorganiese

stikstof ontleed waarna die hoeveelheid stikstof in die baan en totale grondvolumes tot 150, 300 en 600 mm diepte bereken is.

Die verwantskap tussen stikstoftoediening en graanopbrengs is by beide lokaliteite die beste deur 'n paraboliese model (Tabel 6.1) beskryf. Volgens die verwantskappe was 'n stikstoftoediening van ongeveer 161 kg ha⁻¹ by Viljoenskroon en 137 kg ha⁻¹ by Heidelberg nodig vir 'n maksimum opbrengs, hetsy absoluut of relatief. 'n Opbrengs van ongeveer 5130 kg ha⁻¹ by Viljoenskroon en 5117 kg ha⁻¹ by Heidelberg is met sulke stikstoftoedienings onder die omstandighede verkry. Die verskil in stikstoftoediening tussen die twee lokaliteite vir bykans dieselfde opbrengs, naamlik 24 kg ha⁻¹ kan waarskynlik toegeskryf word aan die feit dat die Avalongrond by Heidelberg weens 'n hoër kleiinhoud 'n laer stikstoflogingspotensiaal en 'n hoër stikstofleweringspotensiaal as die Clovellygrond by Viljoenskroon gehad het. Vanaf die oppervlakte tot 600 mm diepte neem die klei-inhoud van die Clovellygrond vanaf 7 tot 12% en die van die Avalongrond vanaf 14 tot 27% toe.

Tabel 6.1 Vergelykings wat die verwantskap tussen stikstoftoediening en graanopbrengs by Viljoenskroon (gepoelde data van vier seisoene) en Heidelberg (gepoelde data van vyf seisoene) beskryf het

Lokaliteit	Opbrengs	Vergelyking ¹	R ²
Viljoenskroon	Absolute	$y = 1695 + 42.9x - 0.134x^2$	0.72**
	Relatiewe	$y = 33.22 + 0.84x - 0.0026x^2$	0.98**
Heidelberg	Absolute	$y = 2889 + 32.55x - 0.119x^2$	0.24
	Relatiewe	$y = 54.49 + 0.61x - 0.0023x^2$	0.82**

¹waar y die opbrengs (kg ha⁻¹) en x die toegediende N (kg ha⁻¹) is; * betekenisvol by 95% en ** betekenisvol by 99%.

Die langtermyn opbrengspotensiaal van mielies word op 5000 kg ha⁻¹ vir die Viljoenskroon- en Heidelbergdistrikte geraam (Du Toit, 1997). Daar word aanvaar dat mielies (hele plant, uitgesonderd die wortels) ongeveer 27 kg N ha⁻¹ opneem vir elke 1000 kg graan wat geproduseer word (MVSA, 1997), dit wil sê vir 'n graanopbrengs van 5000 kg ha⁻¹ beloop dit 135 kg N ha⁻¹.

Die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof tot 600 mm diepte is by beide lokaliteite die beste deur 'n kwadratiese model (Tabel 6.2) beskryf. Slegs hierdie verwantskappe word gegee want die passings het met 'n toename in diepte verbeter wat die bevindings van ander plaaslike navorsers (Van der Walt & Du Preez, 1991; Bloem & Barnard, 1995; Landman, 1995) bevestig. Die bydrae van die tussenbaan grondvolume was by Viljoenskroon baie klein wat nie die geval by Heidelberg was nie. Hierdie verskynsel word aan twee aspekte toegeskryf. Die Avalongrond by Heidelberg het 'n groter stikstofleweringsvermoë as die Clovellygrond by Viljoenskroon. Gepaard gaande hiermee het die gebandplaaste stikstof by Heidelberg wyer versprei as by Viljoenskroon.

Tabel 6.2 Vergelykings wat die verwantskap tussen stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof tot 600 mm diepte by Viljoenskroon (gepoelde data van vyf seisoene) en Heidelberg (gepoelde data van vyf seisoene) beskryf het

Lokalteit	Grondvolume	Vergelyking ¹	R ²
Viljoenskroon	Baan	$y = 9.81 + 0.31x - 0.0007x^2$	0.88**
	Totale	$y = 14.4 + 0.32x - 0.0007x^2$	0.88**
Heidelberg	Baan	$y = 11.95 + 0.18x - 0.002x^2$	0.81**
	Totale	$y = 55.14 + 0.27x - 0.003x^2$	0.71**

¹waar y die gemete anorganiese stikstofinhoud (kg ha⁻¹) en x die toegediende N (kg ha⁻¹) is; * betekenisvol by 95% en ** betekenisvol by 99%.

Die vergelykings in Tabel 6.2 is gebruik om vier datastelle te genereer. Wiskundige passings is op elk van hierdie datastelle gedoen ten einde meervoudige lineêre vergelykings daar te stel waarmee die stikstofbehoefte van onderskeidelik die baan en totale grondvolumes by die twee lokaliteite bereken kan word (Tabel 6.3).

Die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs is by beide lokaliteite die beste deur 'n paraboliese model (Tabel 6.4) beskryf. Volgens die verwantskappe moet daar twee weke na kantbemesting by Viljoenskroon 85 tot 90 kg N ha⁻¹ in die baan grondvolume vir 'n maksimum opbrengs van 5380 kg ha⁻¹ en 92 tot

Tabel 6.3 Vergelykings waarmee die verlangde stikstoftoediening aan gronde tot 600 mm diepte by Viljoenskroon en Heidelberg bereken kan word

Lokalteit	Grondvolume	Vergelyking ¹	R ²
Viljoenskroon	Baan	$y = -0.01 + 2.18x_1 - 2.18x_2$	0.99**
	Totale	$y = +0.18 + 2.17x_1 - 2.18x_2$	0.99**
Heidelberg	Baan	$y = -0.01 + 1.67x_1 - 1.67x_2$	0.96**
	Totale	$y = -0.01 + 1.08x_1 - 1.08x_2$	0.97**

¹waar y die stikstoftoediening (kg ha⁻¹) aan die grond is, x₁ die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) waarna gemik word en x₂ die grondstikstofinhoud (kg ha⁻¹) wat tot 600 mm diepte gemeet is; * betekenisvol by 95% en ** betekenisvol by 99%.

96 kg N ha⁻¹ in die totale grondvolume vir 'n maksimum opbrengs van 5433 kg ha⁻¹ wees. In die geval van Heidelberg moet daar in die baan grondvolume 71 tot 76 kg N ha⁻¹ vir 'n maksimum opbrengs van 6337 kg ha⁻¹ en in die totale grondvolume 130 tot 169 kg N ha⁻¹ vir 'n maksimum opbrengs van 5457 kg ha⁻¹ wees. Hierdie opbrengste, veral by Heidelberg is heelwat hoër as die langtermyn opbrengspotensiaal van 5000 kg ha⁻¹ vir die twee distrikte (Du Toit, 1997).

Die verwantskappe tussen stikstoftoediening en mielie-opbrengs, stikstoftoediening en anorganiese grondstikstof asook anorganiese grondstikstof en mielie-opbrengs se verklaring van variasie (R²) was deurgaans beter by Viljoenskroon as by Heidelberg. Dit bevestig weereens die dinamiese aard van stikstof in die grond-plant-atmosfeer sisteem. Daarom moet verskille in klimaat, grond en produksiepraktyke deeglik verreken word wanneer sulke verwantskappe vir stikstofbemestingsriglyne ondersoek word.

Hierdie verwantskappe kan soos volg in die praktyk gebruik word vir die aanbeveling van stikstof waar mielies onder beheerde spoorverkeer op Clovellygronde by Viljoenskroon en Avalongronde by Heidelberg verbou word.

- Die betroubare vergelykings in Tabel 6.1 kan gebruik word om te bereken hoeveel stikstof toegedien moet word vir 'n gekose absolute of relatiewe opbrengs by dieselfde anorganiese grondstikstofinhoud.
- Die betroubare vergelykings in Tabel 6.4 kan gebruik word om te bereken hoeveel stikstof daar na kantbemesting in die grond moet wees vir die gekose absolute of relatiewe opbrengs.
- Die betroubare vergelykings in Tabel 6.3 kan gebruik word om te bereken hoeveel stikstof toegedien moet word om die anorganiese grondstikstof tot 'n vlak wat vir die gekose absolute of relatiewe opbrengs voldoende is te verhoog.

Tabel 6.4 Vergelykings wat die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en graanopbrengs by Viljoenskroon (gepoelde data van vier seisoene) en Heidelberg (gepoelde data van drie seisoene) beskryf

Lokaliteit	Opbrengs	Grondvolume	Vergelyking ¹	R ²
Viljoenskroon	Absolute	Baan	$y_1 = 1045 + 98.03x - 0.545x^2$	0.89**
		Totale	$y_1 = 786 + 95.85x - 0.500x^2$	0.72**
	Relatiewe	Baan	$y_2 = 23.2 + 1.86x - 0.011x^2$	0.80**
		Totale	$y_2 = 117.3 + 1.85x - 0.010x^2$	0.99**
Heidelberg	Absolute	Baan	$y_1 = 2456 + 108.74x - 0.761x^2$	0.56**
		Totale	$y_1 = 2948 + 34.25x - 0.115x^2$	0.13**
	Relatiewe	Baan	$y_2 = 42.74 + 1.61x - 0.0106x^2$	0.75**
		Totale	$y_2 = -34.4 + 0.74x - 0.0022x^2$	0.49**

¹waar y_1 die absolute opbrengs (kg ha^{-1}), y_2 die relatiewe opbrengs (%) en x die gemete anorganiese stikstofinhoud (kg ha^{-1}) is; * betekenisvol by 95% en ** betekenisvol by 99%.

Die vergelykings in Tabelle 6.1 en 6.4 is kwadratiese, naamlik $y = c + bx + ax^2$ waar a , b en c positief of negatief kan wees en daar moet soos volg te werk gegaan word om x te bereken as y bekend is. Die vergelyking moet tot $ax^2 + bx + c = 0$ herskryf word en dan kan x , wat twee waardes het elk met 'n formule bereken word. Die formule hier ter sprake is:

$$x = -b + (b^2 - 4ac)^{0.5}/2a$$

6.1

Die berekening van die verlangde stikstoftoediening aan gronde met die meervoudige lineêre vergelykings in Tabel 6.3 behoort nie probleme te lewer nie.

Aangesien die verwantskap tussen grondstikstof in bane oor die mielierye en relatiewe opbrengs die enigste betroubare verwantskap oor jare by beide lokaliteite was, word aanbeveel dat hierdie verwantskap vir die voorspelling van plantreaksies in bemestingsaanbevelings gebruik word. In ooreenstemming hiermee het Landman (1995) bewys dat die verwantskap tussen anorganiese grondstikstof en relatiewe opbrengs in teenstelling met die verwantskap tussen stikstoftoediening en absolute opbrengs oor lokaliteite ekstrapoleerbaar is mits die gronde 'n vergelykbare tekstuur het.

Die praktiese implikasie hiervan is dat die anorganiese stikstofinhoud van gronde met vergelykbare tekstuur waarby 'n sekere persentasie van die opbrengspotensiaal van elke seisoen behaal kan word konstant is. Dit beteken nie dat stikstoftoedienings vir variërende seisoenale opbrengste konstant is nie, maar juis dat dit varieer. Die benadering tot bemestingsaanbevelings sentreer dus rondom die bestuur van die hoeveelheid anorganiese grondstikstof en nie op 'n opbrengsmikpunt nie. So 'n benadering gaan groter eise aan boere, grondontledingslaboratoriums en kunsmisverskaffers stel.

Ter illustrasie word die volgende voorbeeld van 'n boer, wat mielies met beheerde spoorverkeer op gronde van vergelykbare tekstuur as by Viljoenskroon plant, voorgehou. Hierdie boer besluit na aanleiding van ekonomiese oorwegings en risiko's om die anorganiese grondstikstof sodanig te bestuur dat hy 90% van die opbrengspotensiaal van 'n bepaalde seisoen wil behaal. Die hoeveelheid stikstof wat na kantbemesting in die baan grondvolume moet wees is 52 kg ha^{-1} (Afgelei uit Tabel 6.4). Voor planttyd is die baan grondvolume se stikstofinhoud van land A op 10 kg ha^{-1} en die van land B op 30 kg ha^{-1} vasgestel. Die totale hoeveelheid stikstof wat dus tydens plant en later as kantbemesting toegedien moet word, is 92 kg ha^{-1} op land A en 48 kg ha^{-1} op land B (Afgelei uit Tabel 6.3). Bykomend hiertoe kan

grondmonsters ook na plant in die baan grondvolume geneem word om die hoeveelheid kantbemesting volgens bogenoemde tegniek verder aan te pas.

Hierdie ondersoek bevestig dat navorsing van die aard op noukeurig uitgesoekte ekotipe in die mielieproduserende gebiede van Suid-Afrika gedoen sal moet word om anorganiese grondstikstof optima, soos dit verband hou met absolute en relatiewe opbrengs, vas te stel. 'n Ekotoop word gedefinieer as 'n gebied waar die drie omgewingsfaktore wat 'n invloed op opbrengs het, naamlik klimaat, helling en grond, vir praktiese doeleindes homogeen is (Macvicar, Scotney, Skinner, Niehaus & Laubscher, 1974). 'n Homogene opbrengspotensiaal is dus oor die hele oppervlakte van 'n ekotoop te wagte en eenvormige produksiepraktyke word oor so 'n gebied toegepas (Van der Watt & Van Rooyen, 1990). Die anorganiese grondstikstof optima wat vir sulke ekotipe vasgestel is, kan dan na soortgelyke ekotipe geëkstrapoleer word.

VERWYSINGS

- ADDISCOTT, T.M., WHITEMORE, A.P. & POWLSON, D.S., 1992. Farming, fertilizers and the nitrate problem. Redwood Press Ltd, Melksham. United Kingdom, 17 – 18.
- ADRIAANSE, F.G. & HUMAN, J.J., 1990. The effects of nitrate:ammonium ratios and nitrapyrin on the nitrogen response of *Zea mays* L. under field conditions. *Plant and Soil* 122, 287 - 293.
- AHAMED, M.M., ROHRBACH, D.D., GONO, L.T., MAZHANGARA, E.P., MUGWIRA, L., MASENDEKE, D.D. & ALIBABA, S., 1997. Soil fertility management in communal areas of Zimbabwe: current practices, constraints, and opportunities for change. Results of a diagnostic survey. Southern and Eastern Africa Region Working Paper no. 6 of ICRISAT, P.O. Box 776, Buluwayo, Zimbabwe.
- BÄNZINGER, M., 1997. Annual report on the southern African drought and low soil fertility project. CIMMYT, Harare, Zimbabwe.
- BINFORD, G.D., BLACKMER, A.M. & CERRATO, M.E., 1992. Relationship between corn yield and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84, 53 - 59.
- BLACK, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Florida, United States of America, 113 – 126.
- BLACKMER, A.M., POTTKER, D., CERRATO, M.E. & WEBB, J., 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring on corn yield in Iowa. *J. Prod. Agric.* 2, 103 - 109.
- BLOEM, A.A. & BARNARD, R.O., 1995. Effek van residuele, plus toegediende stikstof op graanopbrengs van mielies in die Hoëveldstreek. *S.-Afr. Tydskr. Plant Grond* 12, 99 - 104.

- BROADBENT, F.E., 1984. Plant use of soil nitrogen. In R.D. Hauck (Ed.). Nitrogen in crop production. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- BUERKERT, B., HORLACHER, D. & MARSCHNER, H., 1995. Time course of nitrogen in soil solution and nitrogen uptake in maize plants as affected by form and application time of fertilizer nitrogen. *J. Agron. & Crop Sci.* 174, 325 - 336.
- CHRISTENSEN, R.H. & HUFFMAN, J.R., 1992. Response of corn to pre-plant applications of nitrogen and to nitrogen plus nitrapyrin. *J. Prod. Agric.* 5, 352 - 357.
- COHORT, 1995. CoHort software version 3. CoHort software, P.O. Box 19272, Minneapolis, United States of America.
- COLWELL, J.D., SUHET, A.R. & VAN RAIJ, B., 1988. In C.A. Black, Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Florida, United States of America.
- DU PREEZ, C.C. & BURGER, R. du T., 1986. Anorganiese stikstof in mieliegronde van die Oranje-Vrystaat en Transvaal met planttyd, 1984. *S.-Afr. Tydskr. Plant Grond* 3, 148 - 150.
- DU TOIT, M.E., 1992. Effek van bewerking op die organiese C en totale N in geselekteerde droëlandgronde. M.Sc. Agric. verhandeling, Universiteit van die Vrystaat, Bloemfontein.
- DU TOIT, W., 1997. Handleiding vir die verbouing van mielies in die somerreëvalgebied. LNR - IGG, Privaatsak x1251, Potchefstroom.
- FARINA, M.P.W. & VENTER, G.C.H., 1994. Maximum economic yield and economy of fertilizer use in South Africa. *FSSA Journal* 1, 21 - 26.

- FERREIRA, W.A., 1999. Kan mielies nog teen 'n wins geproduseer word? *Mielies/Maize* 9, 10-11.
- GOH, K.M. & HAYNES, R.J., 1986. Nitrogen and agronomic practices. In R.J. Haynes (Ed.). *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Academic Press, New York.
- GRONDKLASSIFIKASIEWERKSGROEP, 1991. Grondklassifikasie. 'n Taksonomiese sisteem vir Suid-Afrika. *Memoirs oor die natuurlike landbouhulpbronne van Suid-Afrika* nr. 15. Departement van Landbou, Pretoria.
- HAVLIN, J.L., BEATON, J.D., TISDALE, S.L. & NELSON, W.L., 1999. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*, 6th edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- HAYNES, R.J., 1986. The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In R.J. Haynes (Ed.). *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Academic Press, New York.
- HAYNES, R.J. & SHERLOCK, R.R., 1986. Gaseous losses of nitrogen. In R. J. Haynes (Ed.). *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Academic Press, New York.
- HECKMAN, J.R., PROSTAK, D.J., HLUBIK, W.T. & PATERSON, J.W., 1995. Pre-side dress soil nitrate test for sweet corn. *Hort Sci.* 30, 1033 – 1036.
- HENAO, J., 1997. The principles of soil testing. Paper presented at international training program of development of fertilizer recommendations based on field experiments and soil-crop models. Lomé, Togo.
- JANSSON, S.L. & PERSSON, J., 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In F.J. Stevenson (Ed.). *Nitrogen in agricultural soils*. *Am. Soc. of Agron.*, Madison, Wisconsin.

- KEENEY, D.R., 1982. Nitrogen - availability indices. In A.L. Page (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties, 2nd ed. *Am Soc. of Agron.*, Madison, Wisconsin.
- LANDMAN, S.J., 1995. Die verband tussen grondstikstof- en -fosforstatus met mielieopbrengs waar kunsmis gebandplaas word. M.Sc. Agric. Verhandeling, Universiteit van die Vrystaat, Bloemfontein.
- LANDMAN, S.J., & ADRIAANSE, F.G., 1995. Deurbraak met betrekking tot stikstofnavorsing vir mielies. *Mielies/Maize* 12, 41 - 42.
- LNR-IGG, 1991. Grondontledingsdatabank van die IGG plantvoedinglaboratorium, . LNR-IGG, Privaatsak x1251, Potchefstroom.
- LUCHT, G., 1996. On-the-go N applicator getting a good look. [Internet adres] <http://www.iowafarmer.com/agnews/ngo.htm>. [Gebruik: 10 Junie 1999].
- MACVICAR, C.N., SCOTNEY, D.M., SKINNER, T.E. NIEHAUS, H.S. & LAUBSHER, J.H., 1974. A classification of land (climate, terrain form, soil) primarily for rainfed agriculture. *S. Afr. J. Agric. Extension* 3, 21-24.
- MAGDOFF, F., ROSS, D. & AMADON, J., 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1301 - 1304.
- MANUGISTICS, 1998. Statgraphics for windows version 1. Manugistics Inc., 2115 East Jefferson Street, Rockville, Maryland, United States of America.
- MEISINGER, J.J., 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In R.D. Hauck (Ed.). Nitrogen in crop production. Am. Soc. of Agron, Madison, Wisconsin.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A., 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, PO Box, CH - 3048, Worblaufen-Bern, Switzerland.

- MOTAVALLI, P.P., BUNDY, L.G., ANDRASKI, T.W. & PETERSON, A.E., 1992. Residual effects of long-term nitrogen availability to corn. *J. Prod. Agric.* 5, 363 - 368.
- MVSA, 1997. Bemestingshandleiding, 4de druk. Die Misstofvereniging van Suid-Afrika, Posbus 75510, Lynwoodrif, Pretoria.
- NOMMIK, H. & VAHTRAS, K., 1982. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In F.J. Stevenson (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- OLSEN, R.A. & KURTZ, L.T., 1982. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In F.J. Stevenson (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- SCHMIDT, E.L., 1982. Nitrification in soil. In F.J. Stevenson (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- SMITH, F.W., 1986. Interpretation of plant analyses: concept and principles. In D.J. Reuters & J.B. Robinson (Eds.). Plant analyses - an interpretation manual. Inkata Press, Melbourne, Australia.
- SNYDER, C.S., 1999. Nutrient management plans expose fertilization opportunities. AGRI-BRIEFS No. 6. [Internet adres] <http://www.ppi-ppic.org/PPIArea/periodicals/ab/ab99/su99/su99-6css.html> [Gebruik: 31 Mei 1999].
- SOMERGRAANSENTRUM, 1994. Bemestingsriglyne vir mielies onder droëlandtoestande in `die Republiek van Suid-Afrika. LNR-IGG, Privaatsak x1251, Potchefstroom.
- STANFORD, G., 1982. Assessment of soil nitrogen availability. In F.J. Stevenson (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.

STEELE, K.W., COOPER, D.M. & DYSON, C.B., 1982. Estimating nitrogen fertiliser requirements in maize grain production. *N.Z. Journal Agric. Res.* 25, 199 - 206.

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

THYLÉN, L., 1997. Consistency in yield variation and optimal nitrogen rate. In precision agriculture. BIOS Scientific Publishers Ltd. Swedish Institute of Agriculture Engineering, P.O. Box 7003, Uppsala, Sweden.

VAN DER WATT, H. VAN H. & VAN ROOYEN, T.H., 1990, 'n Verklarende woordeboek vir grondkunde. Grondkundevereniging van Suid-Afrika, Sunnyside, Pretoria.

VAN DER WALT, P.P. & DU PREEZ, C.C., 1991. Nitraatontledings as hulpmiddel by stikstofbestedingsaanbevelings vir die westelike mielieproduserende gebiede van Suid-Afrika., *S.-Afr. Tydskr. Plant Grond* 8, 6 - 11.

VENTER, G.C.H., 1982. Stikstofbestedingsaanbevelings gebaseer op oespotensiaal en stikstofonttrekkingsyfers van mielies. Handleiding van stikstofsosposium, Tegniese mededeling no. 187, Dept. van Landbou, Pretoria.

VOLSCHENK, J.E., 1982, Stikstofbestedingsaanbevelings gegrond op grondontledings. Handeling van stikstofsosposium, Tegniese mededeling no. 187, Dept. van Landbou, Pretoria.

WARD, R.C., 1971. Nitrate-nitrogen soil test approaches to use and interpretation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2, 61 - 71.

DOMESTIC