

VAN DEN BERG, HENDRIK MARTHINUS

DIE IDENTIFISERING EN KARAKTERISERING
VAN VELDEKOTOPE IN DIE NOORDWES-TRANSVAALSE
SUUR- EN GEMENGDE BOSVELD

MSc

UP

1993

**Die identifisering en karakterisering van
veldekotope in die noordwes-Transvaalse Suur-
en Gemengde Bosveld**

deur

Hendrik Marthinus van den Berg

Leier: Prof. Dr. G.J. Bredenkamp

Voorgelê ter vervulling van 'n deel van die
vereistes vir die graad M.Sc.

in die Fakulteit Natuurwetenskappe

Universiteit van Pretoria

PRETORIA

NOVEMBER 1993

"Kyk hoe groei die lelies: hulle swoeg nie en hulle maak nie
klere nie, maar Ek sê vir julle: Selfs Salomo in al sy prag was
nie geklee soos een van hulle nie." Lukas 12:27

VOORWOORD

In hierdie studie word die hipotese dat habitatverskille die verspreiding en ekologie van plantegroei in die studiegebied sodanig beïnvloed, dat dit nodig is om veldbestuurseenhede of veldekotope af te baken vir effektiewe weiveldbestuur, getoets.

Die verwantskappe tussen plantegroeiverpreiding en habitat, die reaksie wat die plantegroei op beweiding toon en die huidige veldtoestand van die studiegebied word in die vorm van vier konsepartikels, vir publikasie in erkende wetenskaplike tydskrifte, aangebied.

'n Samevattende bespreking van al die resultate in geheel word ook aangebied. Die benaderings gevolg en die potensiële aanwending van sekere tegnieke word ook verder toegelig in hiërdie bespreking.

Dié verhandeling dien ook as finale fasetverslae vir fasette T5134/36/1/5 en T5134/36/1/10 (Departement Landbou).

**Die identifisering en karakterisering van
veldekotope in die noordwes-Transvaalse Suur-
en Gemengde Bosveld**

deur

Hendrik Marthinus van den Berg

Leier: Prof. Dr. G.J. Bredenkamp

Departement Plantkunde
Universiteit van Pretoria

Voorgelê ter vervulling van 'n deel van die
vereistes vir die graad M.Sc.

November 1993

SAMEVATTING

Die plantegroei van die studiegebied, wat 1407 km² beslaan, is op 'n skaal van 1:50 000 gekarteer. Die karteringseenhede is vereenvoudig en die studiegebied is in hoof plantegroeitipes ingedeel. Opname persele is subjektief volgens veldtoestand-verskille in die hoof plantegroeitipes uitgeplaas.

Verskeie datastelle, bestaande uit frekwensie- en

bedekkingswaardes van houtagtige- en grasspesies, is geklassifiseer en georden met behulp van TWINSPAN- en DECORANA-algoritmes. Ooreenstemmende resultate is verkry. Hiërdie resultate is ekologies geïnterpreteer en die verwantskappe tussen die hoof plantegroeitipes en habitat is sodoende bepaal.

'n TWINSPAN-klassifikasie bestaande uit net grasspesies is statisties vergelyk met 'n TWINSPAN-klassifikasie wat uit gras- en houtagtige spesies bestaan het. 'n Groot mate van ooreenstemming is verkry wat daarop dui dat grasspesiesamestelling ook deur habitat bepaal word. Daar is egter gevind dat 'n meer volledige ekologiese beeld van die plantegroei verkry word wanneer houtagtige- en grasspesies saam geklassifiseer en georden word. Die klassifikasie en ordening van 'n datastel wat slegs bestaan het uit grondveranderlikes het ook die hoof habitatskeidings weerspieël. Daar is gevind dat klei-inhoud betekenisvol gekorreleer is met die meeste ander grondveranderlikes.

SPOT-satellietbeelde is digitaal versterk en in hoof ekologiese eenhede geklassifiseer wat bestaan uit intergekorreleerde plantegroei-, geologiese- en grondkomplekse. Die ruimtelike verwantskappe tussen plantegroei, geologie en grond is vasgestel en gekwantifiseer met behulp van ruimtelike analisetegnieke in 'n GIS-omgewing. Dié resultate het die verwantskappe wat vasgestel is met behulp van die meerveranderlike analise tegnieke gekomplimenteer.

Reënval verklaar nie die verspreiding van plantegroei in die studiegebied bevredigend nie, terwyl habitat dit wel doen. Die gevolgtrekking is gemaak dat plantegroei-verspreiding deur middel van habitatsklassifikasie voorspel kan word.

Daar is aangetoon dat habitat ook 'n duidelike invloed het op die reaksie wat plantegroei toon op beweiding. Spesieveranderings as gevolg van beweiding binne 'n spesifieke habitat is veel groter as spesiesamestellingverskille wat veroorsaak word deur kleinere habitatsverskille. Daar is gevind dat dieselfde spesies verskillend reageer in verskillende habitats op beweiding. Duidelike verskille in die sensitiwiteit van die verskillende habitats vir degradasie is aangetoon.

SPOT-satellietbeelde is ook gebruik om veldbenuttingspatrone te karteer. Die bedekking van die kruidstratum is direk gekoppel aan 'n veldtoestand. 'n Geïntegreerde GIS-afstandswaarnemingsbenadering is gevolg wat dit moontlik gemaak het om die degradasie van die verskillende habitats afsonderlik te kwantifiseer. Daar was dan ook groot benuttings verskille tussen die habitats gewees.

Die gevolgtrekking is gemaak dat habitat die belangrikste invloed het op die verspreiding van die plantegroei in die studiegebied. Dit beïnvloed ook die intensiteit van die benutting van plantegroei, asook die sensitiwiteit vir degradasie. Die breë indeling van die plantegroei in hoof plantegroeitipes blyk geldige indelings vir weiveldbestuur te wees. Daar kan egter nog

fyner indelings op plaasvlak gemaak word.

Die tegnieke toegepas in hierdie studie toon 'n groot potensiaal om 'n effektiewe hulpmiddel in plantegroei-kartering en weiveldbestuur te wees. 'n Grondige kennis van die ekologie, van enige studiegebied wat ondersoek wil word, is egter 'n vereiste om die tegnieke te laat slaag.

**Identification and characterization of veld
ecotopes in the north-western Transvaal Sour
and Mixed Bushveld**

By

Hendrik Marthinus van den Berg

Supervisor: Prof. Dr. G.J. Bredenkamp

Department of Botany
University of Pretoria

Submitted for the partial fulfilment of the
requirements for the degree of M.Sc.

November 1993

SUMMARY

The vegetation of the study area, which covers 1407 km², was mapped on a scale of 1:50 000. The mapping units were simplified to major vegetation types. Veld condition differences were sampled in the major vegetation types.

Various data sets, that consisted of frequency and cover values, were subjected to TWINSpan and DECORANA classification and

ordination algorithms. Similar results were obtained from the different data sets. These results were ecologically interpreted and relationships between the major vegetation types and the habitats were determined.

A TWINSpan classification of a data set that consisted of only grass species, was compared to a TWINSpan classification that consisted of both grass and woody species. The generally similar results are an indication that grass species composition is also determined by the habitat. However, a better ecological impression of the vegetation was formed when the data sets that consisted of grass and woody species were subjected to classifications and ordinations. A classification and an ordination of soil variables reflected the major vegetation types. It was found that clay content was significantly correlated with most other soil variables.

SPOT images were digitally enhanced and classified to major vegetation types that consist of interrelated vegetation, geological and soil complexes. The spatial relationships between vegetation, geology and soil were determined and quantified by using spatial analysis techniques in a GIS environment. These results complimented the relationships determined by means of multivariate techniques.

Rainfall does not explain the distribution of the vegetation in the study area satisfactorily, while habitat does. The conclusion is made that it is possible to predict the

distribution of the vegetation by means of habitat classification. It is shown that habitat has a clear influence on reaction of vegetation towards grazing. Species composition changes due to grazing, in a specific habitat, are much more profound than species composition changes caused by minor habitat differences. The same species reacted differently to grazing in the different habitats. Clear difference in the sensitivity of the different habitats for degradation is shown.

SPOT satellite images were also used to map veld utilization patterns. The cover of the herbaceous layer was directly linked to veld condition. The integrated GIS - remote sensing approach that was followed, made it possible to quantify the degradation of the different habitats separately. There were major utilization differences between the habitats identified.

The conclusion is made that habitat has a major influence on the vegetation in the study area. It also influences the intensity of utilization of vegetation, and the sensitivity to degradation. The broad divisions of vegetation in major vegetation types are probably valid veld management divisions.

The techniques applied in this study are showing a great potential as an effective aid in vegetation mapping and veld management. An adequate knowledge of the ecology, of any study area to be investigated, is a prerequisite for the successful application of these techniques.

INHOUDSOPGAWE

Bladsy

Voorwoord.....	i
Samevatting.....	ii
Summary.....	vi
Inhoudsopgawe.....	xi
Hoofstuk 1:	
Inleiding.....	1
Hoofstuk 2:	
Studiegebied.....	5
Hoofstuk 3:	
Oorsig oor metodes gevolg.....	13
Hoofstuk 4:	
Die toepassing van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei in die Noordwes-Transvaalse bosveld te bepaal.....	16
Hoofstuk 5:	
The use of Remote Sensing in a GIS spatial database to identify and quantify vegetation-habitat relationships.....	50
Hoofstuk 6:	
Die invloed van habitat op plantegroeiveranderings veroorzaak deur beweiding in die Noordwes-Transvaalse Suur- en Gemengde Bosveld.....	77

Hoofstuk 7:

Remote Sensing: a tool in a GIS spatial database to characterize veld condition.....	116
---	-----

Hoofstuk 8:

Samevattende bespreking.....	141
Erkennings.....	149
Verwysings.....	152

HOOFSTUK 1

INLEIDING

Die welvaart van enige land en in die besonder van 'n ontwikkelende land, hang baie af van die natuurlike hulpbronne en hulle produksievermoë. Die groeiende bevolking wat ontwikkelende lande kenmerk, plaas 'n toenemende druk op hierdie natuurlike hulpbronne. Die verstandige gebruik van hierdie hulpbron deur beide kommersiële- en bestaansboere is dus van die uiterste belang vir die toekomstige welvaart van die land en sy mense (Aucamp et al. 1992). Die studiegebied is geleë in 'n gebied wat gekenmerk word deur 'n uitsonderlike natuurskoon. Met die Kransberg Natuurreservaat daarnaby geleë, 'n groot wild- en jagbedryf en maklike bereikbaarheid vanaf die PWV-gebied, bestaan daar 'n aansienlike toerismepotensiaal wat afhang van die ongeskondenheid van die gebied.

Uit 'n veldbestuursoogpunt gesien is dit belangrik om te weet watter gebiede se produksie-, benuttingspotensiaal en kwesbaarheid verskil. Die behoefte aan landboupotensiaal-inligting het gelei tot die definiëring van ekotope. Volgens MacVicar et al. (1986) is 'n ekotoop 'n landklas waarbinne die variasie in natuurlike hulpbronne nie voldoende is om die landbouprodukte wat daarop verbou kan word, hul potensiële opbrengs (kwaliteit en kwantiteit) en die vereiste produksietegnieke beduidend te beïnvloed nie. 'n Veldekotoop word dus gedefinieer in terme van klimaat, grond, topografie en plantegroei.

Die doel van hierdie studie is om die onderlinge verwantskappe wat daar bestaan tussen klimaat, grond, topografie en plantegroei te omskryf en te kwantifiseer. Die doel is verder om breë indelings te maak (op 'n skaal van maksimum 1:50 000 en minimum 1:250 000), wat die belangrikste variasie vir bogenoemde fisiese faktore dek. Daar is ook beoog om die invloed van beweiding op die plantegroei in elk van die indelings te bepaal. Die uitgangspunt is dus om 'n algemene kennis van die struktuur en funksie van die ekosisteem te verkry. Daar is daarteen gewaak om nie aanvanklik te fyn indelings te maak wat onderlinge verwantskappe sal verdoesel nie. Dit moet egter in gedagte gehou word dat fyner veldverskille wel areaseleksie (Hatch & Tainton 1990) tot gevolg kan hê, met belangrike bestuursimplikasies op plaasvlak. Die algemene neiging is egter na meer eenvoudige weidingstelsels met minder kampe (Mentis 1990, O'Reagan & Turner 1992). Dit is egter belangrik om sekere minimum veldskeidings te erken in enige veldbestuursprogram om oor- en onderbenutting van groot gebiede te voorkom (O'Reagan & Turner 1992, Barnes & Denny 1991).

Die basis vir die studie is gelê deur 'n plant- en bodemkundige kartering van die gebied (skaal 1:50 000) deur 47 Opmetingseskadron en die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys vir terreinbegaanbaarheidsdoeleindes in 1989. Die veldwerk het oor 'n tydperk van bykans ses maande gestrek en het 'n groter gebied na die noorde toe ingesluit. Die veldwerk wat in 1991 uitgevoer is, en oor twee maande gestrek

het, het ten doel gehad om die reaksie van die plantegroei op beweiding vir die breë ekotoopskeidings te bepaal. Dié studie vorm nou ook deel van 'n opvolgstudie, waarvoor veldwerk in 1992 en 1993 uitgevoer is, om die invloed van reënval oor 'n tydperk op veldproduksie, veldbenutting en spesiesamestelling van die kruidstratum vir sommige van die ekotoopskeidings te bepaal. Die uiteindelijke doel is om 'n dinamiese weidingskapasiteitsmodel daar te stel wat die invloed van verskillende ekotipe, reënval en veldtoestand in ag neem. Verder word beoog dat die eindproduk ruimtelike modellering sal wees met antwoorde vir geografiese gebiede.

Resultate van hierdie studie word in Hoofstukke 4, 5, 6 en 7 weergegee in die vorm van konsepartikels vir publikasie in erkende wetenskaplike tydskrifte. Hoofstukke 4 en 5 handel oor die verwantskappe tussen geologie, grond en plantegroei. In Hoofstuk 4 word hierdie onderlinge verwantskappe met behulp van meerveranderlike analisetegnieke vasgestel. Die plantegroei word ook met behulp van hierdie tegnieke in hoof plantegroeitipes geklassifiseer. In Hoofstuk 5 word daar van ruimtelike analyses gebruik gemaak om hierdie verwantskappe geo-ruimtelik vas te stel. Daar word ook verwantskappe getref met SPOT satellietbeelde wat in breë ekologiese eenhede geklassifiseer is. Hoofstuk 6 handel oor plantegroeiveranderings veroorsaak deur beweiding en die invloed van habitat op hierdie veranderings. Hoofstuk 7 handel oor die degradasie van die verskillende plantegroei- en habitattipes soos geïdentifiseer vanaf die SPOT satellietbeelde.

Daar is deelgeneem aan die "Promotional Introductory Campaign for SPOT" (PICS) wat met die ondersteuning van SPOT Image (Toulouse, France), deur die Satelliettoepassingssentrum van die WNNR geloods is. Die resultate verkry uit die PICS projek het die aanvanklike resultate van die studie gekomplimenteer en 'n nuwe perspektief geplaas op die onderwerp. Daar is gevolglik besluit om dié resultate, alhoewel aanvanklik nie deel van die studievoorstel nie, wel te gebruik in die studie. Hierdie resultate is ook tydens 'n PICS internasionale konferensie in 1992 in Pretoria aangebied. Die resultate van ruimtelike analises tussen die plantegroei, geologie en landtipes is aangebied in 'n werkswinkelsessie tydens die 1991 EDIS/SAGIS konferensie in Pretoria.

HOOFSTUK 2

STUDIEGEBIED

2.1 Ligging

Die studiegebied beslaan 1 407 km² en is geleë tussen 24° 00' en 24° 15' Suiderbreedte, en 27° 15' en 27° 45' Oosterlengte (Sien Figuur 1 in Hoofstuk 4).

2.2 Topografie

Die topografie is oor die algemeen gelykliggend vir sewe agtstes van die gebied, met tipiese hellings van 3% en minder (Landtipe Opname Personeel 1988). Die oorblywende gedeelte van die gebied, in die suid-oostelike gedeelte van die gebied, word beslaan deur 'n gedeelte van die Waterberge. Die pieke van die berge in die gedeelte is gemiddeld 1 300 m bo seevlak en ongeveer 300 m bo die res van die gebied. Die Matlabas-, Mamba-, Bulge- en Malmanies-riviere vorm die hoof riviersisteme wat die gebied dreineer. Nie een van die riviere is standhoudend nie.

2.3 Plantegroei

Die gebied kom voor in die Savanne Biom (Rutherford & Westfall 1986). Drie veldtipes (Acocks 1988) word in die gebied aangetref naamlik: Suur Bosveld, Gemengde Bosveld en Dorre Soet Bosveld. Die Suur Bosveld verteenwoordig die plantegroei op die Waterberge in die gebied. Die Gemengde Bosveld word verder in twee hoof

variasies verdeel, wat dan weer verder onderverdeel word in verskeie veldsoorte. Dit is veral geologiese en grondverskille oor kort afstande in die gebied wat veroorsaak dat die Veldtipe baie heterogeen is, en nie volledig beskryf is in Acocks (1988) nie. Die Dorre Soet Bosveld kom veral voor in die westelike deel van die Matlabasriviervallei waar dit veral die Panicum maximum - Acacia karroo Veld verteenwoordig.

Die plantegroei asook assosiasies met grond en geologie word meer volledig beskryf in Hoofstukke 4 en 5.

2.4 Geologie en grond

Die Groep Waterberg maak die grootste deel uit van die geologie in die gebied (Geologiese opname 1974). Die algemeenste gesteentes is sandsteen, veldspatiese sandsteen, sliksteen, skalie, grintsteen en konglomeraat. Graniet en granietgneis van die Kompleks Argeikum kom in 'n klein gebied in die suidwestelike hoek van die gebied voor. 'n Klein deel in die noorde van die gebied word beslaan deur skalie, sandsteen en grintsteen. Diabaasplate, van 'n na Waterbergse ouderdom, beslaan 26% van die gebied se oppervlakte. Alluvium van kwaternêre ouderdom beslaan 7% van die oppervlakte.

Die Landtipe Opname Personeel (1988) het die gebied in dertien landtipes ingedeel wat 'n opvallende mate van eenvormigheid met betrekking tot terreinvorm, grondpatroon en klimaat toon. Die landtipes wat voorkom is die Ad20, Ae249, Ae250, Ah84, Bb92,

Bb97, Bb98, Bd42, Ea150, Ea157, Fa287, Ib306 en Ib307 landtipes. Tabel 2.1 is 'n opsomming van die dominante grondseries vir elke landtipe, gronddieptes en klei-inhoude word ook getoon. Daar is groot verskille in klei-inhoud tussen die landtipes (sien die geweegde gemiddelde klei-inhoud in Tabel 2.1) wat weer 'n invloed op die fisiese en chemiese eienskappe en kenmerke van die gronde het.

Die variasie in geologie veroorsaak dat grondpatrone oor kort afstande groot veranderings toon, wat 'n komplekse mosaïek van plantegroeitipes tot gevolg het.

2.5 Klimaat

Die grootste verskil in reënval in die gebied is tussen die Waterberge en die gelykliggende gebied. Die mediaanreënval van agt waarnemingspunte oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 33 jaar vir die gelykliggende gebied, varieer van 462 mm/jaar tot 548 mm/jaar (Erasmus 1987). Die standaardafwyking varieer van 132 mm/jaar tot 158 mm/jaar. Die mediaanreënval van twee waarnemingspunte oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 52 jaar vir die Waterberge, is 667 mm/jaar en 721 mm/jaar. Die standaardafwyking is onderskeidelik 150 mm/jaar en 181 mm/jaar.

Figuur 2.1 gee die maandelikse reënval van die plaas Grootfontein vir ses seisoene weer, asook die langtermyn mediaan. Dit is die reënvalstasie wat die sentraalste geleë is vir die meeste van die veldtoestandopname persele van 1991. Die wisselvalligheid van

die reënval oor die tydperk is duidelik. Die minimum en maksimum temperature vir die 1990-1991 seisoen toon volgens Figuur 2.2 nie groot afwykings van die langtermyn gemiddeldes nie (Dent et al. 1988, Weerburo 1990 & 1991).

2.6 Infrastruktuur

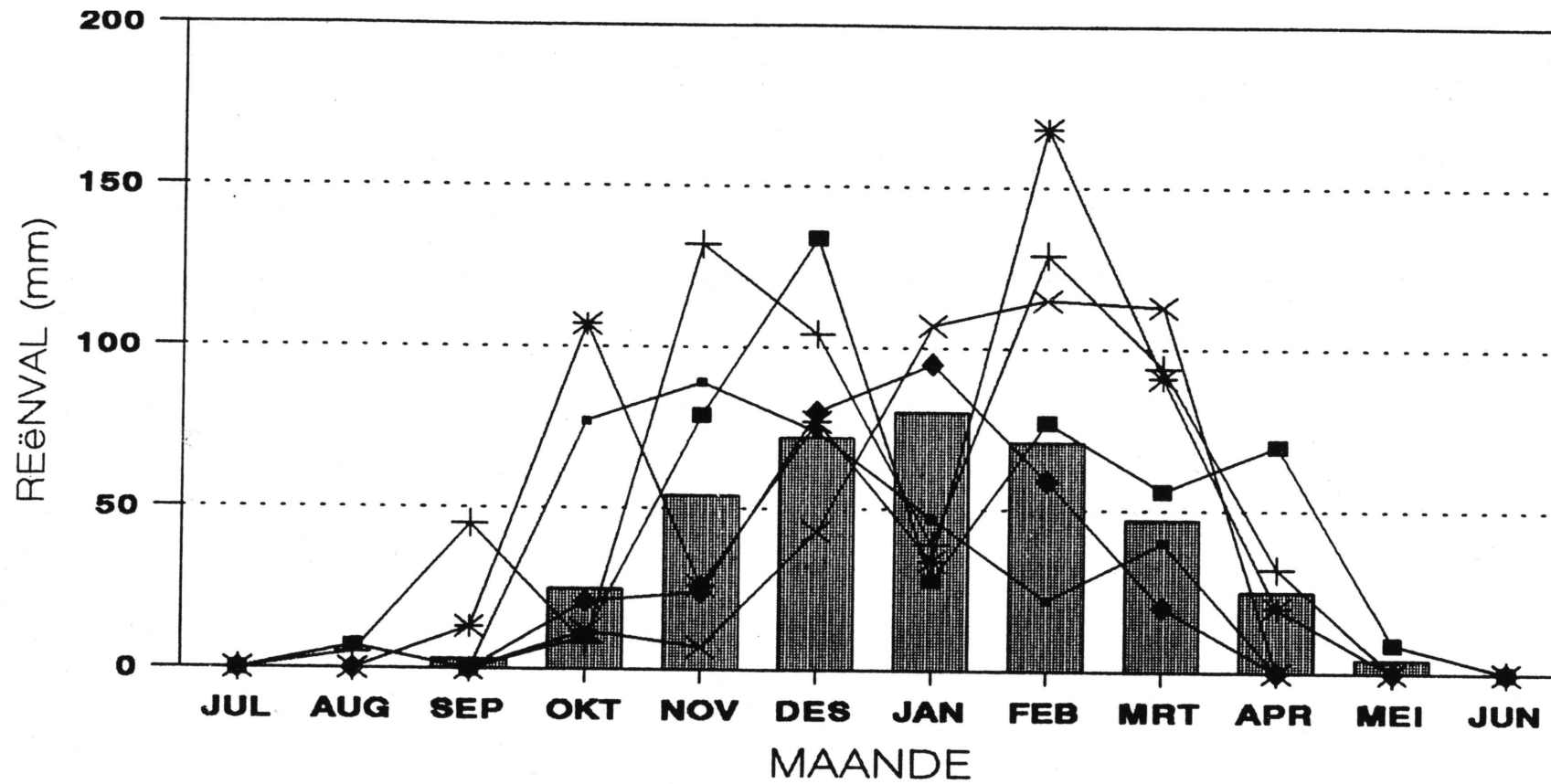
Die Thabazimbi-Ellisrasteerpad deurkruis die gebied in 'n Noord-Suid rigting, asook die Thabazimbi-Grootgeluktreinspoor. Verskeie ander sekondêre grondpaaie en plaaspaaie deurkruis die gebied. Die dorpie Sentrum is een kilometer Suid van die gebied geleë. Matlabas, 'n gewese poskantoor, vulstasie en winkel is ook net buite die studiegebied geleë.

Tabel 2.1 Die dominante grondseries wat die grootste oppervlakte beslaan vir die verskillende landtipes word aangetoon. Die gronddiepte en klei-inhoud (B21-horison, A-horison waar daar geen B-horison is nie) vir die grondseries, asook 'n geweegde gemiddelde klei-inhoud vir die landtipe as geheel word ook aangetoon

Landtipe	Grond-series (simbool)	Oppervlakte beslaan (%)	Grond-diepte (m)	Klei-inhoud (%)	Geweegde gemiddelde klei-inhoud(%)
Ad20	Cv16	20.2	0.6-1.2	15-25	15.0
	Cv15,16	19.7	0.3-0.6	8-22	
	Ms10	10.8	0.1-0.3	6-12	
Ae249	Hu36,37	68.8	>1.2	27-37	28.5
Ae250	Hu36	35.5	0.4-1.0	25-35	26.3
	Hu37	13.7	0.4-1.0	35-45	
	Hu36	13.2	0.4-1.0	15-35	
	Hu36	10.7	1.0-1.2	15-25	
Ah84	Cv32,35	44.5	0.8-1.2	8-15	12.7
	Hu35	18.0	0.6-1.2	10-15	
Bb92	Cv10,13, 20,30	30.2	0.7-1.2	4-10	8.9
	Fw10,11 & Cf10	9.6	0.8-1.2	3-6	
Bb97	Lo31	27.2	0.4-1.0	12-18	12.6
	Av25,35	19.3	0.5-0.9	10-15	
	Cv25,26	13.8	0.4-1.2	8-18	
	Hu25,26	12.5	0.4-0.9	8-18	

Tabel 2.1 Vervolg

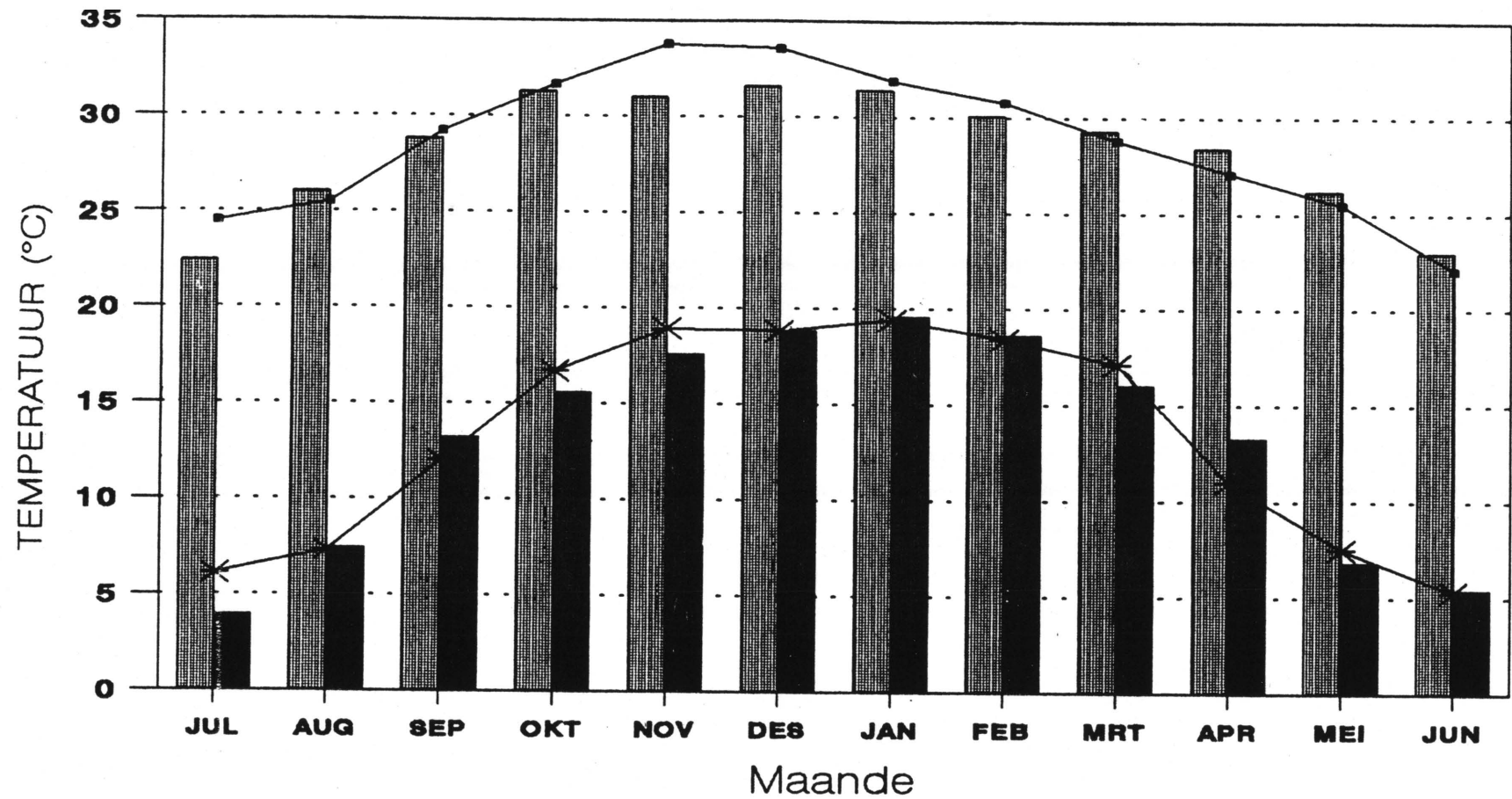
Landtipe	Grond-series (simbool)	Oppervlakte beslaan (%)	Grond- diepte (m)	Klei- inhoud (%)	Geweegde gemiddel- de klei- inhoud (%)
Bb98	Ms10	41.8	0.1-0.3	2-10	7.0
	Cv25	29.7	0.2-0.5	6-10	
	Ms11	10.5	0.1-0.3	2-10	
Bd42	Av36	32.0	0.6-1.0	15-25	18.7
	Lo21,31	17.2	0.6-1.0	15-30	
	Cv36	13.0	0.6-1.2	15-25	
Ea150	Ar40	70.0	1.0-1.2	50-65	57.5
	Ar20	30.0	1.0-1.2	50-65	
Ea157	Sd21,22	39.0	0.4-0.8	35-50	37.2
	Hu37	24.0	0.4-0.8	35-45	
	Ms12	9.8	0.1-0.3	20-35	
	Hu36	9.5	0.4-0.8	25-35	
Fa287	Rots	43.0			15.3
	Hu16,26	14.6	0.4-1.2	15-25	
	Ms10,11	14.6	0.1-0.3	6-10	
Ib306	Rots	69.6			5.4
	Ms10	13.3	0.0-0.2	10-20	
Ib307	Rots	65.0			6.4
	Ms10 & Gs15	13.3	0.0-0.1	6-15	



LEGENDE

- | | | | |
|---------------|---------------|-------------------|---------------|
| —■— 1986-1987 | + 1987-1988 | * 1988-1989 | —■— 1989-1990 |
| —×— 1990-1991 | —◆— 1991-1992 | ■ Mediaan reënval | |

Figure 2.1 Maandelikse reënval oor ses seisoene by die plaas Grootfontein gemeet. Die langtermyn mediaanreënval oor 50 jaar gemeet by Groenvlei laerskool word ook aangetoon.



LEGENDE

—■— 1990-1991 Maks. * 1990-1991 Min. ▨ Langtermyn maks. ■ Langtermyn min.

Figuur 2.2 Gemiddelde maandelikse minimum en maksimum temperature vir die 1990-1991 seisoen, asook die langtermyn minimum en maksimum temperature gemeet by die Ysterpanweerstasie.

HOOFSTUK 3

OORSIG OOR METODES GEVOLG

Die doel is om slegs 'n samevattende oorsig te gee oor die verskillende metodes gevolg in die studie. Dié metodes word volledig in die hoofstukke wat volg weergegee.

Die plantegroei van die studiegebied is deur Van den Berg (1989) en Van den Berg et al. (1989) op 'n skaal van 1:50 000 gekarteer. Die karteringseenhede is vereenvoudig en die studiegebied is in hoof plantegroeitipes ingedeel. In 1991 is 140 opname persele subjektief volgens veldtoestandverskille in die hoof plantegroeitipes uitgeplaas. Om die breë indelings van die plantegroei in hoof plantegroeitipes te bevestig en te verfyn, is verskeie spesiedatastelle van 1988 en 1991 afsonderlik geklassifiseer en georden met behulp van meerveranderlike analisetegnieke (Gauch 1982). Die resultate is hierna met mekaar vergelyk en ekologies geïnterpreteer. Verskeie grondontledingsdatastelle is ook geklassifiseer en georden. Die resultate is statisties, met behulp van die chi-kwadraat toets, vergelyk met dié van die spesiedatastelle. Die doel hiervan is om te bepaal in watter mate die grondontledings se veranderlikes 'n aanduiding gee van die plantegroeitype wat verwag kan word. Die verwantskap van klei-inhoud en ander grondveranderlikes is statisties bepaal met behulp van regressie analises.

SPOT-satellietbeelde is op 'n beeldverwerker versterk met behulp van beeldversterkingstegnieke. Die versterkte beelde is

geklassifiseer in breë ekologiese eenhede. Die geklassifiseerde beelde is in die ruimtelike analise module van 'n geografiese inligtingstelsel (GIS) ingevoer. In die GIS is eenhede op plantegroei-, geologie- en landtipekaarte (Van den Berg 1989, Van den Berg et al. 1989, Geologiese Opname 1974, Landtipe Opname Personeel 1988) saamgevoeg om ook breë ekologiese eenhede te skep. Die geklassifiseerde satellietbeelde, plantegroei-, geologie- en landtipekaarte is met behulp van oppervlakte kruistabelanalises oor mekaar geplaas en onderlinge verwantskappe is bepaal.

Deur middel van multi-kaartanalises is die oppervlakte geografies aangetoon waar daar anomalieë in verwagte verwantskappe voorgekom het. Byvoorbeeld vertisols word geassosieër met alluvium, maar dit word nie verwag dat dit op sandsteen sal voorkom nie. Die oppervlakte wat sulke anomalieë toon, is dan as 'n persentasie van die totale oppervlakte van die studiegebied uitgedruk.

Daar is vier weidingintensiteitgradiënte geïdentifiseer in die studiegebied naamlik, veld in 'n goeie toestand, veld wat lig oorbeweï is, veld wat matig oorbeweï is en veld wat ernstig oorbeweï is. Die 140 persele van 1991 se datastel wat op verskillende weidingintensiteitgradiënte geplaas is, is georden deur van ordeningstegnieke soos Hoofkomponentanalise (PCA), "Reciprocal Averaging" (RA) en "Detrended Correspondence Analysis" (DECORANA) gebruik te maak (Gauch 1982). Die persele van elke hoof ekologiese groep is afsonderlik georden. Daar is net gebruik gemaak van die kruidstratum se spesiesamestelling in

die ordenings. Dié ordenings is geïnterpreteer in terme van 'n weidingintensiteitgradiënt.

Die reaksies van individuele kruidagtige spesies op beweiding is afsonderlik bepaal vir die verskillende hoof ekologiese groepe. Die voorkoms van 'n spesie op die verskillende weidingintensiteitgradiënte is met behulp van "Multiple Box-and-Whisker-Plots" bepaal. Die spesies is hiervolgens in funksionele groepe verdeel (Vorster 1982, Trollope 1990). Die verwantskap tussen basale bedekking en veldtoestand is ook op dieselfde wyse bepaal. Die geneigdheid van die verskillende habitats tot bosverdigting is bepaal.

Weidingverskille is ook op die satellietbeelde geïdentifiseer. Die gebiede om waterpunte en grensdraad-effekte, in die verskillende hoof ekologiese eenhede (soos geklassifiseer op die satellietbeelde), is gebruik om te dien as "training areas" in 'n "onscreen mapping" proses. Die beelde is geklassifiseer en 'n veldtoestandkaart is geskep. Dié kaart is ook in die GIS ingevoer. Deur middel van oppervlakte kruistabelanalises is bepaal watter hoof plantegroei- en habitattipes die meeste oorbeweï word.

HOOFSTUK 4

**DIE TOEPASSING VAN MEERVERANDERLIKE ANALISE-
TEGNIKE OM DIE INVLOED VAN HABITAT OP DIE
VERSPREIDING VAN PLANTEGROEI IN DIE NOORDWES-
TRANSSVAALSE BOSVELD TE BEPAAL.**

H.M. van den Berg *

Transvaalse Landbou-ontwikkelings Instituut, Privaatsak
X180, Pretoria 0001, Republiek van Suid-Afrika

G.J. Bredenkamp en N. van Rooyen

Departement Plantkunde, Universiteit van
Pretoria 0002, Republiek van Suid-Afrika

UITTREKSEL

Drie verskillende datastelle van plantegroei in die noordwes-Transvaalse Bosveld is onderwerp aan DECORANA- en TWINSpan-algoritmes. Die eindresultaat is hoof plantegroeitipes wat ekologies interpreteerbaar is. Die klassifikasie van die verskillende datastelle het ooreenstemmende resultate op die hoër hiërargiese vlakke gelewer. Daar bestaan 'n statisties beduidende korrelasie tussen 'n klassifikasie waar daar net van die grasspesies gebruik gemaak is en 'n klassifikasie waar daar van houtagtige- en grasspesies gebruik gemaak is. 'n Klassifikasie met nege grondveranderlikes het ook 'n statisties beduidende korrelasie getoon met die plantegroei-klassifikasie. Daar is aangetoon dat die verspreiding van plantegroei in die studiegebied bevredigend verklaar kan word deur habitatfaktore, en in die besonder deur die klei-inhoud van die A- en B-

horisonte.

ABSTRACT

Three different data sets of vegetation in the north-western Transvaal were subjected to DECORANA and TWINSpan algorithms. This resulted in major plant communities that are ecologically interpretable. The classifications of the different data sets produced similar results on the higher hierarchical levels. There is a statistically significant correlation between a classification where only grass species were used, and a classification where woody and grass species were used. A classification with nine soil variables shows a statistically significant correlation with the vegetation classification. It is shown that the distribution of vegetation in the study area can be explained satisfactorily in terms of habitat factors, and in particular in terms of the clay content of the A and B horizons.

KEYWORDS: Classification, TWINSpan, ecological units, habitat factors, clay content.

* Gedeelte uit 'n M.Sc.-verhandeling voorgelê deur die eerste outeur aan die Universiteit van Pretoria.

INLEIDING

Verskeie outeurs (Bosch 1971, Morris 1972, Herbst 1973, Coetzee 1974, Van der Meulen 1979, Westfall 1981, Pauw 1988, Van Staden 1992) berig dat daar 'n noue verwantskap tussen habitat en plantegroei in die noordwes-Transvaalse Bosveld bestaan. Dit is dus duidelik dat reënval nie alleen verantwoordelik is vir die variasie in plantegroei nie, maar dat ander habitatfaktore ook 'n belangrike rol speel.

Die studie is primêr uitgevoer om die gebied in veldbestuurseenhede in te deel, asook om die ekologiese status van die grasse oor 'n weidingsgradiënt te bepaal. Om dit egter sinvol te kan doen, is dit nodig om die gebied in relatief homogene eenhede te stratifiseer in terme van habitat en plantegroei, asook om die onderlinge verwantskappe te bepaal. Floristiese data is met behulp van meerveranderlike analisetegnieke georden en geklassifiseer. Die resultate is daarna ekologies geïnterpreteer deur plantegroei-eenhede met omgewingsveranderlikes te assosieer. Meerveranderlike analises is ook toegepas op kwantitatiewe en semi-kwantitatiewe floristiese data wat versamel is deur 47 Opmetingseskadron - Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys (Van den Berg 1989). Die resultate van die verskillende klassifikasies is met mekaar vergelyk.

STUDIEGEBIED

Die studiegebied beslaan 1 407 km² en is geleë tussen 24° 00' en 24° 15' Suiderbreedte, en 27° 15' en 27° 45' Oosterlengte (Figuur 1). Drie veldtipes (Acocks 1988) word in die gebied verteenwoordig naamlik: Suurbosveld, Gemengde Bosveld en Dorre Soetbosveld. Die suidoostelike gedeelte van die gebied word beslaan deur 'n gedeelte van die Waterberge, terwyl die oorblywende gedeelte gelykliggend is. Die Matlabas-, Mamba-, Bulge- en Malmaniesriviere vorm die hoof riviersisteme wat die gebied dreineer.

Die grootste verskil in reënval in die gebied is tussen die Waterberge en die vlakke gebied. Die mediaanreënval van agt waarnemingspunte oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 33 jaar, vir die vlakke gebied varieer van 462 mm/jaar tot 548 mm/jaar (Erasmus 1987). Die standaardafwyking varieer van 132 mm/jaar tot 158 mm/jaar. Die mediaanreënval, van twee waarnemingspunte oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 52 jaar, vir die Waterberge is 667 mm/jaar en 721 mm/jaar. Die standaardafwyking is onderskeidelik 150 mm/jaar en 181 mm/jaar.

METODES

Data van 83 persele (1991-opname) is gebruik. Grondmonsters van die A-horison van 78 persele is deur die Instituut vir Grond Klimaat en Water (Privaatsak X79, Pretoria, 0001) ontleed vir

klei-inhoud, uitruilbare katione, fosfaatstatus, pH (water), elektriese weerstand en katioonuitruilkapasiteit (KUK). Die gras- en kruidstratum is gemonster met behulp van 200 (Mentis et al. 1980, Hardy & Walker 1991) naaste punt-opnames (Tidmarsh & Havenga 1952, Mentis 1981). Vir die houtagtige spesies is die persentasie kroonbedekking beraam volgens Edwards (1983). Die grasspesiedata is eers afsonderlik geklassifiseer en georden. Daarna is die gras- en houtagtige spesiedata saam geklassifiseer en georden.

Die data is geklassifiseer met behulp van "Two-way Indicator Species Analysis" (TWINSpan) (Hill 1979a). Die ordeningstegniek wat gebruik is, is "Detrended Correspondence Analysis" (DECORANA) (Hill 1979b).

Twee datastelle wat in 1989 deur 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys opgeneem is (Van den Berg 1989, Van den Berg et al. 1989), is op dieselfde wyse geklassifiseer en georden. Een datastel bevat 29 persele wat uit "Point-Centered Quarter"-data (PCQ-data) bestaan (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). Dié datastel kan in twee verdere subdatastelle gedeel word: Een wat bestaan uit digtheid (getalsterkte) en een wat uit persentasie kroonbedekking van bome en struie bestaan. Die twee subdatastelle het min of meer dieselfde resultate gelewer en net die subdatastel wat uit bedekkingswaardes bestaan is gebruik vir verdere vergelykings. Die ander datastel bestaan uit 82 persele met semi-kwantitatiewe spesiedata data van bome, struie en grasse genoteer as dominant

ko-dominant, subdominant en teenwoordig. Dominansie is bepaal volgens Edwards (1983). Vir klassifikasie- en ordenings doeleindes is alle dominante spesies 20-voudig beswaar. Ko- en sub-dominante spesies is gesamentlik 20-voudig beswaar teenoor spesies wat slegs as teenwoordig genoteer is.

Die 78 grondmonsters is geklassifiseer en georden deur gebruik te maak van nege grondveranderlikes. Die klei-inhoud is daarna as veranderlike uitgelaat en die analise is herhaal. 'n Meervoudige regressie-analise asook eenvoudige regressies is ook op die nege grondveranderlikes uitgevoer. Die klei-inhoud is as die afhanklike veranderlike geneem en die invloed van die ander veranderlikes daarop is bepaal. Van die landtipe-opname (Landtipe-opnamepersoneel 1988) is sestion profielgate ook georden deur gebruik te maak van uitruilbare katione en mikro-elemente (kobalt, koper, boor, mangaan en sink) van die A- en B21-horisonte as veranderlikes. Die korrelasie van mikro-elemente met klei-inhoud is deur middel van eenvoudige regressie-analises bepaal.

RESULTATE EN BESPREKING

Die resultaat van die TWINSPAN-klassifikasie van 1991 se datastel van 83 persele word getoon in Figuur 2. Daar is sewe groeperings op die derde delingsvlak en 'n groepering op die sesde delingsvlak wat ekologies interpreteerbaar is. Hoofindeling 2.2 beklee dieselfde ekologiese posisie op deelvlak ses as

2001363

hoofindeling 2.1 en word daarmee saam as Fynblaarplantegroei geklassifiseer.

In die algemeen kan die plantegroei van die gebied as 'n savanne beskou word (Tainton 1984), en val in die Savannebloom van Rutherford en Westfall (1989). Vyf duidelik onderskeibare hoof plantegroeitipes of ekologiese groepe kon uit die hiërargiese klassifikasie geïdentifiseer word (Figuur 2). In die algemeen kan die verdeling op die eerste deelvlak van die klassifikasie beskou word as 'n skeiding van persele wat op gronde met 'n klei-inhoud (A-horison) van 15% en hoër voorkom, en persele wat op gronde met 'n klei-inhoud van laer as 15% voorkom.

Die volgende hoof plantegroeitipes is op die hoër hiërargiese vlakke van die klassifikasie geïdentifiseer:

1. Vertisolplantegroei
2. Fynblaarplantegroei
3. Gemengde plantegroei
4. Breëblaarplantegroei
 - 4.1. Breëblaarplantegroei A
 - 4.2. Breëblaarplantegroei B
5. Bergplantegroei

Dié hoof plantegroeitipes is ook duidelik onderskeibaar in die spreidiagram van DECORANA-ordening (1991-datastel) soos aangetoon in Figuur 3. Hier is daar 'n duidelike skeiding van die Breëblaarplantegroei-persele in twee groepe; hierna genoem

Breëblaarplantegroei A en Breëblaarplantegroei B. Dié skeiding word ook deur die TWINSpan-klassifikasie weer gegee (kyk 4.1 en 4.2 in Figuur 2).

Beskrywing van die hoof plantegroeitipes

1. VERTISOLPLANTEGROEI

Die plantegroei kan verder onderverdeel word in 'n Acacia tenuispina Struikveld (sien 1.1 in Figuur 2) en 'n Boomveld wat deur ander Acacia spesies en Grewia flava gedomineer word (sien 1.2 in Figuur 2). Brachiaria eruciformis, 'n eenjarige grasspesie, is 'n diagnostiese spesie vir dié plantegroeitipe. Die plantegroeitipe is beperk tot vertisols van die Rensburg- en Arcadiagrondvorme (MacVicar *et al.* 1977). Die gronde kom voor op vloedvlaktes en laagliggende gebiede.

1.1 Die Acacia tenuispina Struikveld word gekenmerk deur Acacia tenuispina as die belangrikste houtagtige spesie wat 'n Mediumhoë Oop tot Geslote Struikveld (Edwards 1983) vorm. Acacia tortilis en Acacia mellifera is ander houtagtige spesies wat voorkom. Differensiërende grasspesies is Ischaemum afrum, Sorghum versicolor, Dichanthium annulatum en Aristida bipartita. Ander spesies wat voorkom is Cenchrus ciliaris, Digitaria eriantha en Urochloa panicoides.

1.2 Die belangrikste houtagtige spesies van die Acacia en Grewia flava Boomveld is Acacia nigrescens, Acacia mellifera, Acacia

tortilis en Grewia flava. Die struktuur is 'n Kort Oop tot -Yl Boomveld. Acacia mellifera vorm soms 'n Hoë Geslote Struikveld. Die afwesigheid van Acacia tenuispina, Dichantium annulatum, Ischaemum afrum en Aristida bipartita differensieer die Acacia en Grewia flava Boomveld van die Acacia tenuispina Struikveld. Ander grasspesies wat voorkom is Digitaria eriantha, Urochloa panicoides en Cenchrus ciliaris.

2. FYNBLAARPLANTEGROEI

Verskeie variasies kom in die plantegroeitipe voor en dit kan in verskeie kleiner gemeenskappe onderverdeel word (vergelyk Bosch 1971, Morris 1972, Herbst 1973, Coetzee 1974, Van der Meulen 1979, Timberlake 1980). In die geheel word die plantegroeitipe gedomineer deur Acacia spesies, terwyl Grewia flava 'n groot deel van die struikkomponent verteenwoordig. Die belangrikste houtagtige spesies is Acacia spesies soos Acacia nigrescens, Acacia erubescens, Acacia tortilis en Acacia mellifera wat die xerofitiese fynblaarkomponent (Van der Meulen 1979) vorm, en kenmerkend is van die tipe plantegroei. Grewia flava, Dichrostachys cinerea en Acacia spesies vorm die struiklaag. Algemene grasspesies is Schmidtia pappophoroides, Eragrostis rigidior, Digitaria eriantha, Panicum coloratum, Heteropogon contortus, Urochloa mosambicensis, Urochloa panicoides en Bothriochloa radicans.

Die struktuur van die plantegroeitipe wissel van 'n Kort tot Mediumhoë Oop- tot Geslote Boomveld. Bosverdigting lei soms tot

bosvelde en ruigtes. Dit kom op laerliggende gebiede en op geologiese gesteentes voor wat aanleiding gee tot gronde met 'n relatiewe hoër klei-inhoud en 'n hoë basisversadiging. Meer xerofitiese spesies soos Acacia spesies domineer op dié gronde (Van der Meulen 1979) en is 'n aanduiding dat die gronde fisiologies droër is as die sandgronde (Hillel 1980).

3. GEMENGDE PLANTEGROEI

Die plantegroeitipe bestaan uit 'n kompleks van Breëblaar- en Fynblaarplantegroei, waar Acacia spesies en Combretum apiculatum ko-dominant is. Differensiërende houtagtige spesies vir die plantegroeitipe is Combretum apiculatum, Acacia nigrescens en Acacia erubescens. Ander belangrike houtagtige spesies is Grewia flava, Grewia monticola en Dichrostachys cinerea. Belangrike grasspesies is Schmidtia pappophoroides, Heteropogon contortus, Brachiaria nigropedata, Panicum coloratum, Enneapogon scoparius, Eragrostis rigidior en Digitaria eriantha.

Die struktuur is dieselfde as vir die Fynblaarplantegroei. Die plantegroeitipe kom op 'n habitat voor wat 'n intermediêre posisie beklee tussen dié van die Fynblaarplantegroei en die Breëblaarplantegroei (Figuur 2). Kyk ook die ruimtelike posisie van dié plantegroeitipe in Figuur 3. Die plantegroeitipe word egter eers volledig op die sesde deelvlak van die Fynblaarplantegroei geskei.

4. BREEBLAARPLANTEGROEI

4.1. Breëblaarplantegroei A

Differensiërende spesies is Terminalia sericea, Burkea africana, Eragrostis pallens en Aristida stipitata. Ander spesies wat algemeen voorkom is Peltophorum africanum, Combretum zeyheri, Ochna pulchra, Lannea discolor, Combretum apiculatum, Panicum maximum, Digitaria eriantha, Perotis patens en Melinis repens.

Die plantegroeitipe bestaan uit 'n Kort Oop- tot Geslote Boomveld en kom op sandgronde voor wat meer geloog is, en 'n laer klei-inhoud en pH het as in die geval van die Breëblaarplantegroei B. Die plantegroeitipe kom tipies voor in die valleie van die Waterberge in die studiegebied.

4.1. Breëblaarplantegroei B

Differensiërende spesies is Combretum apiculatum, Pterocarpus rotundifolius, Aristida stipitata, Schmidtia pappophoroides, Panicum maximum, Aristida canescens en Aristida congesta subsp congesta. 'n Terminalia sericea-Combretum apiculatum gemeenskap word op die sesde deelvlak onderskei met Terminalia sericea, Combretum apiculatum, Eragrostis pallens en Perotis patens as differensiërende spesies. Ander spesies wat algemeen in die plantegroeitipe voorkom is Peltophorum africanum, Brachiaria nigropedata, Digitaria eriantha, Grewia monticola, Stipagrostis uniplumis, Perotis patens, Dichrostachys cinerea, Eragrostis

rigidior en Sclerocarya birrea.

Die plantegroeitipe bestaan uit 'n Kort Oop- tot Geslote Boomveld, en kom gewoonlik op effens hoër liggende bulte met sanderige gronde voor wat hoofsaaklik uit sandsteen gevorm is. Die gronde besit 'n relatiewe lae klei-inhoud, basisstatus en pH (Figuur 2).

5. BERGPLANTEGROEI

Die plantegroeitipe kom gewoonlik as 'n Kort Oop Boomveld op kliprantjies, klipperige dele en op die Waterberge in die studiegebied voor. Die gemeenskap is relatief homogeen met min variasies, en omsluit nie die groot verskeidenheid van gemeenskappe soos gevind deur Westfall (1981) in 'n ander gedeelte van die Waterberge nie.

Diagnostiese spesies is Diplorhynchus condylocarpon, Pseudolachnostylis maprouneifolia, Enneapogon pretoriensis, Chrysopogon serrulatus, Loudetia flavida, Setaria lindenbergiana, Brachiaria serrata en Croton gratissimus. Ander spesies wat voorkom is, Pterocarpus rotundifolius, Combretum molle, Maytenus tenuispina, Digitaria eriantha, Lannea discolor, Ximenia caffra en Rhoicissus revoilii.

Vergelyking van die TWINSpan-klassifikasies van verskillende datastelle

Die TWINSpan-klassifikasie van die twee datastelle van 1989 het soortgelyke klassifikasies gelever as dié klassifikasie van 1991 se datastel. Die klassifikasies van al drie datastelle het op die eerste deelvlak van die klassifikasies dieselfde resultate gelever.

In die geval van die TWINSpan-klassifikasie van die semi-kwantitatiewe datastel van 1989 is 78% van die persele geskei volgens persele met 'n klei-inhoud van bo en onder 15%. Die vooraf subjektiewe klassifikasie van die persele in die hoofplantgroeitipes (Van den Berg 1989, Van den Berg et al. 1989) is ook amper sonder uitsondering geskei in Fynblaar- en Gemengde plantegroei aan die een kant en Breëblaar- en Bergplantegroei aan die anderkant, op die eerste deelvlak van die TWINSpan-klassifikasie.

Tot op die derde deelvlak stem al drie TWINSpan-klassifikasies redelik ooreen, terwyl enkele groeperings tot op die sesde deelvlakke van die klassifikasies ook ekologies interpreteerbaar is. Groter en floristies meer volledige datastelle is egter nodig om die kleiner groeperings te karakteriseer. Dit blyk uit veral die klassifikasie van die semi-kwantitatiewe datastel dat daar moontlik 'n verdere plantgemeenskap onder die Fynblaarplantegroei geïdentifiseer kan word. Dit verteenwoordig 'n gemeenskap wat op kalkryke gronde voorkom met differensiërende ,

houtagtige spesies soos Acacia tortilis, Acacia luederitzii en Acacia mellifera. Dit behoort ook moontlik te wees om, met groter en vollediger datastelle, tussen Fynblaarplantegroei wat voorkom op diabaas en skalie te onderskei.

Vergelyking van twee TWINSpan-klassifikasies van dieselfde datastel

Om te bepaal hoe habitatspesifiek grasspesies is, is net die grasspesiedata van die 1991 datastel gebruik in 'n TWINSpan-klassifikasie. Dit is vergelyk met die klassifikasie waar houtagtige- en grasspesies gebruik is. Die volledige klassifikasies tot op die sesde deelvлакke word getoon in Figure 4 en 5. Die korrelasie tussen die twee klassifikasies is statisties bepaal deur gebruik te maak van die chi-kwadraat toets soos beskryf deur Bailey (1974) en toegepas deur Bredenkamp *et al.* (1991). Die beduidendheid van die chi-kwadraat toets is volgens die statistiese tabelle van Fisher & Yates (1963) bepaal.

Op die sesde deelvлакke het die twee klassifikasies onderskeidelik 20 en 24 klasse (Figure 4 en 5). Die klasse is gegroepeer in die ses hoof plantegroeitipes en word onderskeidelik in die twee klassifikasies genommer van 1A tot 1F, en van 2A tot 2F. Die korrelasie-matriks van die twee klassifikasies word getoon in Tabel 1. 71.1% van die persele met net grasdata is geklassifiseer volgens die hoof plantegroeitipes van die volledige klassifikasie. Die twee klassifikasies is beduidend gekorreleer by $p=0.001$. Die berekende χ^2 as 'n

persentasie uitgedruk van die berekende χ^2 vir 'n perfekte korrelasie is 56.3%.

Dit is duidelik dat uit slegs die grasspesiedata alleen 'n klassifikasie verkry kan word wat ekologies interpreteerbaar is. Dieselfde geld vir waar daar net van die houtagtige spesies gebruik gemaak word soos ook duidelik geblyk het uit die klassifikasie van die PCQ-datastel (resultate word nie hier weergegee nie). Dit is egter wenslik om alle spesies in 'n plantegroei-klassifikasie te gebruik (Bredenkamp *et al.* 1991, Van Staden 1992). Dit is aangetoon deur Bredenkamp *et al.* (1982) dat die Braun-Blanquet analise (Westhoff & Van der Maarel 1978) van die totale floristiese samestelling ekologiese interpreteerbare klasse tot gevolg het. 'n TWINSpan-klassifikasie lewer egter 'n baie goeie basiese klassifikasie wat verfyn kan word deur die toepassing van Braun-Blanquetprosedures (Bredenkamp *et al.* 1991).

Vergelyking tussen 'n TWINSpan-klassifikasie van persele volgens grondveranderlikes en die TWINSpan-klassifikasie van persele volgens houtagtige- en grasspesies

Om te toets of dit moontlik is om die persele slegs op grond van grond- of habitatveranderlikes te klassifiseer wat vergelykbaar is met die plantegroei-klassifikasie, is 'n TWINSpan-klassifikasie met hierdie veranderlikes uitgevoer. Die veranderlikes wat gebruik is, is klei-inhoud, fosfaatstatus, pH (water), elektriese weerstand, uitruilbare katione (Ca, Mg, Na & K) en kationuitruilkapasiteit. Van die 78 grondmonsters wat in

klassifikasie gebruik is, is net 62 grondmonsters geneem by persele wat in die plantegroeklassifikasie gebruik is. Net dié 62 persele is in die korrelasie gebruik. Die Bergplantegroei-tipe is ook uitgelaat, omdat daar geen grondmonster geneem is nie. Die plantegroeklassifikasie bestaan dus nou uit vier klasse naamlik 1A, 1B, 1C en 1D, wat onderskeidelik Vertisol-, Fynblaar, Gemengde- en Breëblaarplantegroeitipes verteenwoordig. Die grondveranderlikes-klassifikasie is ook in vier klasse gegroepeer. Die klasse wat onderskei is, word soos volg verteenwoordig:

2A. Bestaan uit vertisols.

2B. Gronde met 'n klei-inhoud van gemiddeld 25% en hoër.

Die moeder materiaal is gewoonlik diabaas en soms skalie en alluvium.

2C. Gronde met 'n klei-inhoud van 10 tot 25%. Die moeder-materiaal is gewoonlik diabaas en skalie, soms sandsteen.

2D. Gronde met 'n klei-inhoud van minder as 15%. Die moeder-materiaal is sandsteen.

Die korrelasie-matriks van die twee klassifikasies word getoon in tabel 2. Uit 62 persele is 67,7% ooreenstemmend geklassifiseer. Die twee klassifikasies korreleer beduidend by $p=0.001$. Die berekende χ^2 as 'n persentasie uitgedruk van die berekende χ^2 is 41,6%.

Die DECORANA-ordening van die grondveranderlike datastel word getoon in Figuur 6. Die verspreiding van die persele langs die eerste as kan volgens 'n kleigradiënt verklaar word. Ongeveer

dieselfde resultate word verkry as die klei-inhoud as veranderlike uit die analise gelaat word. Die ordening van die die landtipe-opname profielgate het soortgelyke resultate opgelewer.

Die verwantskappe tussen klei-inhoud en ander grondveranderlikes

Die resultate van die eenvoudige regressies word in Tabel 3 getoon (Die grondveranderlikes is telkens van die A-horison). Die korrelasiekoëffisiënt (r) toon dat al die veranderlikes behalwe fosfaatstatus, sink en koper ko-varieer met klei-inhoud. Volgens die berekende F -waarde van die meervoudige regressie-analise, toon die onafhanklike veranderlikes gesamentlik 'n beduidende verband met klei-inhoud by $p=0.001$.

Dit is dus duidelik uit die resultate dat enige van die grondveranderlikes wat beduidend ko-varieer met klei-inhoud ongeveer dieselfde resultate sou lewer as dit gepas word op die meerveranderlike analyses van die spesiedata. Dit is egter nie net die chemiese eienskappe wat verband hou met die klei-inhoud nie, maar ook fisiese kenmerke en eienskappe soos waterretensie, beweging van water deur die grond, korsvorming en die invloed van kleimineralen (Hillel 1980).

Ander geïdentifiseerde habitatfaktore – behalwe klei-inhoud – wat ook 'n belangrike rol in die verspreiding van plantgemeenskappe in die studiegebied speel, is geologie, topografiese posisie, helling, aspek, gronddiepte, onderliggende materiaal en

dreinerings. Klei-inhoud is egter in die meeste gevalle 'n gevolg van dié faktore (Harmse 1983).

Baie ander faktore speel ook 'n rol in die tipe plantegroei van die studiegebied soos reënval, temperatuur, brande, veldbestuur en ander dierkundige invloede. Nie een van dié faktore lewer egter 'n bevredigende verklaring vir die spesifieke verspreiding van plantegroeitipes binne die studiegebied nie, terwyl die variasie in habitat dit wel doen.

GEVOLGTREKKING

In 'n publikasie wat in voorbereiding is (Van den Berg et al. 1993) is die verspreiding van plantegroei geo-ruimtelik met geologie en landtipes gekorreleer en stem ooreen met die resultate van dié studie.

Dit is aangetoon dat plantegroei-verspreiding sinvol in terme van habitat verklaar kan word. Grondtekstuur (meer spesifiek klei-inhoud) is gevind om een van die belangrikste faktore te wees wat die verspreiding van plantegroei, oor kort afstande, in die gebied beïnvloed. Klei-inhoud word weerspieël in die fisiese- en chemiese eienskappe en kenmerke van die grond en is 'n gevolg van die moedermateriaal (geologie). Dit stem ooreen met Van Staden (1992) se bevinding dat effektiewe gronddiepte, wat volgens hom 'n funksie is van grondtekstuur, gemiddelde jaarlikse reënval en helling, gemeenskappe se samestelling en geografiese verspreiding

in die Steenbokpan omgewing verklaar. In dié studie is daar egter gevind dat reënvalverskille nie die verspreiding van die plantegroei, soos waargeneem op 'n skaal van 1:50 000, verklaar nie (die Waterberge uitgesluit).

Dit is moontlik om plantegroei klassifikasies van verskillende datastelle en formate met behulp van 'n TWINSPAN-algoritme te verkry wat vergelykbaar is, en wat ekologies interpreteerbaar is.

Slegs die hoofvariasie in die plantegroei is geklassifiseer. Vir 'n volledige plantegroei klassifikasie is dit belangrik om van die totale floristiese samestelling gebruik te maak. Plantegroei bestuursklasse kan gekies word op enige geskikte vlak in die hiërargiese sisteem (Bredenkamp & Theron 1976).

Dit is dus moontlik om te voorspel watter potensiële plantegroei tipes op watter habitat mag voorkom. Die moontlikheid bestaan dus om met behulp van modelle, uit habitat- en klimaatveranderlikes, potensiële veldproduksie te simuleer.

ERKENNING

47 Opmetingseskadron en die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys word bedank vir die toestemming verleen vir die gebruik van plantegroei- en bodemkundige data wat versamel is gedurende 'n karteringsaksie in 1989.

Bates Booyens en Hannes Pretorius van die Transvaal Landbou-ontwikkelings Instituut word bedank vir die hulp wat tydens die veldwerk in 1991 verleen is.

VERWYSINGS

ACOCKS J.P.H. 1988. Veld types of South Africa. 3rd edition. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 57: 1-146. Government Printer, Pretoria.

BAILEY N.T.F. 1974. Statistical Methods in Biology. Lion Library, London.

BOSCH O.J.H. 1971. Plantekologiese bodemkundige studies in die laer Krokodilriviervallei. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

BREDENKAMP G.J. 1982. A Plant Ecological Study of the Manyeleti Game Reserve. D.Sc. thesis, University of Pretoria.

BREDENKAMP G.J. & THERON G.K. 1976. Vegetation units for management of the grasslands of the Suikerbosrand Nature Reserve. S. Afr. J. Wild. Res 6(2): 113-122.

BREDENKAMP G.J., BEZUIDENHOUT H., BOSCH O.J.H. & JANSE VAN RENSBURG F.P. 1991. A Comparison of vegetation classifications from wheel point and total floristic data sets from a South

African Grassland. Bot. Bul. Academia Sinica. 32: 187-195.

COETZEE J.J. 1971. Die landboupotensiaal van die Noordwes-Transvaalse soetbosveld. D.Sc.-proefskrif, Universiteit Pretoria.

EDWARDS D. 1983. A broad-scale structural classification of vegetation for practical purposes. Bothalia 14: 705-712.

ERASMUS J. F. 1987. Rainfall deciles for Transvaal Region. SIRI Report No. GB/A/87/18. Soils and Irrigation Research Institute, Pretoria.

FISHER R.A. & YATES F. 1963. Statistical tables for Biological, Agricultural and Medicine Research. Longmans, London.

HARDY M.B. & WALKER R.S. 1991. Determining sample size for assessing species composition in grassland. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 70-73.

HARMSE H.J. von M. 1983. Inleiding tot Bodemkunde - Deel 1. Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

HERBST M.J. 1973. 'n Ekologiese ondersoek van die plantgemeenskappe tussen die Krokodil- en Matlabasrivier. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

HILL M.O. 1979a. TWINSpan - a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Dept. of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York.

HILL M.O. 1979b. DECORANA - a Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Dept. of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York.

HILLEL D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic press, New York.

LANDTIPE-OPNAMEPERSONEEL 1988. Landtipes van die kaarte 2426 Thabazimbi en 2428 Nylstroom. Mem. nat. Landbouhulpbr. Nr. 10. Departement van Landbou en Watervoorsiening.

MACVICAR C.N., LOXTON R.F., LAMBERECHTS J.J.N., LE ROUX J., DE VILLIERS J.M., VERSTER E., MERRYWEATHER F.R., VAN ROOYEN T.H. & HARMSE H.J. VON M. 1977. Grondklassifikasie, 'n binonmiese sisteem vir Suid-Afrika. Pretoria: Staatsdrukker.

MENTIS M.T. 1981. Evaluation of the wheel-point and step-point methods of veld condition assessment. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 16: 89-94.

MENTIS M.T., COLLINSON R.F.H. & WRIGHT M.G. 1980. The precision of assessing components of the condition of moist tall grassveld. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 15: 43-46.

MORRIS P.P.J. 1972. 'n Ekologiese ondersoek van die samestelling en struktuur van die soetbosveld. Met spesiale aandag aan die invloed van edafiese faktore op die verspreiding van houtagtige spesies. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

MUELLER-DOMBOIS D. ELLENBERG H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York, Wiley & Sons.

PAUW J.C. 1988. Riglyne vir die bestuur van die natuurlewe in die bosveldgemeenskappe van die Atherstone natuurreservaat in die noordwes-Transvaal. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

RUTHERFORD M.C. & WESTFALL R.H. 1986. Biomes of southern Africa - an objective categorization. Mem. Bot. Surv. S. A. 54. Government Printer, Pretoria.

TAINTON N.M. 1981. Veld and Pasture Management in South Africa. Shuter & Shuter, Pietermaritzburg.

TIDMARSH C.E.M. & HAVENGA C.M. 1955. The wheel point method of survey and measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 29: 1-4.

TIMBERLAKE J.R. 1980. Vegetation map of South Eastern Botswana. Division of land utilization. Department of field services.

Ministry of agriculture, Gabarone.

VAN DEN BERG H.M. 1989. Ongepubliseerde Bulgerivier-plantegroekaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M., BEUKES B.H., BREDENKAMP G.J., VAN ROOYEN N., PRETORIUS D.J. & KRUGER J.A. 1993. The use of remote sensing in a GIS spatial database to identify and quantify vegetation-habitat relationships. In voorbereiding, M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

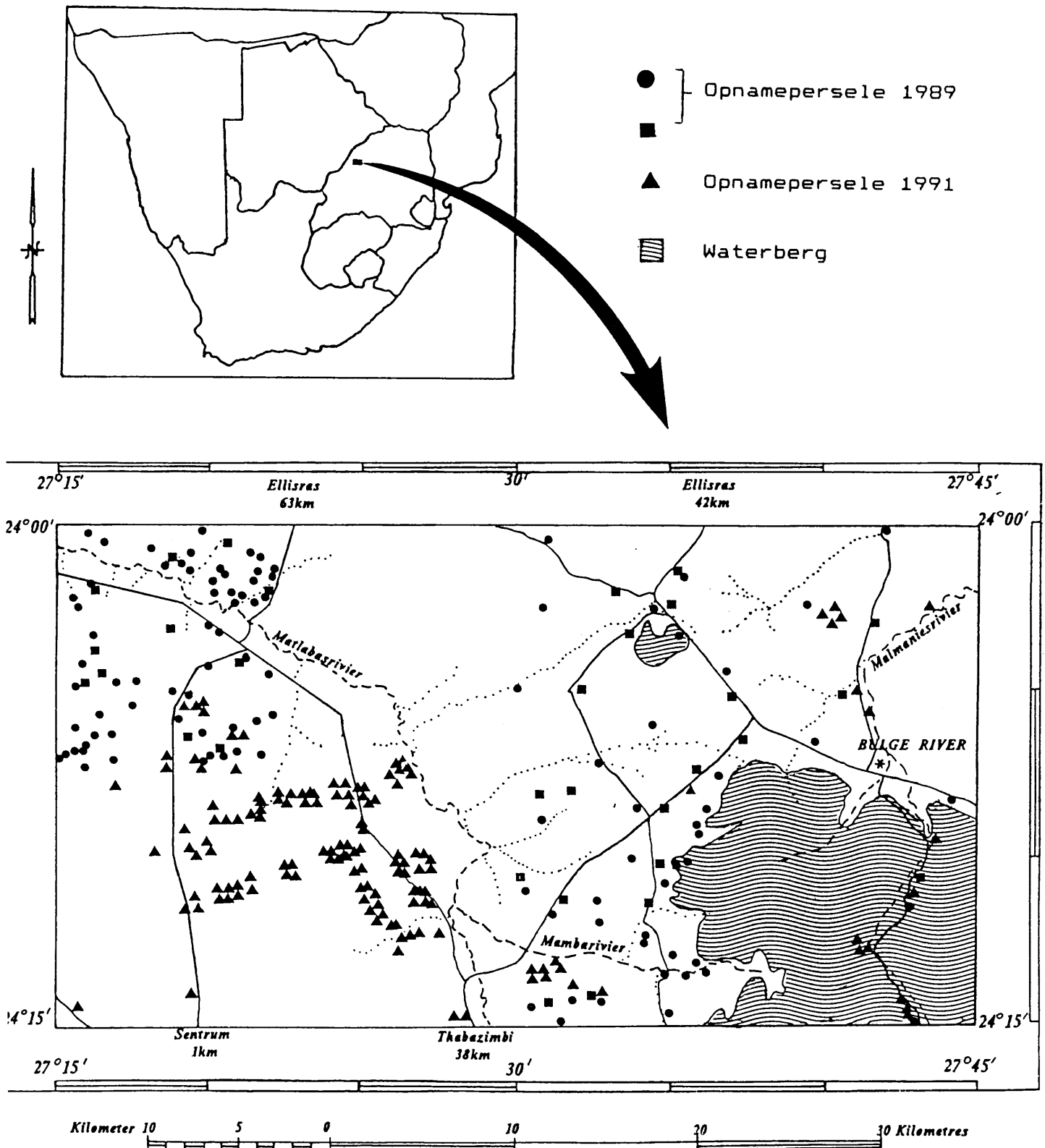
VAN DEN BERG H.M., COUSINS R.R., GERBER J.J., VOS J.E. 1989. Ongepubliseerde Rooibosbult-plantegroekaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DER MEULEN F. 1979. Plant sociology of the western Transvaal Bushveld, South Africa. A syntaxonomic and synecological study. Vaduz, Cramer.

VAN STADEN J.M. 1992. Die fitososiologie van die Steenbokpan omgewing in die noordwes-Transvaal. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

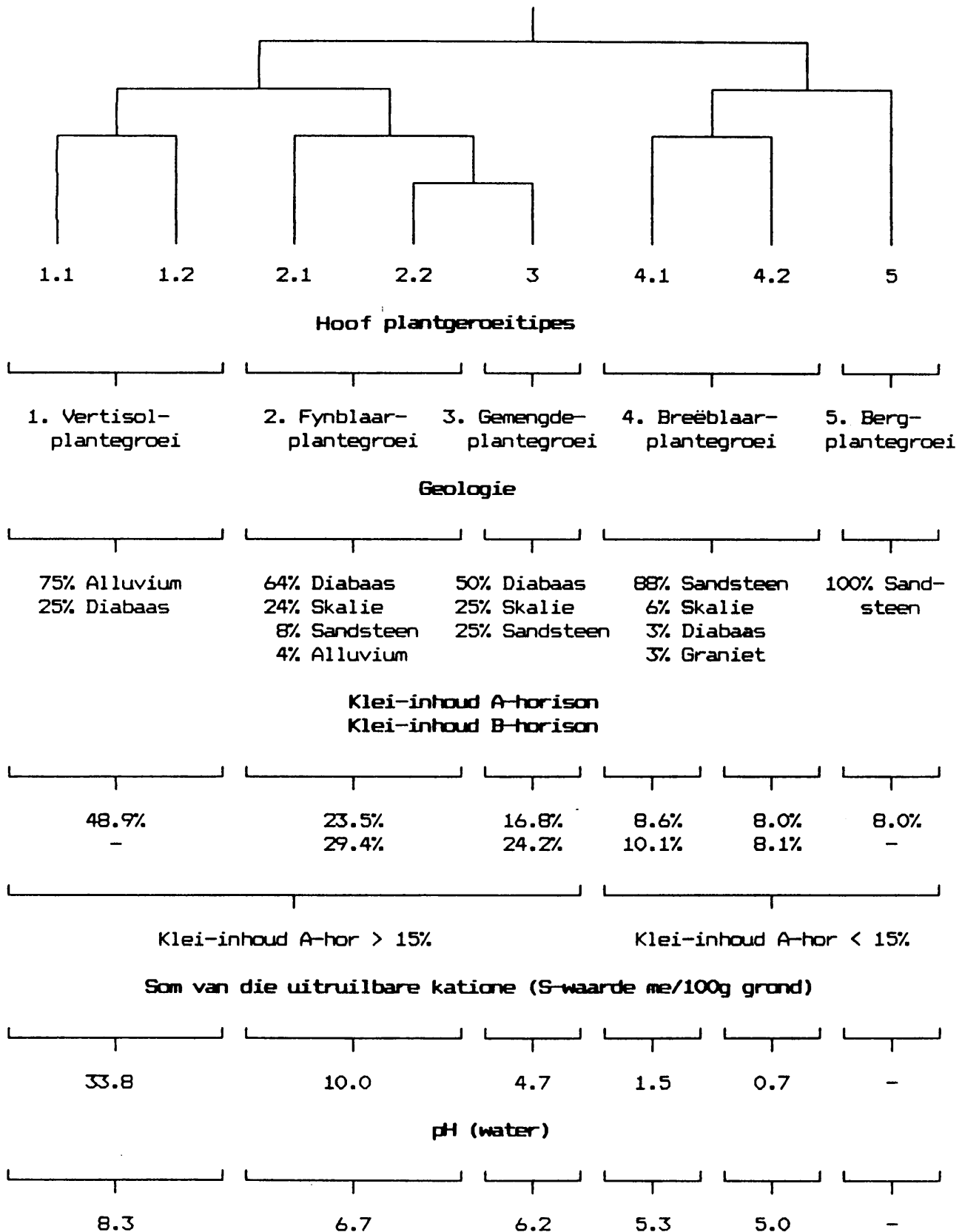
WESTFALL R.H. 1981. The plant ecology of the farm Groothoek, Thabazimbi district. M. Sc. thesis, University of Pretoria.

WESTHOFF V. & VAN DER MAAREL E. 1978. The Braun-Blanquet approach. In: Handbook of vegetation science, ed. Whittaker R. H., pp. 287-399, W. Junk, The Hague.

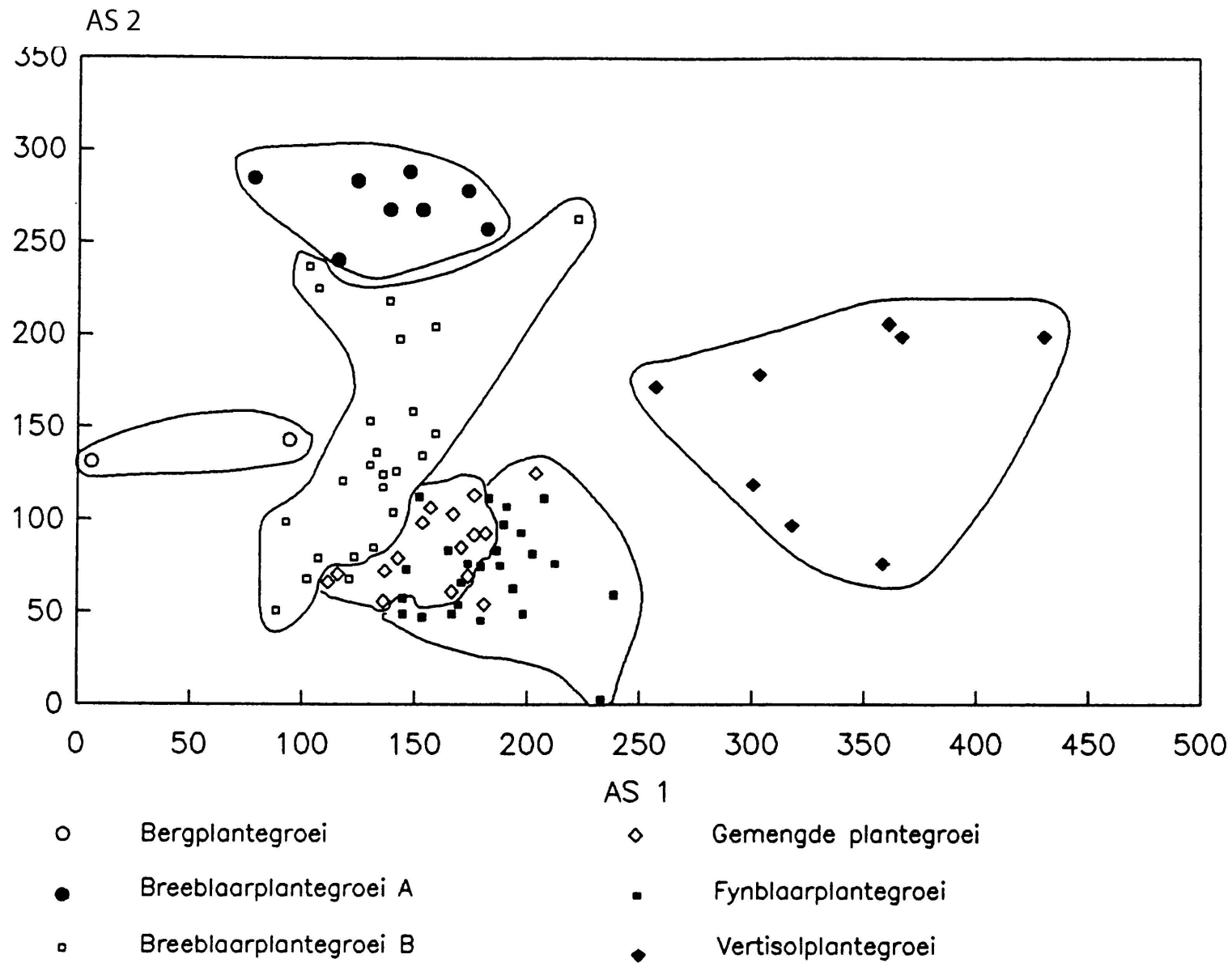


Figuur 1 Studiegebied. Opnamepersele van verskillende data-
stelle word aangetoon.

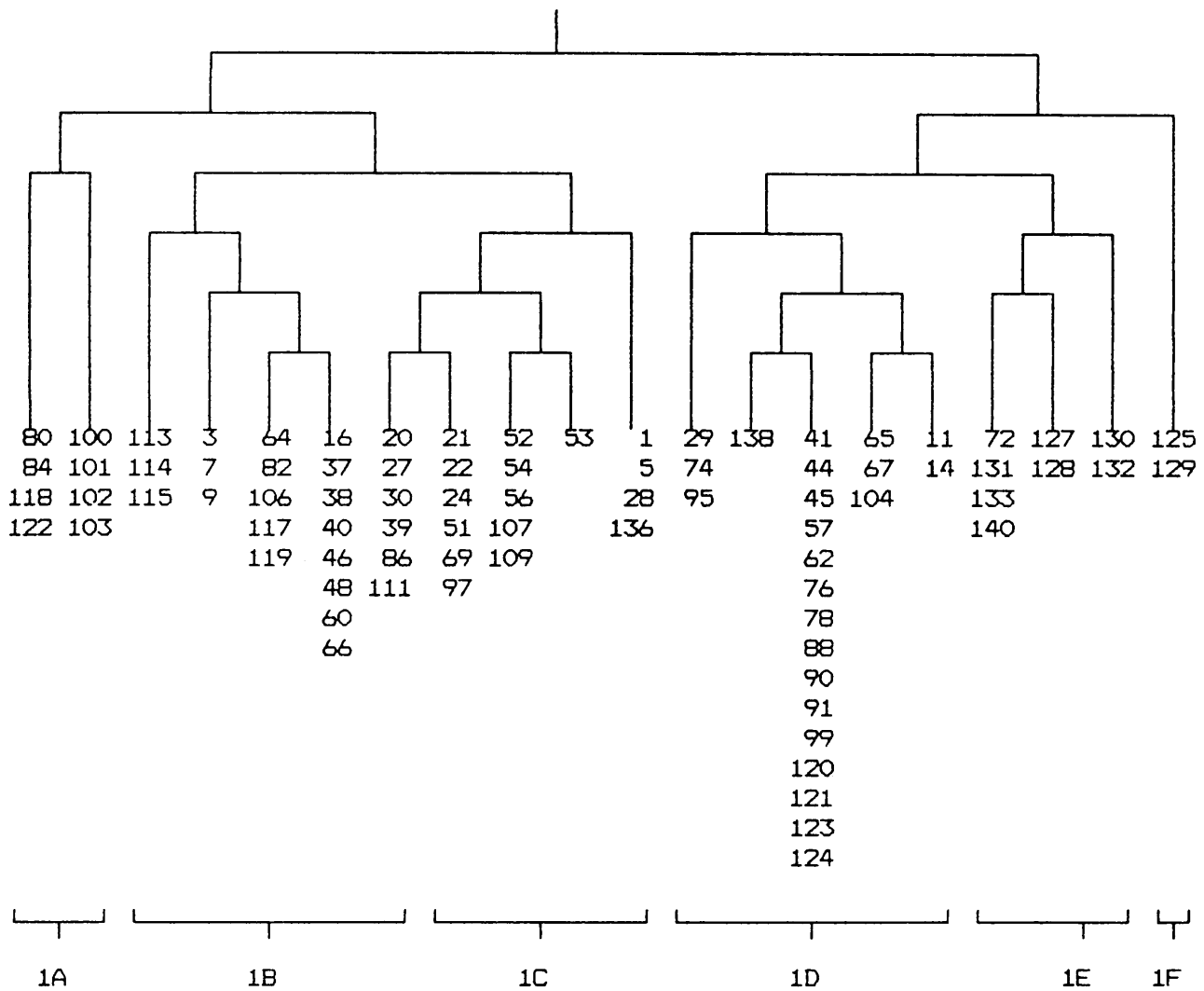
TWINSpan-KLASSIFIKASIE VAN 83 RELEVES



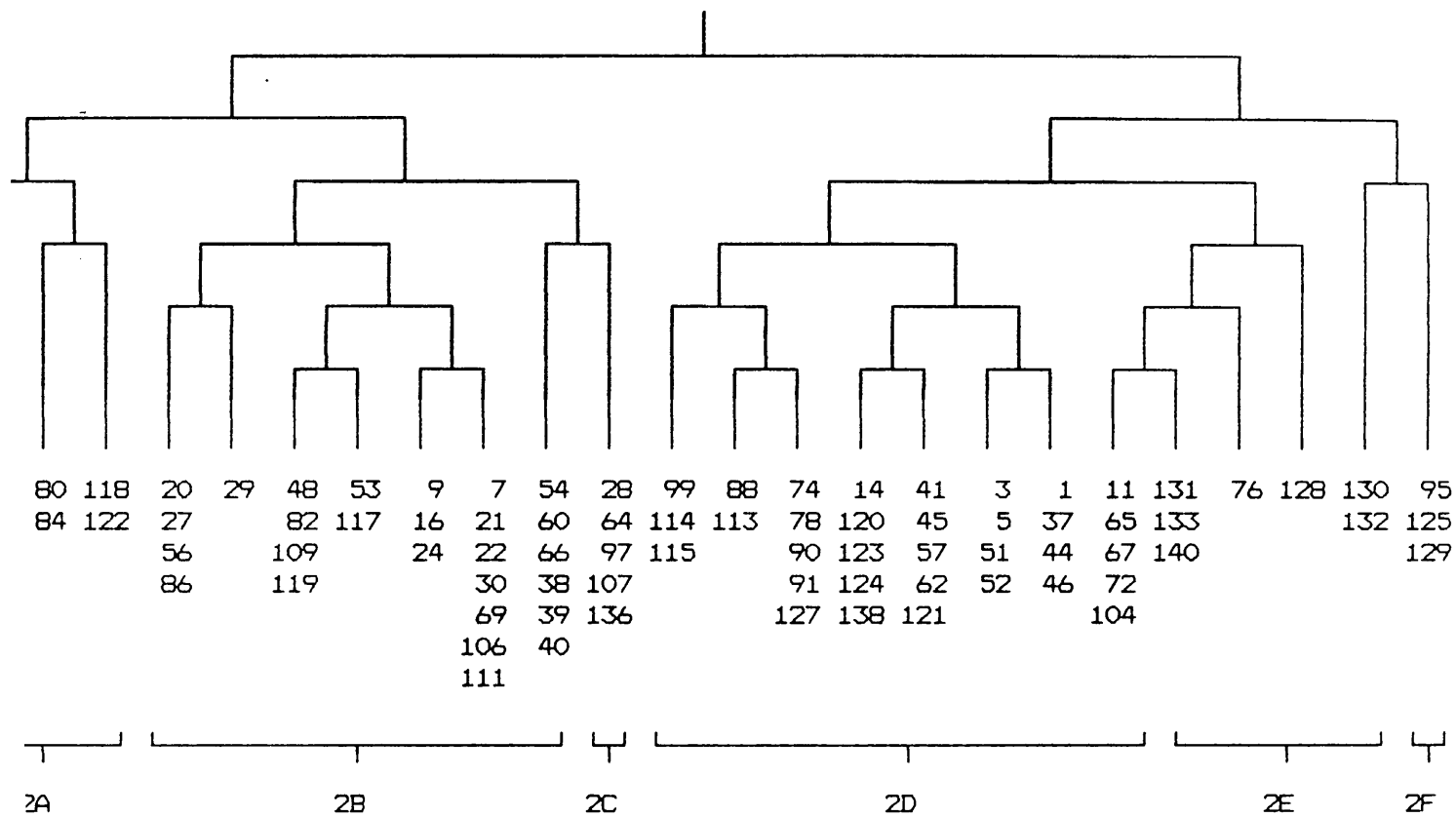
Figuur 2 'n Ekologiese interpretasie van die hoof plantgeroeitipes.



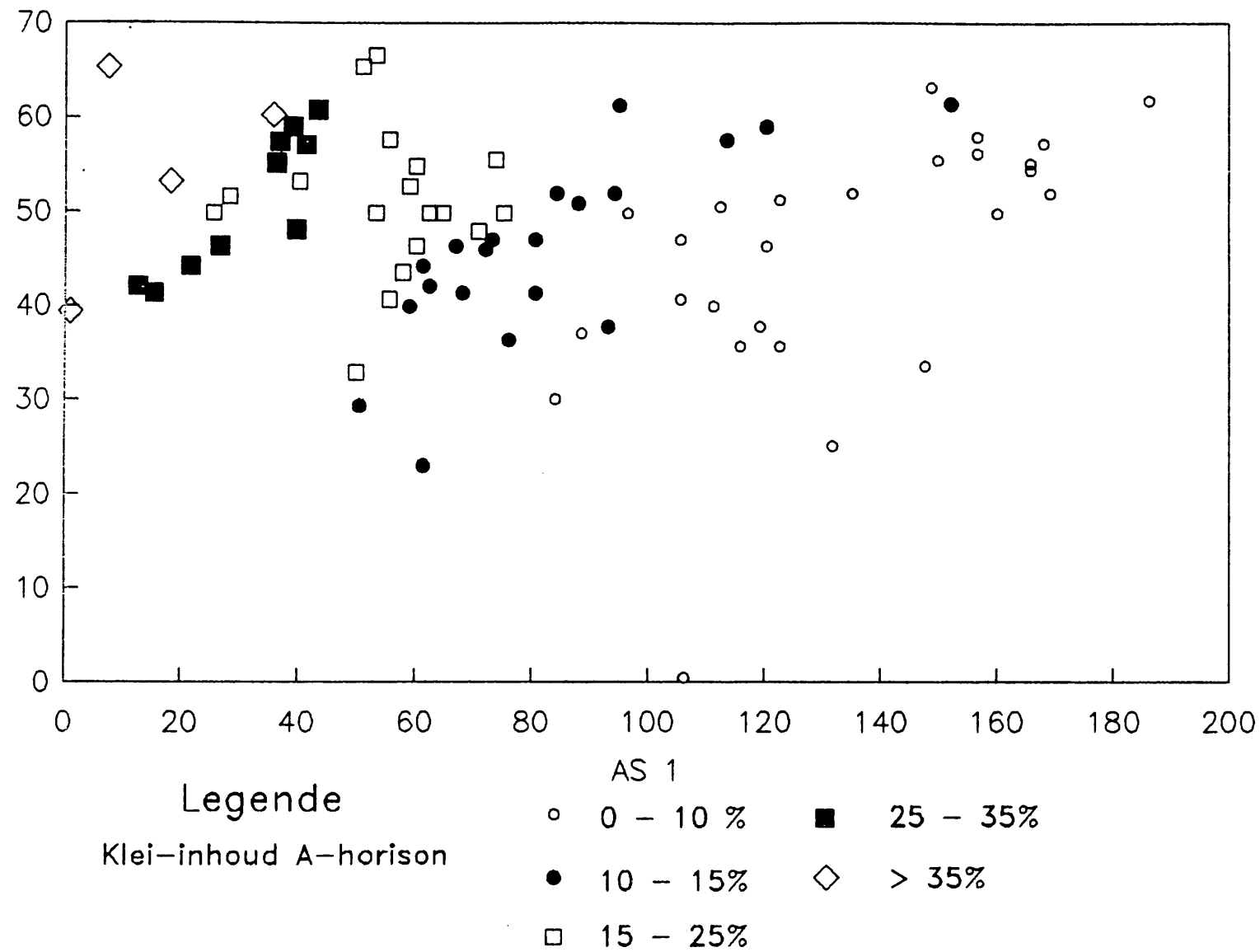
Figuur 3 DECORANA-ordening van die relevés (1991 datastel). Die verspreiding van die hoof plantegroeitipes word aangetoon.



Figuur 4 TWINSpan-klassifikasie van 83 relevés op grond van alle houtagtige en grasspesies. Relevé-nommers verskyn onderaan die sesde verdelingsvlak. Die klassimbole verskyn heel onder.



- 5 TWINSpan-klassifikasie van 83 relevés net op grond van grasspesies. Relevé-nommers verskyn onderaan die sesde verdelings-vlak. Die klassimbole verskyn heel onder.



Figuur 6 DECORANA-ordening wat die verspreiding van die grondmonsters volgens 'n kleigradiënt aantoon.

Tabel 1 'n Vergelyking tussen 'n TWINSpan-klassifikasie van 83 relevés volgens grasspesiedata en 'n TWINSpan-klassifikasie van dieselfde relevés met houtagtige spesies ingesluit

		Klassifikasie volgens gras- en houtagtige spesies						
		1A	1B	1C	1D	1E	1F	Totaal
Klassifi- kasie volgens grasspesies	2A	8						8
	2B		18	8	1			27
	2C		1	4				5
	2D		6	4	21	2		33
	2E				1	6		7
	2F				1		2	3
Totaal		8	25	16	24	8	2	83

Uit 83 relevés stem 59 ooreen = 71.1% ooreenstemming
 Kritiese χ^2 -waarde = 52.62 by $p=0.001$ met 25 grade van vryheid
 Berekende χ^2 -waarde = 233.5
 Berekende χ^2 -waarde vir 'n 100% korrelasie = 415

Tabel 2 'n Vergelyking tussen 'n TWINSPAN-klassifikasie van 62 relevés volgens gras- en houtagtige spesies, en 'n TWINSPAN-klassifikasie van grondmonsters geneem by elke relevé volgens 'n aantal grondveranderlikes

		Klassifikasie volgens gras- en houtagtige spesies				
		1A	1B	1C	1D	Totaal
Klassifika- sie volgens grondveran- derlikes	2A	2	1			3
	2B		9	2		11
	2C		8	8	2	18
	2D		3	4	23	30
Totaal		2	21	14	25	62

Uit 62 relevés stem 42 ooreen = 67.7% ooreenstemming
 Kritiese χ^2 -waarde = 27.88 by $p=0.001$ met 9 grade van vryheid
 Berekende χ^2 -waarde = 77.44
 Berekende χ^2 -waarde vir 'n 100% korrelasie = 186

Tabel 3 Korrelasie van grondveranderlikes met klei-inhoud

Grondveranderlike	Korrelasiekoëffisiënt (r)	Betekenisvolheid
Fosfaat	-0.01	NS
E-weerstand	-0.51	$P < 0.001$
pH (water)	0.77	$P < 0.001$
Natrium	0.55	$P < 0.001$
Kalium	0.51	$P < 0.001$
Kalsium	0.85	$P < 0.001$
Magnesium	0.93	$P < 0.001$
KUK	0.89	$P < 0.001$
Sink	-0.10	NS
Mangaan	0.72	$P < 0.01$
Koper	0.39	NS
Boor	0.71	$P < 0.01$
Kobalt	0.52	$P < 0.01$

NS = nie betekenisvol

E-weerstand = elektriese weerstand

KUK = kationuitruilkapasiteit

HOOFSUK 5

**THE USE OF REMOTE SENSING IN A GIS SPATIAL
DATABASE TO IDENTIFY AND QUANTIFY VEGETATION-
HABITAT RELATIONSHIPS**

H.M. van den Berg * and B.H. Beukes

Transvaal Agricultural Development Institute, Private
Bag X180, Pretoria 0001, Republic of South Africa

G.J. Bredenkamp and N. van Rooyen

Department of Botany, University of Pretoria
0002, Republic of South Africa

D.J. Pretorius and J.A. Kruger

Agricultural Research Council, Institute for Soil,
Climate and Water, Private Bag X78, Arcadia 0007,
Republic of South Africa

ABSTRACT

The spatial relationships between vegetation, geology and soils were identified and quantified through spatial analysis in a Geographic Information System (GIS) environment. This is a different approach to the traditional statistical analysis of stratified randomly placed vegetation sample plots and habitat factors, in the sense that whole areas are now analyzed. In addition with existing data on vegetation, geology and soils, SPOT multispectral satellite data were processed and broad ecological homogeneous areas were identified. These data were also incorporated into the GIS spatial database and relationships were determined.

UITTREKSEL

Die ruimtelike verwantskappe tussen plantegroei, geologie en grond is geïdentifiseer en gekwantifiseer deur middel van ruimtelike analyses in 'n Geografiese Inligtingstelsel (GIS) omgewing. Dié benadering verskil van die tradisionele statistiese analise van gestratifiseerde ewekansig geplaasde plantegroeipersele en habitatsfaktore, in die opsig dat hele oppervlaktes nou geanaliseer word. SPOT multispektrale data is bykomend tot die bestaande plantegroei-, grond- en geologiese data verwerk, en breë ekologiese eenhede is geïdentifiseer. Hierdie data is ook geïnkorporeer in die GIS se ruimtelike databasis en verwantskappe is bepaal.

Additional index words: Spatial relationships, vegetation, soil, geology, habitat

* Part of a thesis submitted by the senior author for a M.Sc. degree at the University of Pretoria and part of a paper presented at the PICS International Conference, Pretoria, 1-2 October 1992.

INTRODUCTION

In the past various methods have been used to determine the relationships that exist between entities that are spatially distributed and to quantify those relationships. The methods vary from observations during, for example, a vegetation survey to more objective methods including a multivariate approach. This accounts only for sample points scattered over an area and not the sampling of the total area. To determine related areas thematic maps can be overlaid. This is not an approach usually followed due to the problem that all maps are not at the same scale, and to determine the areas of complicated intersections can be a tedious work.

The above mentioned can be done without a Geographic Information System (GIS). What is therefore the need for a GIS? A GIS consists of a module that permits storage and retrieval of attributes, and a graphics module that permits manipulation of the points, lines, polygons or grid cells so that spatially related problems can be addressed (Lombard et al. 1992). The advantage is the speed and accuracy of calculations, modelling capability, and ability to have many alternative answers in a short space of time and the volume of data that can be handled. The spatial and non-spatial modules of the system are closely linked so that the results of database queries can be viewed numerically, or graphically as maps (Walsh 1985; Nielson et al. 1990, Wilsher 1993).

The aim is to determine vegetation and habitat relationships by using SPOT multispectral data together with other existing data (soils, geology and vegetation), in the spatial database of a GIS. Such knowledge can be usefull in identifying ecologically homogeneous areas for rangeland management purposes. The criterion is that such an ecological unit or veld ecotope must not differ significantly in itself in terms of plant production, palatability and sensitivity and that it can be managed as one entity (MacVicar et al. 1986).

STUDY AREA

The study area covers 1 407 km² and is situated approximately 40 km north of Thabazimbi in the north-western Transvaal. The vegetation consists mostly of Mixed Bushveld (Acocks 1988) while one eighth of the area is covered by Sour Bushveld and an even smaller proportion is covered by Arid Sweet Bushveld. The median rainfall of the flat area varies from 462 mm/year to 548 mm/year for eight rainfall stations over 33 years. The standard deviation varies from 132 mm/year to 158 mm/year. The median rainfall of the mountains for two rainfall stations, measured over 55 years is 667 mm/year and 721 mm/year. The standard deviations are respectively 150 mm/year and 181 mm/year (Erasmus 1987).

Although rainfall has an overall influence on the vegetation types of the area it does not explain the variation in vegetation

over small distances. Field work in the area (Van den Berg *et al.* 1993a) and work from other researchers (Bosch 1971; Morris 1972; Herbst 1973; Coetzee 1974; Van der Meulen 1979; Westfall 1981; Pauw 1988; Van Staden 1992) have shown that the differences in geology and soils have a marked influence on the distribution of the vegetation.

METHODS

The SPOT data for the study area was obtained from the Satellite Applications Centre (MIKOMTEK/CSIR, P.O. Box 395, Pretoria, 0001) in digital format (Figure 1) and in the form of hard copies. The date of the images was chosen to coincide with a former vegetation survey of the area. It was possible to see certain features on the hard copies and to outline them, but there existed uncertainty about certain boundaries (especially in the case of diffuse ones), and about what features belonged together.

To outline features more clearly and objectively it was decided to try various image enhancement and classification techniques on the digital data. A small representative area on the one image was used to test the techniques. A Principal Component Analysis (PCA) of the three spectral bands was used to enhance the image by reducing the dimensionality of the image (Figure 2) (Olsson 1986, Westfall & Malan 1986, Gonzalez & Wintz 1987). However, the third principal component showed clearly that one half of the image appeared totally different from the other half (Figure 3).

According to the Satellite Applications Centre it is due to calibration differences of the sensors on the satellite. The other image showed the same problem in the third principal component but in this case three different areas can be distinguished. Striping was also clearly visible in one of the areas.

As these differences in sensor calibrations influenced the PCA analysis considerably it was decided to divide the two images in four separate images according to the major calibration differences. The different images were processed separately and joined afterwards.

By displaying the first three principal components as hue, intensity and saturation (Westfall & Malan 1986) the image was even more enhanced. The hue, intensity and saturation bands were filtered (Jensen 1986) by a 5 x 5 median filter (Figure 4). With previous knowledge of the area the product made much sense in terms of broad divisions of vegetation, geology and soils. The unfiltered hue, intensity and saturation bands were used in an automatic K-Means classification and the image was classified into 30 classes. The classification was filtered with a 5 x 5 modal filter. The classes were merged into eight classes according to the broad divisions of vegetation, geology and soils. The eight classes represented complexes of soils, geology and vegetation with the exception of cultivated lands, rivers and mountains. The shadows of the mountains were incorrectly classified as rivers and were corrected by on screen mapping.

The four classified images were joined to form a single classified image. The image was georeferenced to a Lambert Projection by means of ground control points. The image was exported in an ERDAS format from the Map and Image Processing System (MIPS) and imported in the GIS where the Spatial Analysis (SPANS) software package was used to perform the analyses. The image was then base cut to the exact boundaries of the study area of 1 407 km² (Figure 5).

The classified image, geology, land types and vegetation maps were used as overlays in the GIS environment to determine relationships. A previous study carried out in the area showed that clay content plays an important role in the distribution of the vegetation. The land types map (Land Type Survey Staff 1988) was reclassified according to clay percentage classes (Figure 6). The geology map (Geological survey 1974) was also reclassified according to the rock-formations ability to form sandy or clayey soils. In Figure 7 the Sandstone 1 class represents Waterberg sandstone, Karoo sandstone and granite that weather to sandy soils. The Sandstone 2 class represents sandstone, shale and feldspathic sandstone that weather to soils with a higher clay content than in the first case. The vegetation map (Van den Berg 1989 & Van den Berg et al. 1989) was also simplified to broad vegetation classes (Figure 8), according to the vegetation classes of Van den Berg et al. 1993a.

RESULTS AND DISCUSSION

The consensus between the maps was assessed by means of area cross tabulations. The area cross tabulation of the reclassified geology map and the vegetation map will be used as an example. In Table 1 the vegetation is displayed as the rows and the geology as the columns. Where a row and a column class cross four figures are given. The first one is the total area in km² that the two classes occupy together. The second one is that area given as a percentage of the whole area. The third figure is the percentage of the vegetation class (row) that is occupied by that specific geology class. The fourth figure is the percentage of the geology class (column) that is occupied by the vegetation class (row).

Area cross tabulations of the vegetation, geology and land types maps showed a definite relationship between Broadleaf vegetation and soils with a low clay content. Microphyllous vegetation occurred mostly on soils with a higher clay content and Mixed vegetation represented a position somewhere in between. The geology map showed the same relationships with the vegetation map. Sandstone showed a relationship with sandy soils and broadleaf vegetation. The same was valid for diabase, alluvium and shale that weather to clayey soils with microphyllous vegetation on it. A summary of these relationships is given in Table 2.

The SPOT image was also compared with the maps. The area cross

tabulation of the SPOT image and the land types map is shown in Table 3. The analysis shows that 75% of lithosols on the land types map occur on the mountain and Sand 1 class of the SPOT image. Of the Sand 1 class on the SPOT image 86% is occupied by lithosols and soils with a clay content of 0-15%. The Sand 2 class of the SPOT image occurs 74% on soils with a clay content less than 25%. Of the Clay 1 class 72% occurs on soils with a clay content of 10-35%. Of the Clay 2 class 78% occurs on clayey soils with a clay content of more than 25%. A summary of the relationships between the SPOT image, the vegetation map, the land types map and the geology map is shown in Table 4.

The correspondence between the different layers was also assessed by means of a multi map analysis where a Boolean type of expression was used to set certain conditional restrictions to which the maps must comply. An example is shown in Table 5 where an 'or' expression was used for a class on the SPOT image to correspond with certain classes on any one of the three maps. All the areas that were not valid according to the expression were classified into one class. Where the expression was true that area retained the same class as on the SPOT image, non-corresponding areas were shown in black (Figure 9).

The area that the SPOT image corresponded with any one of the three maps was 92% of the total area. For a next comparison all the 'or' expressions between the maps were replaced by 'and' expressions (Table 6). A class on the SPOT image must then corresponds with classes on all three maps (Figure 10). The

correspondence was 58%. The correspondence of the SPOT image with each individual map according to the same conditions was also calculated. The correspondence with the vegetation, geology and land types maps was respectively 83.3%, 83.2% and 77.1%. This is in accordance with the findings of Oberholzer (1989) that "the geological structure, by way of geomorphology and topography, seems to be the overriding factor in determining the vegetation in a semi-arid area." Robinove (1981) also stated that "each picture element in a Landsat image records the reflection of light from all the features on the ground in the area viewed, whether soils, rock vegetation, or water. Therefore it has a higher correlation with integrated terrain units than with differentiated ones."

It is possible to quantify certain habitat relationships that determine the distribution of the vegetation types in the study area. It is also clear that there are areas where these relationships are not valid. There can be various reasons for this, from incorrect or superficial classifications and bad mapping to the fact that not all the variables are taken into account. It must also be noted that the limitations of the image should be kept in mind when analyzing it. On its own only broad categories may be distinguished on a landscape scale (Oberholzer 1989). In an integrated Remote Sensing - GIS approach much value can be added to the original image. For instance a digital terrain model can assist in finer divisions of classes, and so various other factors can be taken into account to establish veld management units or veld ecotopes.

Knowledge of vegetation and habitat relationships can prove very valuable where certain data is missing. For example where vegetation data is not available but the association of vegetation types and soils is known, it will be possible to predict, by using existing data, the distribution of the vegetation types.

The ecological units that consist of clayey soils and microphyllous vegetation are more prone to heavy utilization than ecological units that consist of sandy soils and broadleaf vegetation (Van den Berg *et al.* 1993b). By knowing this it will also be possible to locate possible areas of veld degradation with only soil data available.

CONCLUSIONS

It is clear that the vegetation is not distributed at random over the study area and that habitat plays a major role in the distribution of the vegetation. With image enhancement and classification techniques it was possible to distinguish ecological units, on the SPOT image, that are interrelated complexes of soils, geology and vegetation. These relationships were identified and quantified by means of spatial analysis in a GIS environment. Knowledge of these relationships makes it possible to predict potential distributions of species or communities without any vegetation data. In the same way will it

be possible to identify and quantify areas of possible overgrazing without actual data on veld condition.

The SPOT image proved valuable in providing independent additional information on the distribution and relationships of the soils, geology and vegetation in this study area. It is suggested that the different ecological units on the SPOT image must be separate management units in a grazing strategy.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank the Institute for Soil Climate and Water for the opportunity to use their image processing facilities and the Satellite Applications Centre for supplying the SPOT data. We also want to thank Lizette Venter and Martie Puts (formerly of Transvaal Region, Department of Agricultural Development) and Gail Kopuit (Transvaal Agricultural Development Institute, Department of Agriculture) for their help and assistance in this project.

REFERENCES

- ACOCKS J.P.H. 1988. Veld types of South Africa. 3rd edition. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 57: 1-146. Government Printer, Pretoria.
- BOSCH O.J.H. 1971. Plantekologiese bodemkundige studies in die

laer Krokodilriviervallei. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

COETZEE J.J. 1971. Die landboupotensiaal van die Noordwes-Transvaalse soetbosveld. D.Sc. thesis, University of Pretoria.

ERASMUS J. F. 1987. Rainfall deciles for Transvaal Region. SIRI Report No. GB/A/87/18. Soils and Irrigation Research Institute, Pretoria.

GEOLOGICAL SURVEY 1986. Geological map, 1:250 000, 2426 Thabazimbi, Government Printer, Pretoria.

GONZALEZ R.C. & WINTZ P. 1987. Digital Image Processing. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, pp. 61-137.

HERBST M.J. 1973. 'n Ekologiese ondersoek van die plantgemeenskappe tussen die Krokodil- en Matlabasrivier. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

JENSEN J.R. 1986. Introductory Digital Image Processing. New Jersey, Prentice-Hall, pp. 138-149.

LAND TYPE SURVEY STAFF 1988. Landtypes of the maps 2426 Thabazimbi and 2428 Nylstroom. Mem. agric. nat. Resour. S. Afr. No. 10.

LOMBARD A.T. AUGUST P.V. & SIGFRIED W.R. 1992. A proposed Geographic Information System for assessing the optimal dispersion of protected areas in South Africa. S. Afr. J. Sci. 88, 136-140.

MACVICAR C.N., VOLSCENK J. E. & NOTT R. W. 1986. Inventorising the potential of agricultural natural resources. Technical Communication No. 204. Department of Agriculture and Water supply.

MORRIS P.P.J. 1972. 'n Ekologiese ondersoek van die samestelling en struktuur van die soetbosveld. Met spesiale aandag aan die invloed van edafiese faktore op die verspreiding van houtagtige spesies. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

NIELSON G.A., CAPRIO J.M., McDANIEL P.A., SNYDER R.D., MONTAGNE C. 1990. MAPS: A GIS for land resource management in Montana. J. Soil and Water Cons. 45(4): 450-453.

OBERHOLZER T. 1989. The use of Landsat imagery in mapping of the West Rand-portion of the grassland biome in southern Africa. M.Sc. Thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

OLSSON L. 1986. Approaches to monitor renewable resources using remote sensing and geographical information system. In: Damen M.C.J., Sicco Smit G. & Verstappen H.T.H. (eds) 1988. Remote

Sensing for Resources Development and Environmental Management.
Vol 3: 1041-1050. Balkema.

PAUW J.C. 1988. Riglyne vir die bestuur van die natuurlewe in die bosveldgemeenskappe van die Atherstone natuurreservaat in die noordwes-Transvaal. M.Sc. thesis, University of Pretoria.

ROBINOVE C.J. 1981. The logic of multispectral classification and mapping of land. Remote sensing of environment. 11(3): 231-244.

VAN DEN BERG H.M. 1989. Unpublished Bulgerivier vegetation map and report. 47 Survey Squadron, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

VAN DEN BERG H.M., BEUKES B.H., BREDEKAMP G.J., VAN ROOYEN N., PRETORIUS D.J. & KRUGER J.A. 1993b. Remote sensing: a tool in a GIS spatial database to characterize veld condition. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BREDEKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993a. Die toepassing van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei in die Noordwes-Transvaalse bosveld te bepaal. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., COUSINS R.R., GERBER J.J., VOS J.E. 1989. Unpublished Rooibosbult vegetation map and report. 47 Survey Squadron, Potchefstroom University for Christian Higher

Education.

VAN DER MEULEN F. 1979. Plant sociology of the western Transvaal Bushveld, South Africa. A syntaxonomic and synecological study. Vaduz, Cramer.

VAN STADEN J.M. 1992. Die fitososiologie van die Steenbokpan omgewing in die noordwes-Transvaal. M.Sc. thesis, University of Pretoria.

WALSH S.J. 1985. Geographic information systems for natural resource management. J. Soil and Water Cons. 40(2): 202-205.

WESTFALL R.H. 1981. The plant ecology of the farm Groothoek, Thabazimbi district. M. Sc. thesis. University of Pretoria.

WESTFALL R.H. & MALAN O.G. 1986. A method for vegetation stratification using scale-related, vegetation-enhanced satellite imagery. Bothalia 16,2: 263-268.

WILSHER W.A., HERBERT R., WULLSCHLEGER N.J., NAICKER I., VITALI E. & DE WIT M.J. 1993. Towards intelligent spatial computing for the Earth sciences in South Africa. S. Afr. J. Sci. 89: 315-323.

Table 1 Area cross tabulation of the vegetation and geology maps

Rows : VEGETATION MAP
Columns : GEOLOGY MAP

Area (km sq)					
Total %					
Row %					
Col %	SAND 1	SAND 2	DIABASE	ALLUVIUM	Total
-----	-----	-----	-----	-----	-----
MOUNTAIN	149.36	3.54	12.78	0.00	165.68
	10.63	0.25	0.91	0.00	11.79
	90.15	2.14	7.72	0.00	
	38.85	0.63	3.50	0.00	
BROADLEA	214.18	278.31	36.13	3.54	532.16
	15.24	19.81	2.57	0.25	37.87
	40.25	52.30	6.79	0.66	
	55.71	49.54	9.90	3.76	
MIXED	3.44	98.10	31.81	4.20	137.55
	0.24	6.98	2.26	0.30	9.79
	2.50	71.32	23.13	3.05	
	0.89	17.46	8.72	4.46	
MICROPHY	15.51	172.30	269.99	62.32	520.13
	1.10	12.26	19.21	4.43	37.01
	2.98	33.13	51.91	11.98	
	4.04	30.67	74.00	66.21	
VERTISOL	0.00	1.02	2.71	19.76	23.49
	0.00	0.07	0.19	1.41	1.67
	0.00	4.34	11.54	84.12	
	0.00	0.18	0.74	20.99	
LANDS	1.96	8.52	11.44	4.30	26.22
	0.14	0.61	0.81	0.31	1.87
	7.47	32.50	43.63	16.40	
	0.51	1.52	3.14	4.57	
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Total	384.46	561.79	364.87	94.12	1405.24
	27.36	39.98	25.96	6.70	

Table 2 General relationships between classes on the vegetation, land types and geology maps

<u>VEGETATION MAP</u>	<u>LAND TYPES MAP</u>	<u>GEOLOGY MAP</u>
MOUNTAIN VEGETATION	LITHOSOLS	SANDSTONE 1
BROADLEAF VEGETATION	CLAY 0-15%	SANDSTONE 1 & SANDSTONE 2
MIXED VEGETATION	CLAY 10-25%	SANDSTONE 2
MICROPHYLLLOUS VEGETATION	CLAY 25-35%+	SANDSTONE 2 & DIABASE
VERTISOL VEGETATION	VERTISOLS	ALLUVIUM

Table 3 Area cross tabulation of the classified SPOT image and the landtypes map.

Rows : SPOT IMAGE
Columns : LANDTYPES MAP (CLAY PERSENTAGE CLASSES)

Area (km ²)								
Total %								
Row %								
Col %	LITHOSOLS	CLAY<10%	CLAY 10-15%	CLAY 15-25%	CLAY 25-35%	CLAY>35%	VERTISOLS	Total
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
MOUNTAINS	38.19	3.29	24.73	0.00	2.45	0.00	0.00	68.67
	2.71	0.23	1.76	0.00	0.17	0.00	0.00	4.88
	55.62	4.79	36.02	0.00	3.57	0.00	0.00	
	33.77	1.42	4.44	0.00	0.76	0.00	0.00	
SAND 1	47.01	34.50	93.06	1.48	25.20	0.78	0.19	202.23
	3.34	2.45	6.61	0.11	1.79	0.06	0.01	14.37
	23.25	17.06	46.02	0.73	12.46	0.39	0.09	
	41.57	14.88	16.72	3.81	7.81	0.78	0.44	
SAND 2	22.22	118.68	237.46	24.49	118.49	17.69	3.23	542.25
	1.58	8.43	16.88	1.74	8.42	1.26	0.23	38.54
	4.10	21.89	43.79	4.52	21.85	3.26	0.60	
	19.65	51.19	42.66	62.78	36.73	17.56	7.48	
CLAY 1	4.15	57.16	149.95	4.48	96.22	30.06	7.94	349.96
	0.29	4.06	10.66	0.32	6.84	2.14	0.56	24.87
	1.19	16.33	42.85	1.28	27.49	8.59	2.27	
	3.67	24.65	26.94	11.50	29.82	29.84	18.41	
CLAY 2	0.00	0.00	9.07	1.40	51.99	37.45	14.20	114.10
	0.00	0.00	0.64	0.10	3.69	2.66	1.01	8.11
	0.00	0.00	7.95	1.22	45.56	32.82	12.44	
	0.00	0.00	1.63	3.58	16.11	37.17	32.91	
VERTISOLS	0.00	0.00	0.38	0.21	3.76	4.23	10.08	18.66
	0.00	0.00	0.03	0.02	0.27	0.30	0.72	1.33
	0.00	0.00	2.02	1.14	20.16	22.65	54.03	
	0.00	0.00	0.07	0.55	1.17	4.19	23.36	
LANDS	1.52	15.65	37.73	0.18	16.01	3.02	5.78	79.90
	0.11	1.11	2.68	0.01	1.14	0.21	0.41	5.68
	1.91	19.59	47.22	0.23	20.04	3.78	7.23	
	1.35	6.75	6.78	0.47	4.96	3.00	13.38	
RIVERS	0.00	0.91	2.88	0.08	2.16	0.08	0.22	6.32
	0.00	0.06	0.20	0.01	0.15	0.01	0.02	0.45
	0.00	14.32	45.46	1.33	34.12	1.33	3.44	
	0.00	0.39	0.52	0.22	0.67	0.08	0.50	
NOT CLASSIFIED	0.00	1.65	1.36	6.67	6.35	7.44	1.52	24.99
	0.00	0.12	0.10	0.47	0.45	0.53	0.11	1.78
	0.00	6.61	5.43	26.69	25.41	29.78	6.08	
	0.00	0.71	0.24	17.10	1.97	7.39	3.52	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
total	113.10	231.84	556.60	39.00	322.63	100.76	43.15	1407.09
	8.04	16.48	39.56	2.77	22.93	7.16	3.07	

Table 4 The relationships between classes on the SPOT image and the other three maps. The percentage that a class on the SPOT image corresponds with classes on the other three maps is also shown

<u>SPOT IMAGE</u>	<u>VEGETATION</u>	<u>LAND TYPES</u>	<u>GEOLOGY</u>
MOUNTAINS	MOUNTAIN 68%	LITHOSOL 55%	SANDSTONE 1 81%
SAND 1	MOUNTAIN & BROADLEAF 84%	LITHOSOL & CLAY 0-15% 86%	SANDSTONE 1 70%
SAND 2	BROADLEAF & MIXED & (MICRO PHYLLOUS) 68% (92%)	CLAY 10-25% 48%	SANDSTONE 1 & SANDSTONE 2 78%
CLAY 1	MIXED & MICROPHYLLOUS 63%	CLAY 10-35% 72%	SANDSTONE 2 & DIABASE 82%
CLAY 2	MICROPHYLLOUS 78%	CLAY 25-35%+ 78%	DIABASE 62%
VERTISOLS	VERTISOL 30%	VERTISOLS 54%	ALLUVIUM 70%

Table 5 The correspondence of the classified image with the vegetation or the landtypes or the geology

<u>SPOT IMAGE</u>		<u>VEGETATION</u>		<u>LAND TYPES</u>		<u>GEOLOGY</u>
MOUNTAINS	with	MOUNTAIN	or	LITHOSOL	or	SANDSTONE 1
SAND 1	with	MOUNTAIN & BROADLEAF	or	LITHOSOL & CLAY 0-10%	or	SANDSTONE 1
SAND 2	with	BROADLEAF & MIXED	or	CLAY 10-25%	or	SANDSTONE 1 & SANDSTONE 2
CLAY 1	with	MIXED & MICROPHYLLLOUS	or	CLAY 10-35%	or	SANDSTONE 2 & DIABASE
CLAY 2	with	MICROPHYLLLOUS	or	CLAY 25-35%+	or	DIABASE
VERTISOLS	with	VERTISOL	or	VERTISOLS	or	ALLUVIUM

Table 6 The correspondence of the classified image with the vegetation and the landtypes and the geology

<u>SPOT IMAGE</u>		<u>VEGETATION</u>		<u>LAND TYPES</u>		<u>GEOLOGY</u>
MOUNTAINS	with	MOUNTAIN	and	LITHOSOLS	and	SANDSTONE 1
SAND 1	with	MOUNTAIN & BROADLEAF	and	LITHOSOLS & CLAY 0-10%	and	SANDSTONE 1
SAND 2	with	BROADLEAF & MIXED &	and	CLAY 10-25%	and	SANDSTONE 1 & SANDSTONE 2
CLAY 1	with	MIXED & MICROPHYL- LOUS	and	CLAY 10-35%	and	SANDSTONE 2 & DIABASE
CLAY 2	with	MICROPHYL- LOUS	and	CLAY 25-35%+	and	DIABASE
VERTISOLS	with	VERTISOL	and	VERTISOLS	and	ALLUVIUM

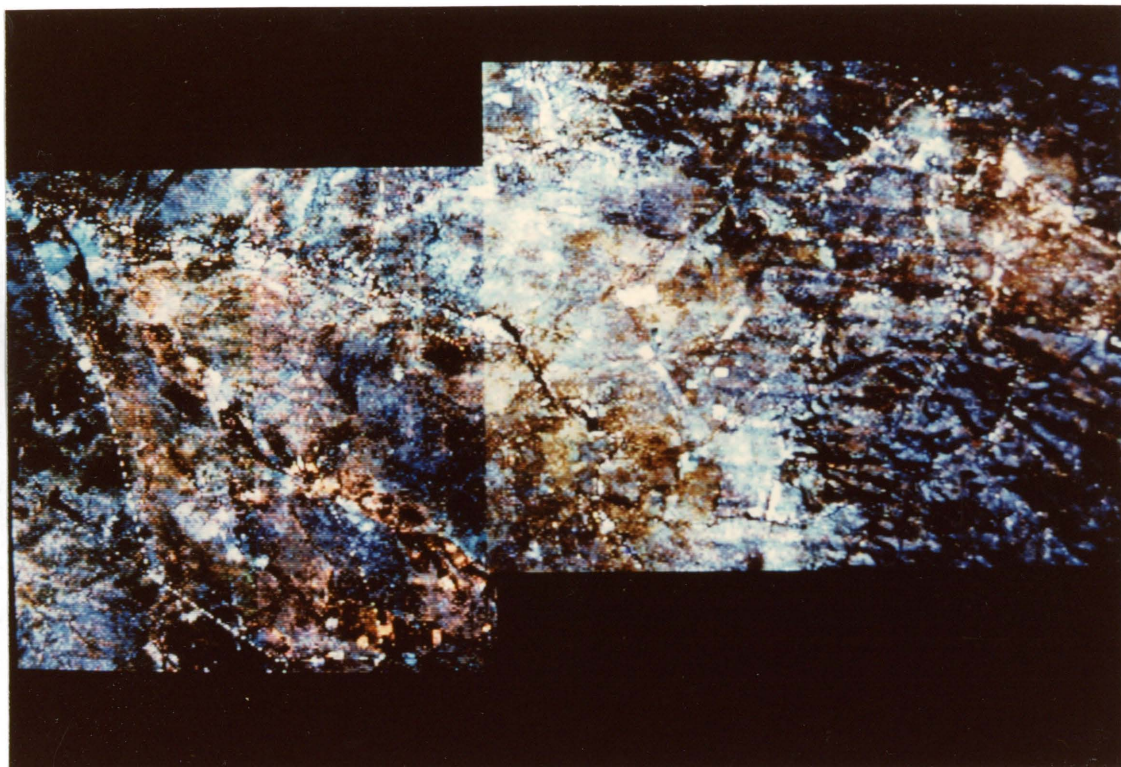


Figure 1 Two SPOT images merged to cover the study area. Bands 1, 2 and 3 are displayed respectively as red, green and blue.

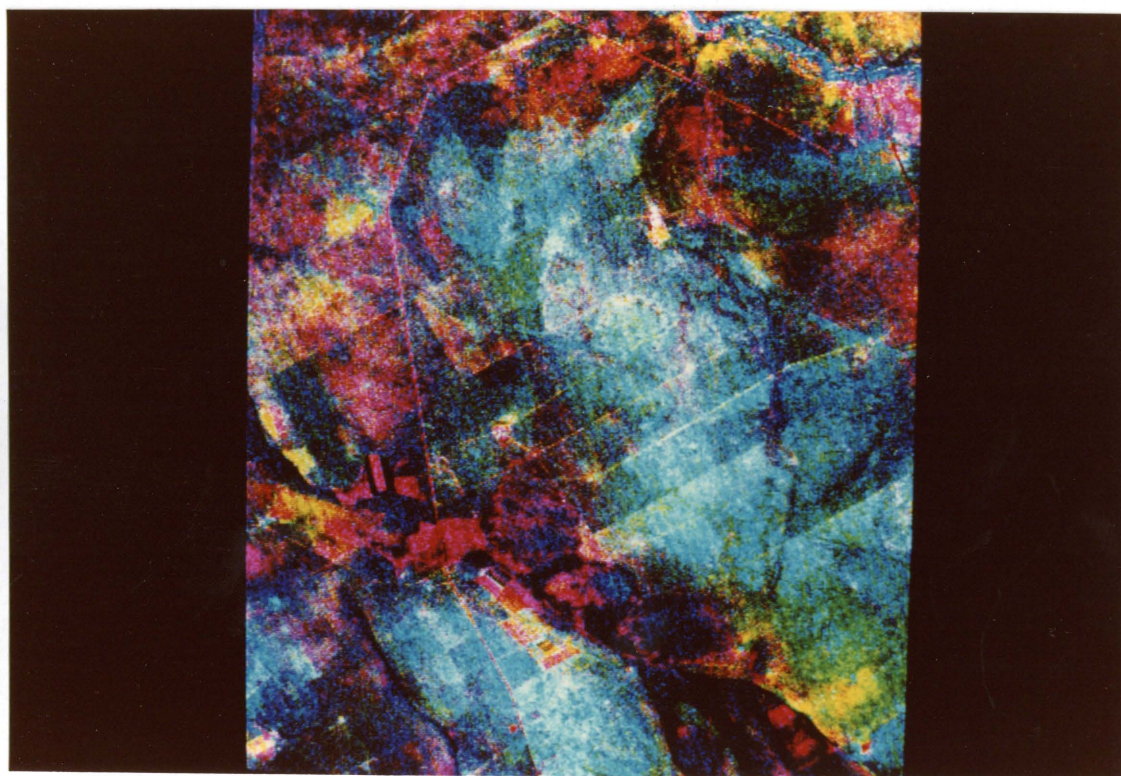


Figure 2 The result of a Principal Component Analysis of the three spectral bands.

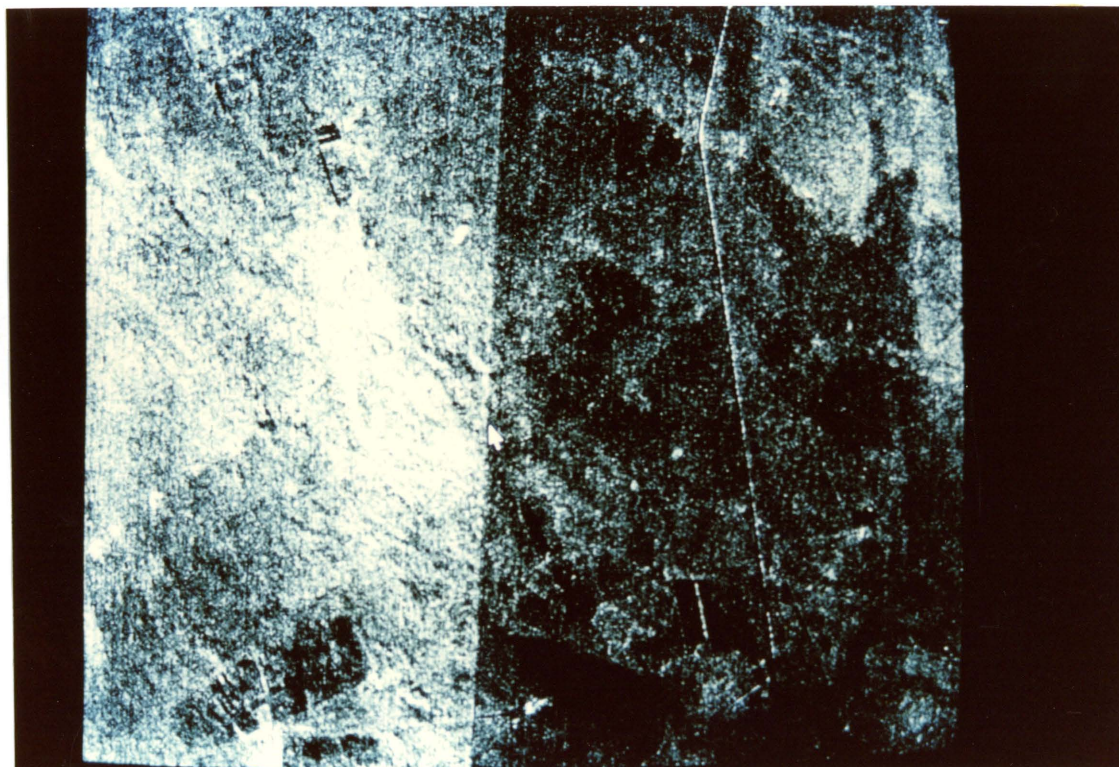


Figure 3 Principal component three showing calibration differences of the sensors on the satellite.

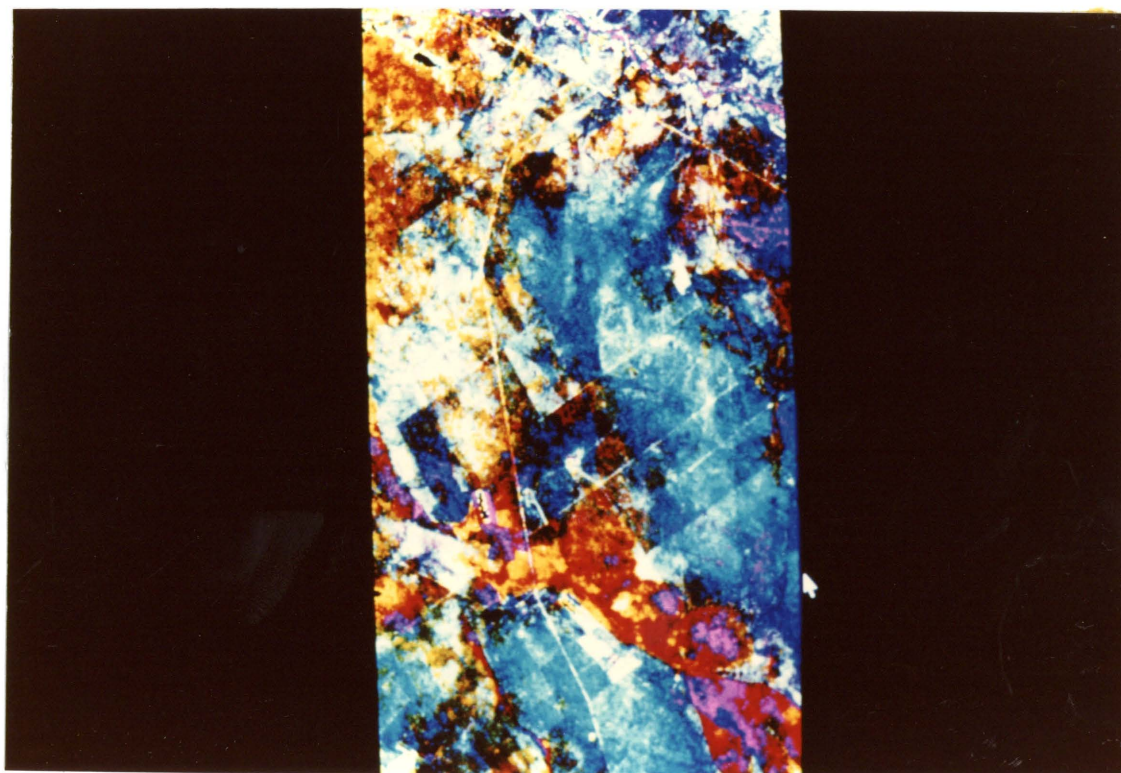


Figure 4 The first three principal components filtered by a 5 x 5 median filter and displayed as hue, intensity and saturation.

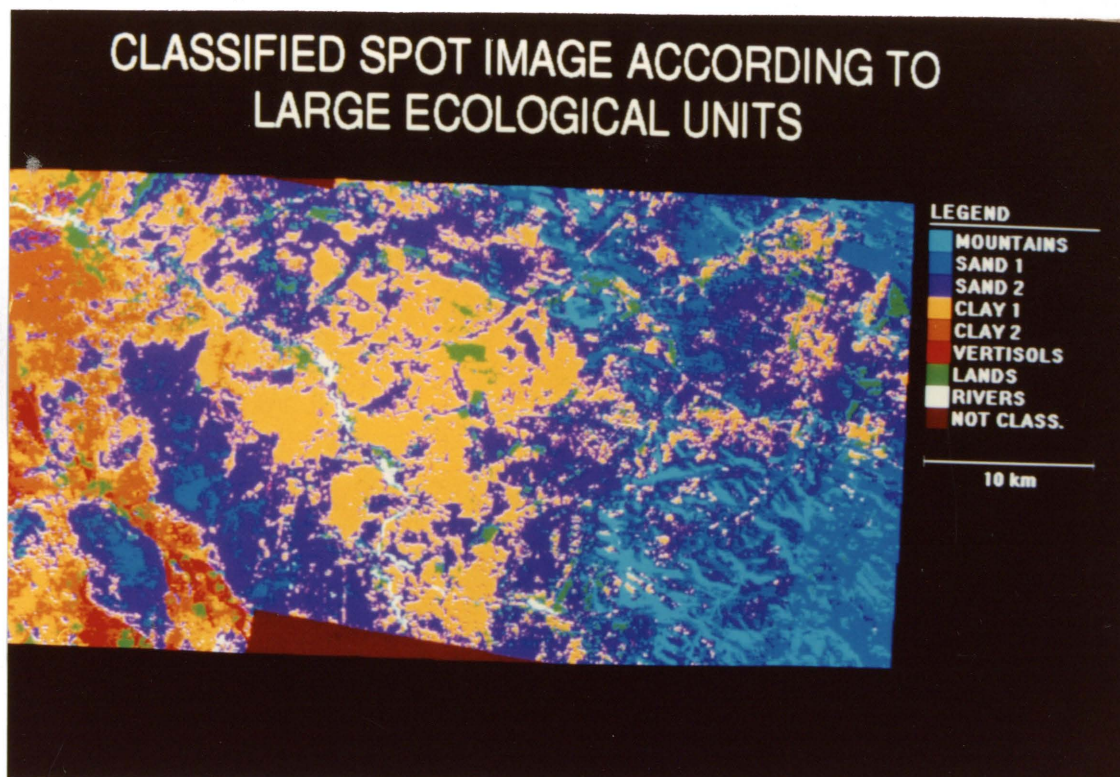


Figure 5 The SPOT image classified according to broad ecological divisions.

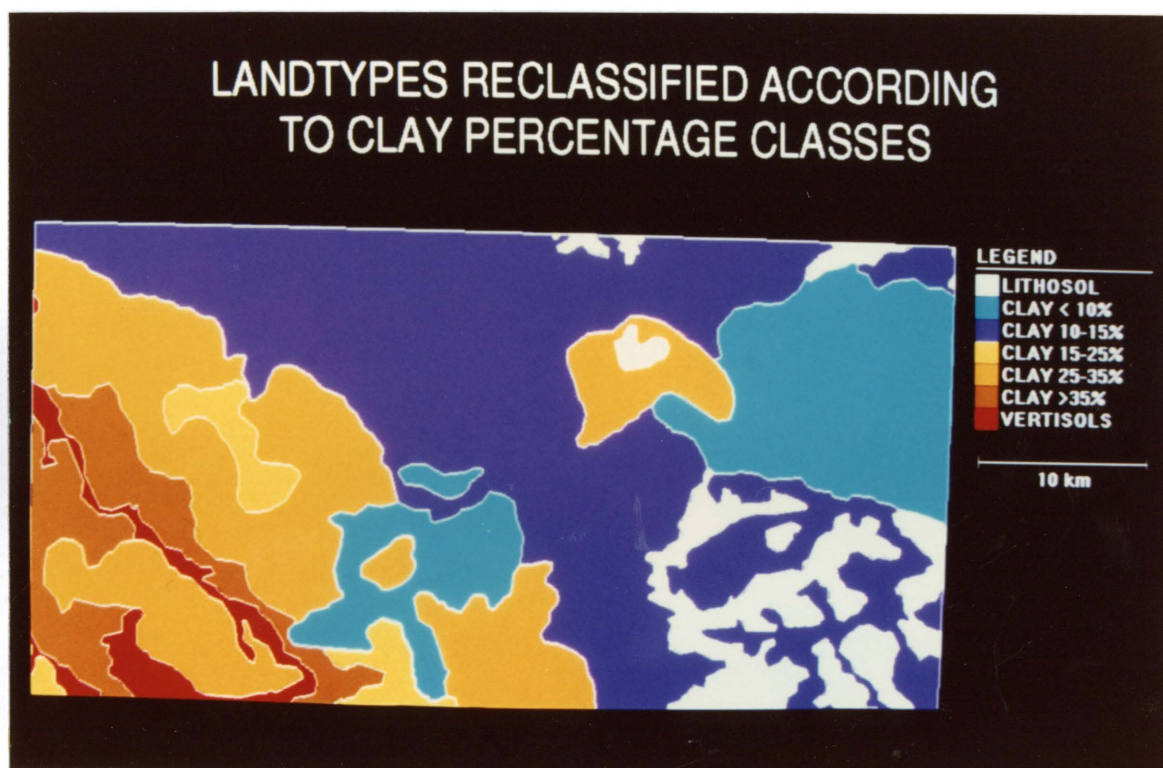


Figure 6 The landtypes map classified according to clay percentage classes.

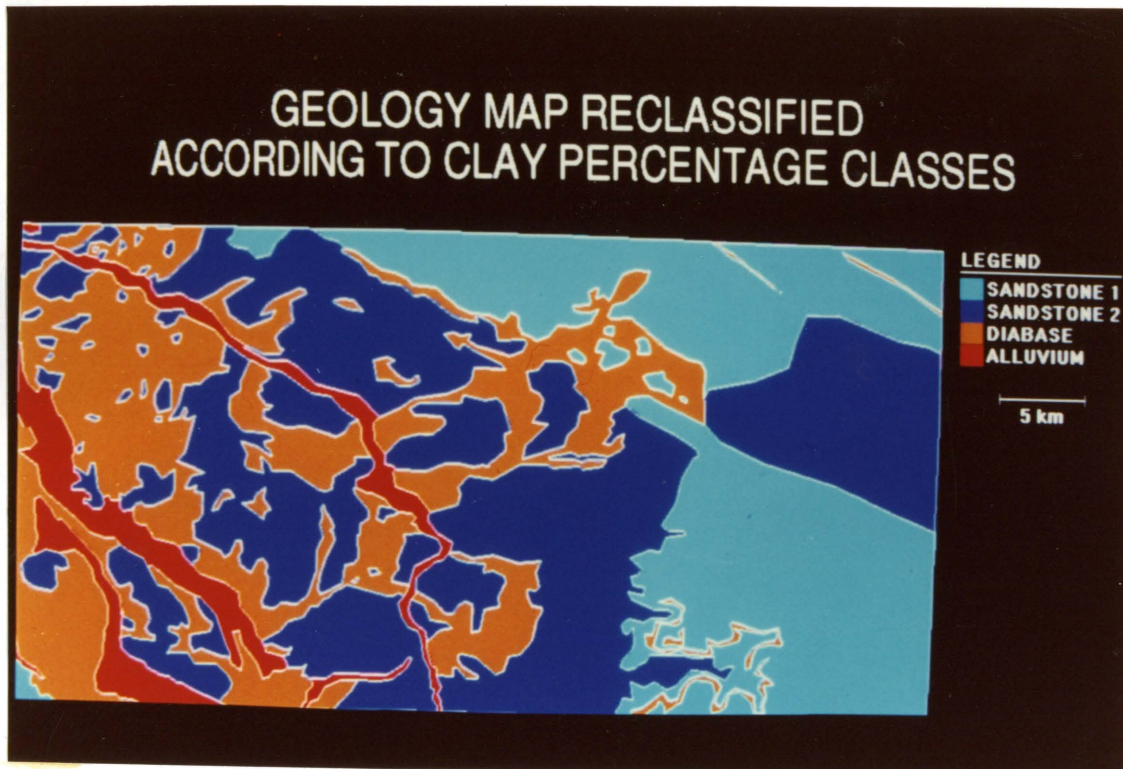


Figure 7 The geology map classified according to the rock-formations ability to form sandy or clayey soils.

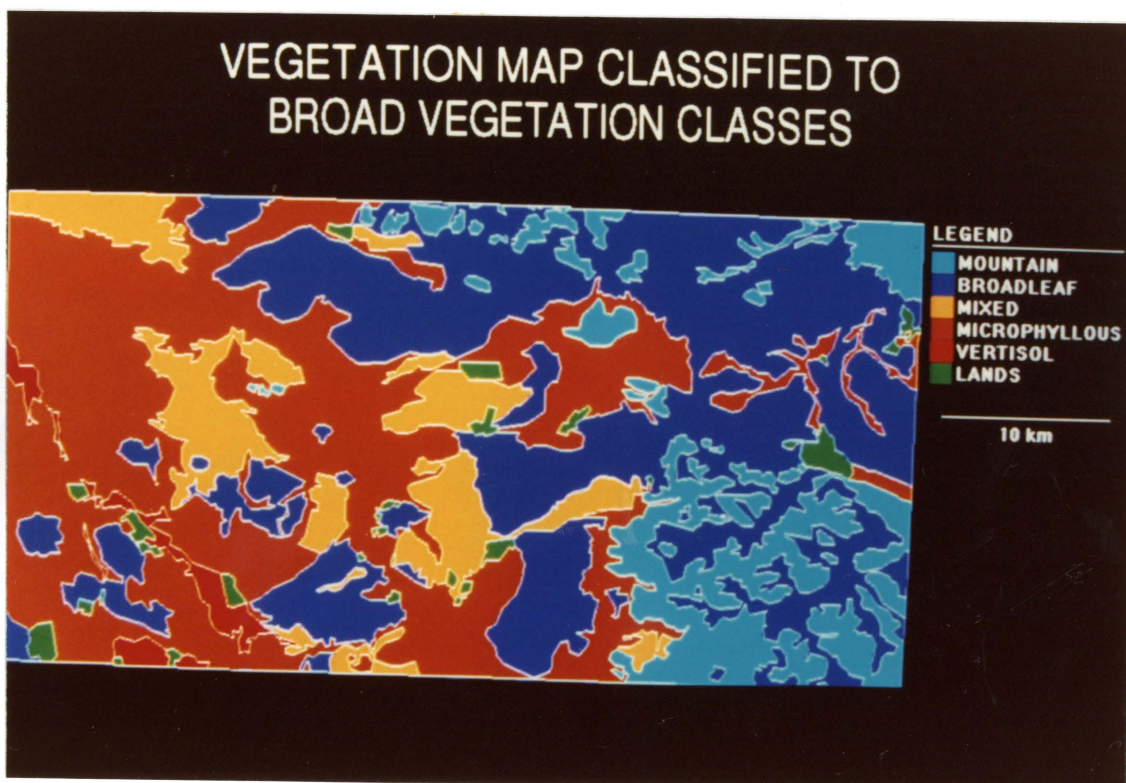


Figure 8 The vegetation map simplified to broad vegetation classes.

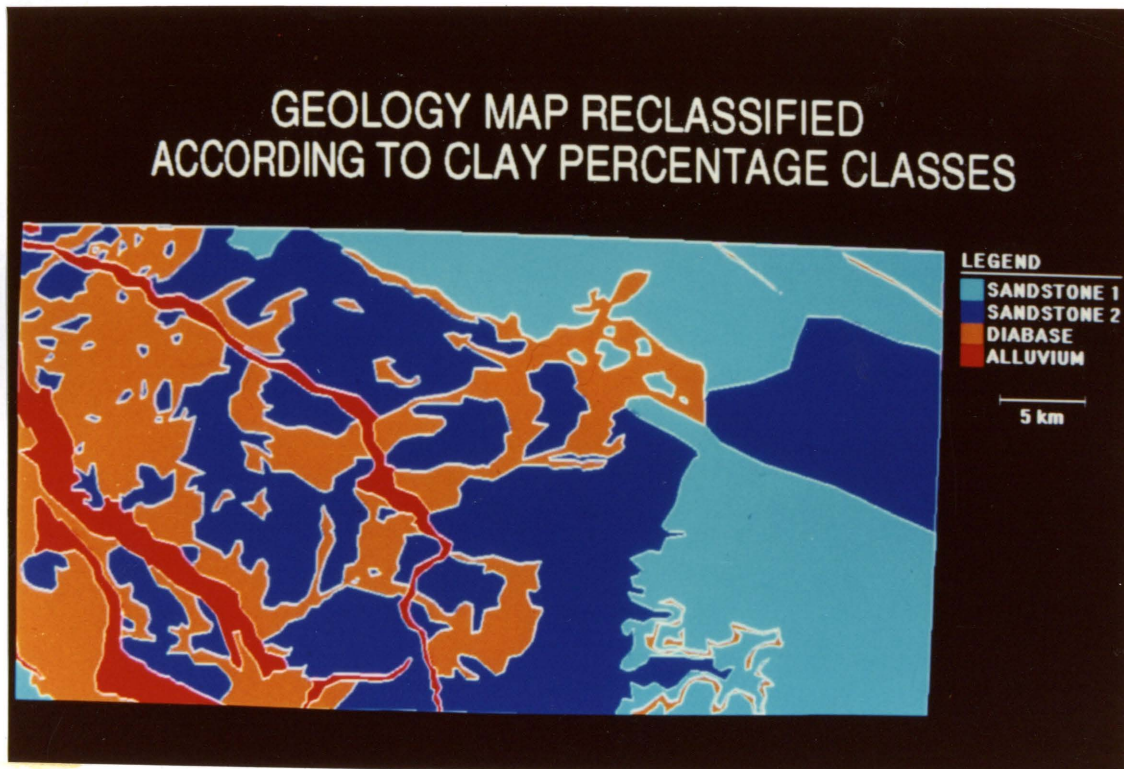


Figure 9 The correspondence of the classified SPOT image with any of the other maps using an 'or' expression.

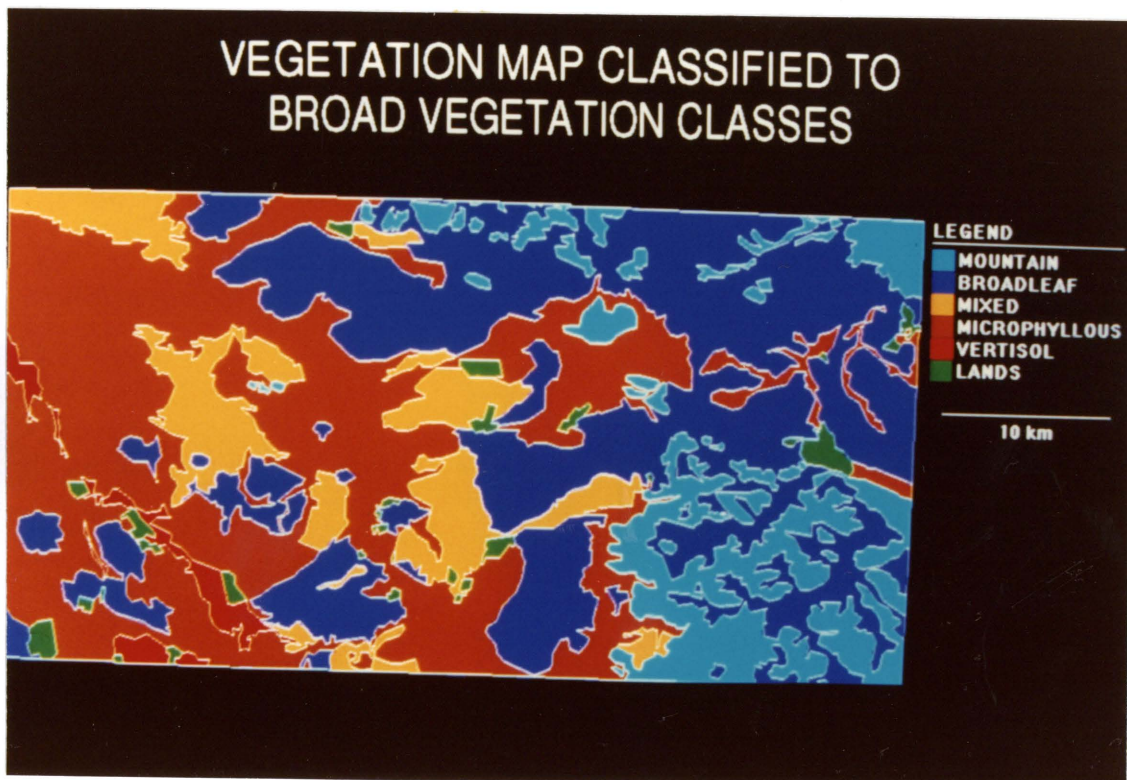


Figure 10 The correspondence of the classified SPOT image simultaneously with all the other maps using an 'and' expression.

HOOFSTUK 6
DIE INVLOED VAN HABITAT OP PLANTEGROEIVERANDERING
VEROORSAAK DEUR BEWEIDING IN DIE NOORDWES-TRANSVAALSE
SUUR- EN GEMENGDE BOSVELD

H.M. van den Berg *

Transvaalse Landbou-ontwikkelings Instituut, Privaatsak
X180, Pretoria 0001, Republiek van Suid-Afrika

G.J. Bredenkamp en N. van Rooyen

Departement Plantkunde, Universiteit van
Pretoria 0002, Republiek van Suid-Afrika

UITTREKSEL

Weidingintensiteitgradiënte is geïdentifiseer in verskillende plantegroeitipes deur van waterpunte en grensdraad-effekte gebruik te maak. Opnamepersele is uitgeplaas op dié gradiënte en die spesiesamestelling is bepaal. Die opname persele is onderwerp aan meerveranderlike analise tegnieke om te bepaal of die spesiesamestelling wel die weidingintensiteit-gradiënte reflekteer. Die individuele spesies van elke plantegroeitipe is geklassifiseer in funksionele groepe (Toenemers en Afnemers), volgens hulle reaksie ten opsigte van weidingsdruk. Dieselfde spesies in verskillende plantegroeitipes is nie noodwendig in dieselfde funksionele groepe geklassifiseer nie. Die plantegroeitipes is baie nou gekorreleer met spesifieke habitats. Die gevolgtrekking is gemaak dat die verskillende plantegroeitipes geldige breë groeperings van habitat is. Die dinamika van beweiding en spesiesamestelling vir die breë

plantegroei- en habitatskeidings behoort in ag geneem te word in veldbestuurprogramme.

ABSTRACT

Grazing intensity gradients were identified in different vegetation types by using water points and fence-line effects. Sample plots were placed on the gradients and the species composition was determined. The samples of a vegetation type were subjected to multivariate analysis techniques to establish whether the species composition reflects the grazing intensity gradients. The individual species of each vegetation type were classified into functional groups (Decreasers and Increasers), according to their reaction to grazing pressure. The same species in different vegetation types did not necessarily classify into the same functional groups. The vegetation types were very closely correlated to specific habitats. It was concluded that the different vegetation types are valid broad divisions of habitat. The dynamics of grazing and species composition for the broad vegetation and habitat divisions should be taken into account for veld management plans.

Additional index words: Veld condition, grazing, veld degradation, multivariate analysis, clay content.

* Gedeelte uit 'n M.Sc.-verhandeling voorgelê deur die eerste outeur aan die Universiteit van Pretoria.

INLEIDING

Dit word vandag algemeen aanvaar dat plantegroeveranderinge oor die korttermyn as gevolg van beweiding, brand en fluktuasies in klimaatomstandighede plaasvind. Sedert die klimatiese klimaks metode van Dyksterhuis (1948), is verskeie metodes ontwikkel om plantegroeveranderinge in terme van 'n veldtoestand te beskryf (Hurt & Bosch 1991).

Die term veldtoestand word op verskeie maniere omskryf afhange van verskillende oogmerke. Die twee algemeenste benaderings is 'n ekologiese- en 'n voerproduksie/agronomiese benadering (Tainton 1988, Rex et al. 1990, Stuart-Hill & Hobson 1991). Die siening dat daar 'n direkte verband tussen veldtoestand en weidingskapasiteit (produksie en smaaklikheid) bestaan (Tainton et al. 1980, Danckwerts 1982, Tainton 1988) word bevraagteken deur O'Reagain & Mentis (1990) en Stuart-Hill (1991). Hulle stel voor dat die toestand van 'n perseel geïnterpreteer word in terme van die posisie wat die perseel beklee, in 'n meerveranderlike ruimte, relatief tot ander persele op 'n degradasiegradiënt.

Uit 'n bestuursoogpunt is dit belangrik om te weet watter weidinggeïnduseerde plantegroeveranderinge verwag kan word by verskillende habitatstoestande. Dit sluit aan by Coetzee (1971) se bevindings dat daar duidelike verskille in potensiaal en kwesbaarheid bestaan tussen verskillende habitats in die

studiegebied. Bosch et al. (1987) en Scholtz (1989) het bevind dat enkele veldverwysingspunte (Tainton 1981), op streeksvlak of vir breë plantegroeklassifikasies, moontlik nie voldoende is nie. Dit is eerder kleiner habitatverskille wat die aantal veldverwysingspunte sal bepaal.

Daar is ook deur Bosch & Janse van Rensburg (1987) en Janse van Rensburg (1987) gevind dat 'n spesie nie dieselfde reageer op beweiding in verskillende habitats nie, en dat hulle groeperings van spesies in toenemer- en afnemerklasse verskil van die groeperings van Foran et al. (1978) en Tainton et al. (1980) in 'n ander makroklimaatstreek.

Van den Berg et al. (1993) het aangetoon dat die verspreiding van die plantegroei op streeksvlak in die studiegebied hoofsaaklik deur habitatverskille bepaal word. Die doel van hierdie studie is om weidingsintensiteitsgradiënte te identifiseer in die verskillende hoofplantegroei- of habitatstipes, soos geïdentifiseer deur Van den Berg et al. (1993), en om die invloed van habitat op spesieveranderings, as gevolg van beweiding, te bepaal.

STUDIEGEBIED

Die studiegebied beslaan 1 407 km² en is geleë tussen 24° 00' en 24° 15' Suiderbreedte, en 27° 15' en 27° 45' Oosterlengte (Figuur 1). Drie veldtipes (Acocks 1988) word in die gebied

aangetref, naamlik: Suur Bosveld, Gemengde Bosveld en Dorre Soet Bosveld. Die suid-oostelike gedeelte van die gebied word beslaan deur 'n gedeelte van die Waterberge, terwyl die oorblywende gedeelte gelykliggend is. Die Matlabas-, Mamba-, Bulge- en Malmanies-riviere vorm die hoof riviersisteme wat die gebied dreineer.

Die grootste verskil in reënval in die gebied is tussen die Waterberge en die gelykliggende gebied. Die mediaanreënval van agt waarnemingspunte oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 33 jaar, vir die gelykliggende gebied varieer van 462 mm/jaar tot 548 mm/jaar (Erasmus 1987). Die standaardafwyking varieer van 132 mm/jaar tot 158 mm/jaar. Die mediaanreënval van twee waarnemingspunte, oor 'n gemiddelde waarnemingstydperk van 52 jaar vir die Waterberge, is 667 mm/jaar en 721 mm/jaar. Die standaardafwyking is onderskeidelik 150 mm/jaar en 181 mm/jaar.

METODES

Van den Berg (1989a) & Van den Berg et al. (1989) het die studiegebied gestratifiseer en hoof plantegroeitipes onderskei. In die hoof plantegroeitipes is 140 persele subjektief in 1991 uitgeplaas volgens veldtoestandverskille wat waargeneem kon word, soos by waterpunte en grensdraad-effekte (Janse van Rensburg 1987, Bosh & Gauch 1991).

Die twee datastelle van 1989 bestaande uit 101 persele, en 'n

gedeelte van die datastel van 1991, bestaande uit 83 persele (in 'n goeie of lig oorbenutte toestand), is gebruik om die plantegroei van die gebied in hoof ekologiese groepe in te deel en plantegroei-habitatverwantskappe vas te stel (Van den Berg 1993).

Die kruidstratum is met behulp van 200 naaste individu punt opnames gemonster (Tidmarsh & Havenga 1952, Mentis et al. 1980, Mentis 1981, Hardy & Walker 1991). Waneer die naaste individu verder as 300 mm vanaf die punt voorgekom het, is dit as 'n mis aangeteken en is die persentasie "kaalgrond" bereken (Mentis 1984 aangehaal in Snyman 1989). Die basale bedekking is gemonster deur alle treffers aan te teken (Tidmarsh & Havenga 1955). Aangesien 200 punte nie as genoegsaam beskou kan word vir die betroubare bepaling van basale bedekking in meer ariede gebiede nie (Stuart-Hill 1989, Snyman 1990), is die basale bedekking ook geskat deur dit te vergelyk met diagramme van proporsionele verteenwoordiging (Kawai 1970). Die dominante bome en struike (Edwards 1983) is aangeteken. Die persentasie kroonbedekking van die verskillende houtagtige spesies is geskat volgens Edwards (1983). Die mate van bosverdigting is ook subjektief geskat volgens die volgende skaal: 0 = geen verdigting, 1 = effens verdig, 2 = matig verdig, 3 = ernstig verdig. Dit is gedoen aan die hand van veldverwysingspunte (Foran et al. 1978, Tainton et al. 1978; 1980) per spesifieke plantegroei-habitattipe.

Die volledige 140 persele van 1991 is georden deur van ordeningstegnieke soos Hoofkomponent analise (PCA), "Reciprocal

Averaging" (RA) en "Detrended Correspondence Analysis" (DECORANA) gebruik te maak (Gauch 1982). Die persele van elke hoofekologiese groep is afsonderlik georden. Spesies is op dieselfde wyse afsonderlik per hoofekologiese groep georden. Daar is net van grasspesies en nie-grasagtige kruide, wat as 'n enkele groep beskou is, gebruik gemaak. Tribulus terrestris is afsonderlik van die kruide genoteer as gevolg van die hoë voorkoms daarvan.

Die reaksies van individuele grasspesies op beweiding is bepaal. Die polinomiese regressietegniek soos toegepas deur Janse van Rensburg (1987) het nie bevredigende resultate gelewer nie, met betreklike lae R-kwadraat waardes. Die nie-normaalverspreiding van die data het veroorsaak dat hoë of lae waardes die gemiddelde skeef getrek het. Eenvoudige lineêre regressies is wel uitgevoer om die korrelasie tussen veldtoestand, die berekende- en beraamde basale bedekking en die persentasie kaalgrond te bepaal.

Daar is besluit om eerder van mediane gebruik te maak om die kruidagtige spesies in funksionele groepe te deel. "Multiple Box-and-Whisker-Plots" is uitgevoer op al die spesies wat in meer as 10 persele per hoofekologiese groep waargeneem is. "Notched Box-and-Whisker-Plots" is gebruik om te bepaal of die mediane betekenisvol by 95 persent sekerheid van mekaar verskil. Die verband tussen veldtoestand, berekende- en beraamde basale bedekking en die persentasie kaalgrond is op dieselfde wyse ontleed. Uit die mediane van die "Multiple Box-and-Whisker-Plots" is spesiekrommes verkry. Die kruidagtige spesies is

daarna in funksionele groepe geklassifiseer (Vorster 1982, Trollope et al. 1990). Die vier funksionele groepe gebruik in die studiegebied is:

a. Afnemers

Dit is spesies wat dominant is in veld wat in 'n goeie toestand is, maar afneem onder oorbenutting.

b. Toenemers 2a

Die spesies is skaars in veld wat in 'n goeie toestand is, maar neem toe as die veld lig oorbewei word. Die spesies neem weer af as die veld matig oorbewei word.

c. Toenemers 2b

Die spesies neem toe in veld wat matig oorbewei is, maar neem weer af in veld wat ernstig oorbewei is.

d. Toenemers 2c

Die spesies neem toe in veld wat ernstig oorbewei is.

RESULTATE

Die resultate van die plantegroeklassifikasie en onderskeiding van hoofekologiese groepe word volledig deur Van den Berg et al. (1993) behandel. Die hoofekologiese groepe of plantegroeitipes is kortliks soos volg:

a. Bergplantegroei.

Dit verteenwoordig die plantegroei wat op die Waterberge en kliprandjies in die gebied voorkom. Diplorhynchus condylocarpon en Pseudolachnostylis maprouneifolia is gewoonlik opvallende boomspesies en kenmerkend van die plantegroeitipe. Dié plantegroeitipe kom voor op die Ib-en Fa-landtipes (Landtipe-opnamepersoneel 1988). Die geologiese substraat is Waterberg sandsteen.

Aangesien dié plantegroei nie voldoende langs weiding-gradiënte gemonster is nie, sal daar nie verder na die plantegroeitipe verwys word nie.

b. Breëblaarplantegroei.

Die plantegroeitipe is in Breëblaarplantegroei A en Breëblaarplantegroei B onderverdeel.

i. Breëblaarplantegroei A word deur Terminalia sericea en Burkea africana gekenmerk. Dit kom op sandgronde voor wat meer geloog is en 'n laer klei-inhoud en pH het, as in die geval van Breëblaarplantegroei B (Van den Berg et al. 1993).

ii. Breëblaarplantegroei B word gekenmerk deur Combretum apiculatum en Pterocarpus rotundifolius.

Breëblaarplantegroei A en B kom op die Bb-, Ad- en Ah-landtypes voor, met die gemiddelde kleipersentasie van die B21-horison tussen 0% en 15%. Die onderliggende geologiese gesteentes is Waterberg sandsteen en -skalie.

c. Gemengde plantegroei.

Combretum apiculatum, Acacia nigrescens en Acacia erubescens is kenmerkende houtagtige spesies van dié plantegroeitipe. Dit kom hoofsaaklik voor op landtypes waarvan die gemiddelde kleipersentasie van die B21-horison tussen 10% en 25% is, en verteenwoordig 'n intermediêre posisie tussen die breë- en fynblaarplantegroei. Combretum apiculatum vorm die breëblaarkomponent en Acacia-spesies die fynblaarkomponent. Die geologie van dié gebied bestaan uit Waterberg sandsteen en -skalie, veldspatiese sandsteen en diabaas. Die gronde is gewoonlik 'n mengsel van die verwerkingprodukte van dié gesteentes.

d. Fynblaarplantegroei

Hierdie plantegroeitipe varieer aansienlik floristies, asook en in struktuur, en kan in verskeie kleiner gemeenskappe gedeel word. Die houtagtige spesies word hoofsaaklik deur Acacia-spesies, soos: Acacia nigrescens, Acacia erubescens, Acacia tortilis en Acacia mellifera verteenwoordig. Grewia flava is ook 'n algemene struik. Fynblaarplantegroei kom meestal op die Ae- en Ea-landtypes met 'n gemiddelde

kleipersentasie (B21-horison) van meer as 25% voor. Die geologie is meestal diabaas en soms ook skalie.

e. Vertisolplantegroei

Hierdie plantegroeitipe kom uitsluitlik op vertisols voor. Brachiaria eruciformis is 'n differensiërende grasspesie wat altyd teenwoordig is. Acacia tenuispina is 'n kenmerkende struik wat voorkom, maar is soms totaal afwesig, terwyl ander houtagtige spesies dominant is, soos: Acacia nigrescens, Acacia mellifera, Acacia tortilis en Grewia flava. Die kleipersentasie van die vertiese A-horison is meer as 50% en die landtipe is 'n Ea-landtipe wat hoofsaaklik uit alluvium ontstaan het.

'n DECORANA-, 'n RA- en 'n PCA-ordening van persele langs 'n weidingintensiteitgradiënt in die fynblaarplantegroeitipe word onderskeidelik in Figure 2, 3 en 4 getoon. Die DECORANA- en RA-ordening het meer interpreteerbare resultate gelewer as die PCA-ordening, alhoewel 'n weidingintensiteitgradiënt ook waarneembaar is in die PCA-ordening. Weidingsintensiteitgradiënte is duidelik waarneembaar in DECORANA-ordenings van persele in die twee breeëblaar-, die gemengde-, en die vertisolplantegroeitipes (Figure 5, 6, 7 en 8). Spesieveranderings as gevolg van beweiding oorheers dus ander kleiner habitatverskille binne 'n hoof plantegroeitipe. Dit dui daarop dat die skeidings in hoof plantegroeitipes geldige skeidings is. Verdere skeidings in die hoof plantegroeitipes behoort egter wel kleinere habitatverskille

uit te skakel, met minder "noise" in die ordenings (Gauch 1982).

'n Voorbeeld van 'n meervoudige "Box-and-Whisker-Plot" om die reaksie van 'n enkele spesie op beweiding te bepaal word getoon in Figuur 9. Die indeling van die spesie in 'n funksionele groep word volgens dié spesiekromme gedoen. Hiervolgens is Brachiaria nigropedata 'n Toenemer 2a. 'n Opsomming van die spesiekrommes word in Figuur 10 getoon. Hieruit is dit duidelik dat 'n spesie nie altyd dieselfde reageer op beweiding in die verskillende habitats nie. Daar kan byvoorbeeld afgelei word dat Eragrostis rigidior 'n Toenemer 2a of 2b kan wees in die Breëblaarplantegroei A, 'n Toenemer 2b in die Breëblaarplantegroei B en die Gemengde plantegroei en 'n Afnemer in die Fynblaarplantegroei.

Kruide, kaalgrond, berekende- en beraamde basale bedekking word ook as funksionele groepe in Figuur 10 aangetoon. Daar is 'n duidelike verband tussen afnemende basale bedekking en verswakkende veldtoestand. Die R-kwadraatwaardes verkry uit die lineêre regressies was oor die algemeen laag en dui op die nie-normaalverspreiding van die data. Dit stem ooreen met Mentis et al. (1980) wat wys op die probleme verbonde aan die meting van basale bedekking. Die R-kwadraatwaardes van die korrelasie van die beraamde basale bedekking met veldtoestand was ongeveer 15% hoër as wat verkry is uit die korrelasie tussen die berekende basale bedekking en veldtoestand. Dit steun die bevindinge van Stuart-Hill (1989) en Snyman (1990) dat basale bedekking, gemonster met 'n wiewpunt, onbetroubaar is in die meer ariede

gebiede as daar nie van uitermate baie punte (1000-2000) gebruik gemaak word nie (Hofmann & Ries 1990).

Benewens die kruidlaag het die houtagtige spesies ook 'n verandering getoon op die weidingintensiteitgradiënte. Bosverdigting het toegeneem van bykans geen verdigting van persele wat in 'n goeie toestand is, tot onderskeidelik 0%, 33%, 44%, 54% en 50% van die persele wat ligte tot matige verdigting toon in die Breëblaarplantegroei A, Breëblaarplantegroei B, Gemengde-, Fynblaar- en Vertisolplantegroei.

BESPREKING

Uit die ordenings van die persele, afsonderlik vir die hoofekologiese groepe, is dit duidelik dat beweiding die spesiesamestelling van die kruidlaag sodanig verander het dat kleiner variasies in die habitat minder belangrik geword het, en dat die persele hoofsaaklik langs 'n weidingintensiteitgradiënt versprei is. Dit bevestig ook dat die subjektiewe uitsoek van persele langs weidingintensiteitgradiënte suksesvol was.

Die reaksie van spesies verskil tussen die hoofekologiese groepe en bevestig die bevindings van Janse van Rensburg (1987) en Van Rooyen et al. (1991), dat die ekologiese status van 'n spesie deur habitat beïnvloed word. Verskeie outeurs (Janse van Rensburg 1987, O'Connor 1991, Peel et al. 1991, Snyman 1989, Snyman & Van Rensburg 1990, Van Rooyen et al. 1990), het egter

bevind dat reënvalveranderings ook 'n baie groot invloed uitoefen op veldtoestand. Daar word geredeneer dat reënval, in die meer ariede gebiede, die bepalende faktor vir plantegroei veranderings is, en dat veranderings deur beweiding veroorsaak ondergeskik hieraan is (Hoffman & Cowling 1990; Mace 1991). Die resultate van dié studie dui egter daarop dat beduidende veranderings in die studiegebied plaasgevind het as gevolg van beweiding. Die presiese verhouding van die veranderings, met betrekking tot reënval, is nie bepaal nie. Daar kan wel aan die hand van die soort veranderings wat plaasgevind het, soos 'n toename in eenjarige grasspesies en kruide en 'n afname in meerjarige spesies en basale bedekking, met die bevinding van Snyman & Van Rensburg (1990) saamgestem word dat veld in 'n swak toestand, onder droogte toestande, meer gevoelig vir verdere degradasie sal wees, as veld in 'n goeie toestand.

Dit was nie moontlik om te bepaal of die veld wat subjektief langs 'n weidingintensiteitgradiënt as in "goeie toestand" geklassifiseer is, wel in die optimum toestand is nie. Veld wat glad nie benut of onderbenut is, is skaars of afwesig in die studiegebied. Die Toenemer I-kategorie soos gebruik deur Foran et al. (1978), vir spesies wat toeneem onder onderbenutting, is nie van toepassing gevind nie. Dit word ook ondersteun deur die bevindings van Trollope (1990) en Van Rooyen et al. (1991) vir veld in die meer ariede dele. Aangesien die Bergplantegroei nie voldoende gemonster is vir veldtoestand nie, en dit wel grootendeels suurveld is (Acocks 1988), mag dit wees dat hier wel spesies sal wees wat sal toeneem, in die afwesigheid van brand,

as gevolg van onderbenutting.

Die plantegroeitipes verskil in sensitiwiteit vir bosverdigting. In die Breëblaarplantegroei A het geen verdigting voorgekom nie. In die Breëblaarplantegroei B vorm Pterocarpus rotundifolius digte groeiperings. Dit gaan ook soms gepaard met verdigting van Dichrostachys cinerea. Acacia erubescens, Combretum apiculatum en Terminalia sericea toon in 'n mindere mate 'n neiging om te verdig in dié plantegroeitipe, alhoewel digte stande wel voorkom. In die Gemengde plantegroei is dit Acacia nigrescens, Acacia erubescens en Dichrostachys cinerea wat geneig is om toe te neem. Die Fynblaarplantegroei blyk om die meeste sensitief te wees vir bosverdigting. Spesies wat toeneem is Acacia erubescens, Acacia mellifera, Acacia nigrescens, Acacia nilotica, Acacia tortilis en Dichrostachys cinerea. In die geval van die Vertisolplantegroei is dit veral Acacia tenuispina wat verdig en soms ook Acacia mellifera in spesifieke sub-habitatte. Onder ernstige versteurings soos in die geval van ou-landerye is dit hoofsaaklik fynblaarspesies soos Acacia tortilis, Acacia erubescens, Acacia mellifera en Dichrostachys cinerea wat weer die ou-lande koloniseer (Van den Berg 1989b) en 'n relatiewe stabiele plantegroei vorm, selfs waar breëblaar spesies eers gedomineer het (Walker 1982).

Van den Berg (1987) het bevind dat daar 'n reglynige verband bestaan tussen toenemende klei-inhoud en Acacia karroo wat toeneem tot en met 'n klei-inhoud van ongeveer 45%. Dit kan toegeskryf word aan die eienskappe van kleigronde soos die

inherente hoër vrugbaarheid, 'n laer infiltrasie tempo en 'n verhoogde erosiepotensiaal (Takar et al. 1990). Dit is dus moontlik dat die Fynblaarplantegroei oor die algemeen aan 'n hoër graad van beweiding blootgestel is as gevolg van die groter smaaklikheid van grasspesies, as die ander plantegroeitipes, en dat daar nie meer veld in 'n optimumtoestand voorkom in die studiegebied nie. Dit kan dus wees dat spesies soos Eragrostis rigidior wat as 'n Afnemer geklassifiseer is in die plantegroeitipe, moontlik eerder as 'n Toenemer 2a geklassifiseer sou kon word (Burger S.W. 1992 pers. mededeling, Towoomba Landbou-ontwikkelingsentrum, Privaatsak X1615, Warmbad, 0480).

Die resultate van die studie dui daarop dat beweiding tesame met ander faktore soos brand en reënval kan veroorsaak dat die veerkragtigheid van 'n ekosisteem oorskry kan word en plantegroeiveranderings kan veroorsaak wat onomkeerbaar mag wees, en nie met gewone bestuursmaatreëls herstel kan word nie. In die studiegebied is bosverdigting waarskynlik die ernstigste verandering en ook een wat die duurste sal kos om te herstel (Smit 1992).

GEVOLGTREKKING

Alhoewel die verband tussen veldtoestand en diereproduksie nie altyd so duidelik is nie (O'Regain & Mentis 1990, Owen-Smith 1991, Wilson & Macleod 1991), is dit duidelik dat daar gewaak moet word om veralgemenings te maak vir verskillende ekosisteme.

Dit is aangetoon dat daar duidelike veranderings in spesiesamestelling plaasgevind het as gevolg van beweiding, en dat die veranderings verskil van habitat tot habitat. Die verskillende habitatte se erosiepotensiaal en geneigtheid tot bosverdigting verskil en daar moet gewaak word dat drumpels ("thresholds") nie oorgesteek word na ander domeine van attraksie (Bosch & Gauch 1991, Friedel 1991, Laycock 1991), vanwaar daar nie teruggekeer kan word na die oorspronklike toestand sonder drastiese (kapitaal-intensiewe) rehabilitasie stappe nie. Die gevolgtrekking moet gemaak word dat veld in hierdie studiegebied, wat in 'n ekologiese goeie toestand is (Tainton et al. 1980), waarskynlik ook die beste resultate in terme van volgehoue diereproduksie oor die langtermyn sal lewer.

Verdere navorsing om die veerkragtigheid van die hoof ekologiese groepe te bepaal, is nodig veral om die verband tussen reënvalgeïnduseerde- en beweidinggeïnduseerde plantegroei-veranderings vas te stel. Dit is ook nodig om die verband tussen habitat, klimaat, veldtoestand, smaaklikheid van spesies en veldproduksie te bepaal voor daar 'n weidingskapasiteit vir 'n habitat vasgestel word. Aan die hand van die verskillende veranderlikes genoem, sal weidingskapasiteit ook nie 'n vaste syfer wees nie, maar tussen 'n minimum en 'n maksimum kan varieer, afhangende van veldtoestand en klimaatfluktuasies.

Uit hierdie resultate word voorgestel dat habitatsklassifikasie 'n groter rol moet speel in weiveldbestuur en dat veldbestuureenhede of veldekotope (MacVicar et al. 1986) 'n

integrale deel van enige veldbestuurbeplanning moet uitmaak.

DANKBETUIGINGS

Dr. B.E. Eisenberg (Arimetrie Instituut, Privaatsak X640, Pretoria, 0001) word hiermee bedank vir sy hulp met die statistiese indeling van spesies in funksionele groepe.

Bates Booyens en Hannes Pretorius van die Transvaal Landbou-ontwikkelings Instituut word bedank vir die hulp wat tydens die veldwerk in 1991 verleen is.

VERWYSINGS

ACOCKS J.P.H. 1988. Veld types of South Africa. 3rd edition. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 57: 1-146. Government Printer, Pretoria.

BOSCH O.J.H. & GAUCH H.G. 1991. The use of degradation gradients for the assessment and ecological interpretation of range condition. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 138-146.

BOSCH O.J.H. & JANSE VAN RENSBURG F.P. 1987. Ecological status of species on grazing gradients on the shallow soils of the western grassland biome in South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 4: 143-147.

- BOSCH O.J.H., JANSE VAN RENSBURG F.P. & TRUTER S. du T. 1987. Identification and selection of benchmark sites on litholitic soils of the western grassland biome of South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 4: 59-62.
- COETZEE J.J. 1971. Die landboupotensiaal van die Noordwes-Transvaalse soetbosveld. D.Sc.-proefskrif, Universiteit Pretoria.
- DANCKWERTS J.E. 1982. The grazing capacity of sweetveld: 2. A model to estimate grazing capacity in the False Thornveld of the eastern Cape. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 17: 94-98.
- DYKSTERHUIS E.J. 1949. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. J. Range Manage. 2: 104-114.
- EDWARDS D. 1983. A broad-scale structural classification of vegetation for practical purposes. Bothalia 14: 705-712.
- ERASMUS J.F. 1987. Rainfall deciles for Transvaal Region. SIRI Report No. GB/A/87/18. Department of Agriculture and Water Supply.
- FORAN B.D., TANTON N.M. & BOOYSEN P. de V. 1978. The development of a method for assessing veld condition in three grassveld types in Natal. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 13: 27-33.

- FRIEDEL M.H. 1991. Range condition assessment and the concept of thresholds: A viewpoint. J. Range Manage. **44**: 422-426.
- GAUCH H.G. Jr. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, USA: Cambridge University Press.
- HARDY M.B. & WALKER R.S. 1991. Determining sample size for assessing species composition in grassland. J. Grassl. Soc. South. Afr. **8**: 70-73.
- HOFMANN L. & RIES R.E. 1990. An evaluation of sample adequacy for point analysis of ground cover. J. Range Manage. **43**: 545-549.
- HOFFMAN M.T. & COWLING R.M. 1990. Vegetation change in the semi-arid eastern Karoo over the last 200 years: an expanding Karoo - fact or fiction. S. Afr. J. Sci. **86**, 286-294.
- HURT C.R. & BOSCH O.J.H. 1991. A comparison of some range condition assessment techniques used in southern African grasslands. J. Grassl. Soc. South. Afr. **8**: 131-137.
- JANSE VAN RENSBURG F.P. 1987. Plantegroei- en veranderinge op die ekotope van 'n aantal landtipes in die grasveldbloom. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

- KAWAI K. 1970. Revised standard soil color charts 2nd ed. Research Council for Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.
- LANDTIPE-OPNAMEPERSONEEL 1988. Landtipes van die kaarte 2426 Thabazimbi en 2428 Nylstroom. Mem. nat. Landbouhulpbr. S. Afr. Nr. 10. Departement van Landbou en Watervoorsiening.
- LAYCOCK W.A. 1991. Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands: A viewpoint. J. Range Manage. 44: 427-433.
- MACE R. 1991. Overgrazing overstated. Nature 349, 280-281.
- MACVICAR C.N., VOLSCHENK J.E. & NOTT R.W. 1986. Inventariserings van die potensiaal van natuurlike landbouhulpbronne. Tegniese mededeling No. 204 Pretoria. Departement van Landbou en Watervoorsiening.
- MENTIS M.T. 1984. Monitoring in South African grasslands. SANS Report no. 91, CSIR, Pretoria.
- MENTIS M.T. 1981. Evaluation of the wheel-point and step-point methods of veld condition assessment. Proc. Grassl. Soc. Sth. Afr. 16: 89-94.

- MENTIS M.T., COLLINSON R.F.H. & WRIGHT M.G. 1980. The precision of assessing components of the condition of moist tall grassveld. Proc. Grassl. Soc. Sth. Afr. 15: 43-46.
- O'CONNOR T.G. 1991. Influence of rainfall and grazing on the compositional change of the herbaceous layer of a sandveld savanna. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 103-109
- O'REAGAN P.J. & MENTIS M.T. 1990. The effect of veld condition on the quality of diet selected by cattle grazing the Natal Sour Sandveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 190-195.
- OWEN-SMITH N. 1991. Veld condition and animal performance: application of an optimal foraging model. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 77-81.
- PEEL M.J.S., GROSSMAN D. & VAN ROOYEN N. 1991. Determinants of herbaceous plant species composition on a number of ranches in the north-western Transvaal. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 99-102.
- REX D.P. & BECK R.F. 1990. Range condition from an ecological perspective: Modifications to recognize multiple use objectives. J. Range Manage. 43: 550-552.
- SCHOLTZ M. 1989. 'n Plantekologiese verwysingsperseelnetwerk vir die Hoëveldlandboustreek. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

SMIT G.N. & RETHMAN N.F.G. 1992. Inter-related floristic changes associated with different long-term grazing treatments in Sourish Mixed Bushveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 9: 76-82.

SNYMAN D.D. 1989. Verwantskap tussen veldtoestand reënval en dierebelading in die mopanieveld. M.S.c. Agric.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

SNYMAN D.D. & GROSSMAN D. 1990. Tekortkominge van die naasteplant-metode en Dyksterhuis-verwante klassifikasiesisteme om veldtoestand in semi-ariëde gebiede te bepaal. Tydskrif Weidingsveren. S. Afr. 7: 273-276.

SNYMAN H.A. & VAN RENSBURG W.L.J. 1990. Korttermyn invloed van strawwe droogte op veldtoestand en waterverbruiksdoeltreffendheid van grasveld in die sentrale Oranje-Vrystaat. Tydskrif Weidingsveren. S. Afr. 40: 249-256.

STUART-HILL G.C. 1989. Some problems with using proportional species composition. In: Danckwerts J.E. & Teague W.R. (eds). Veld management in the eastern Cape. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, pp. 92-96.

STUART-HILL G.C. & HOBSON F.O. 1991. An alternative approach to veld condition assessment in the non-grassveld regions of South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 179-185.

TAINTON N.M. (ed) 1981. Veld and pasture management in South Africa. University of Natal Press, Pietermaritzburg.

TAINTON N.M. 1988. A consideration of veld condition assessment techniques for commercial livestock production in South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 5: 76-79.

TAINTON N.M., EDWARDS P.J. & MENTIS M.T. 1980. A revised method for assessing veld condition. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 15: 37-42.

TAINTON N.M., FORAN B.D. & BOOYSEN P. de V. 1978. The veldcondition score: an evaluation in situations of known past management. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 13: 35-40.

TAKAR A.A., DOBROWOLSKI J.P. & THUROW T.L. 1990. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and interrill erosion on a Somalio rangeland.

TIDMARSH C.E.M. & HAVENGA C.M. 1955. The wheel point method of survey and measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 29: 1-4.

TROLLOPE W.S.W. 1990. Development of a Technique for assessing veld condition in the Kruger National Park using key grass species. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 46-51.

TROLLOPE W.S.W., TROLLOPE L.A. & BOSCH O.J.H. 1990. Veld and pasture management terminology in southern Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 52-75.

VAN DEN BERG H.M. 1987. Acacia karroo-Indringing in die BC-landtipe. Ongepubliseerde verslag. Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M. 1989a. Ongepubliseerde Bulgerivier-plantegroei-kaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M. 1989b. Plantegroei-verandering. Ongepubliseerde verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M., BREDENKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993. Die toepassing van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei in die Noordwes-Transvaalse bosveld te bepaal. In voorbereiding, M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., COUSINS R.R., GERBER J.J. & VOS J.E. 1989. Ongepubliseerde Rooibosbult-plantegroei-kaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

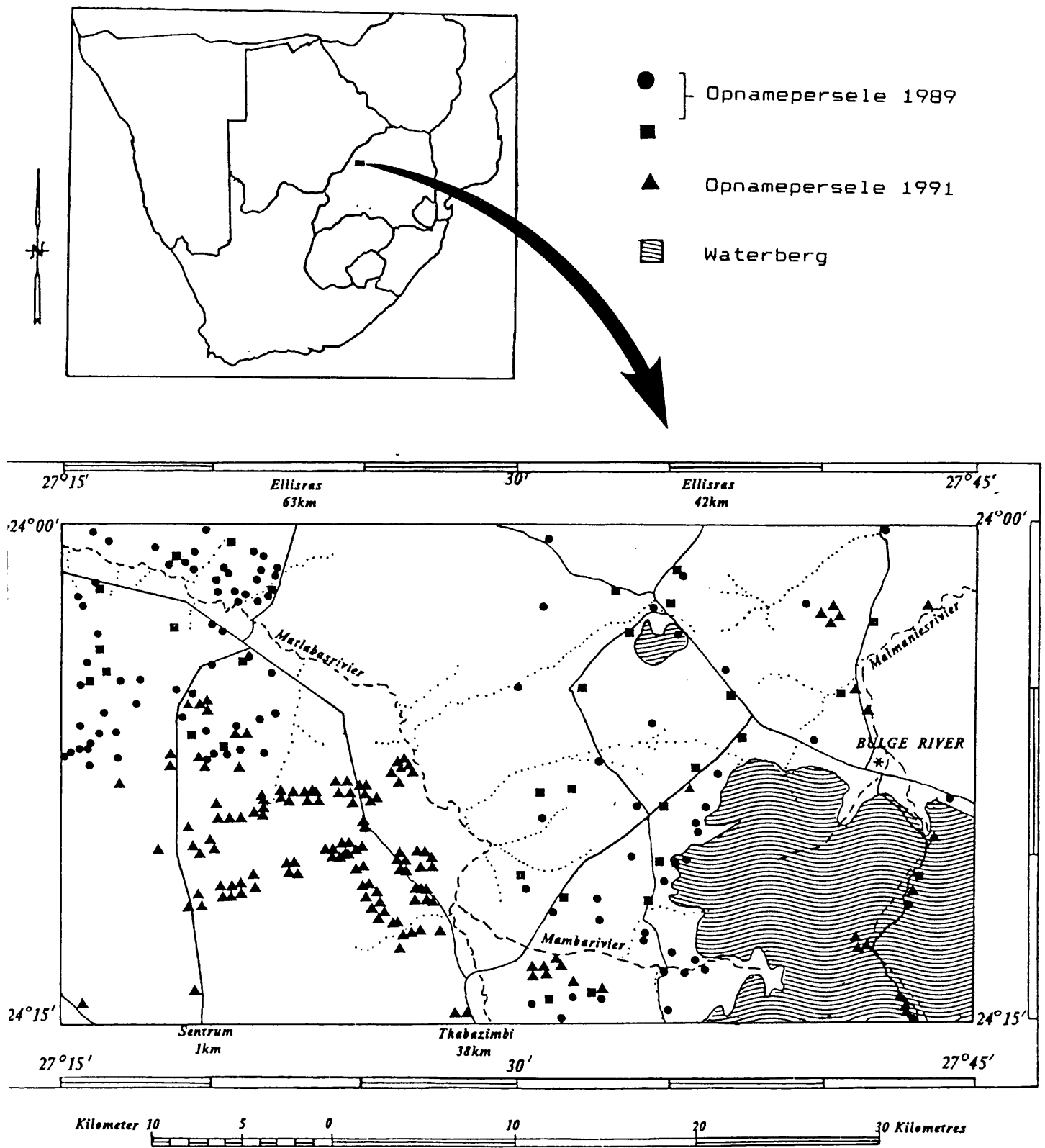
VAN ROOYEN N., BEZUIDENHOUT D., THERON G.K. & DU P. BOTHMA J.
1990. Monitoring of the vegetation around artificial watering
points (windmills) in the Kalahari Gemsbok National Park.
Koedoe 33: 63-88.

VAN ROOYEN N., BREDENKAMP G.J. & THERON G.K. 1991. Kalahari
vegetation: veld condition trends and ecological status of
species. Koedoe 34: 61-72.

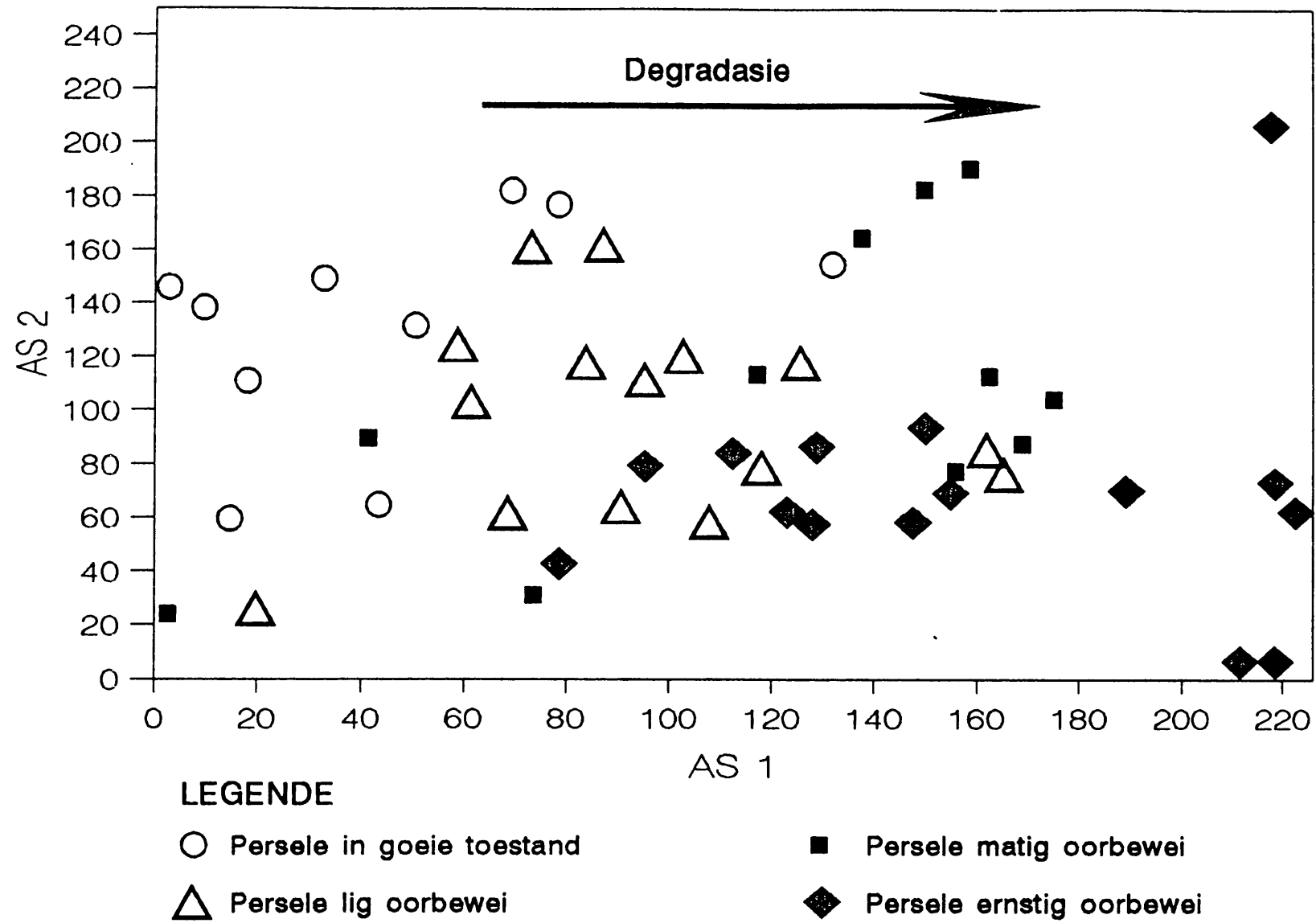
VORSTER M. 1982. The development of the ecological index method
for veld condition in the Karoo. Proc. Grassl. Soc. Sth. Afr.
84-89.

WALKER B.H. & NOY-MEIR I. 1982. Aspects of the stability and
resilience of Savanna ecosystems. In: Huntley B.J. & Walker
B.H. (eds). Ecology of Tropical savannas. Springer-Verlag,
Heidelberg, p. 556-590.

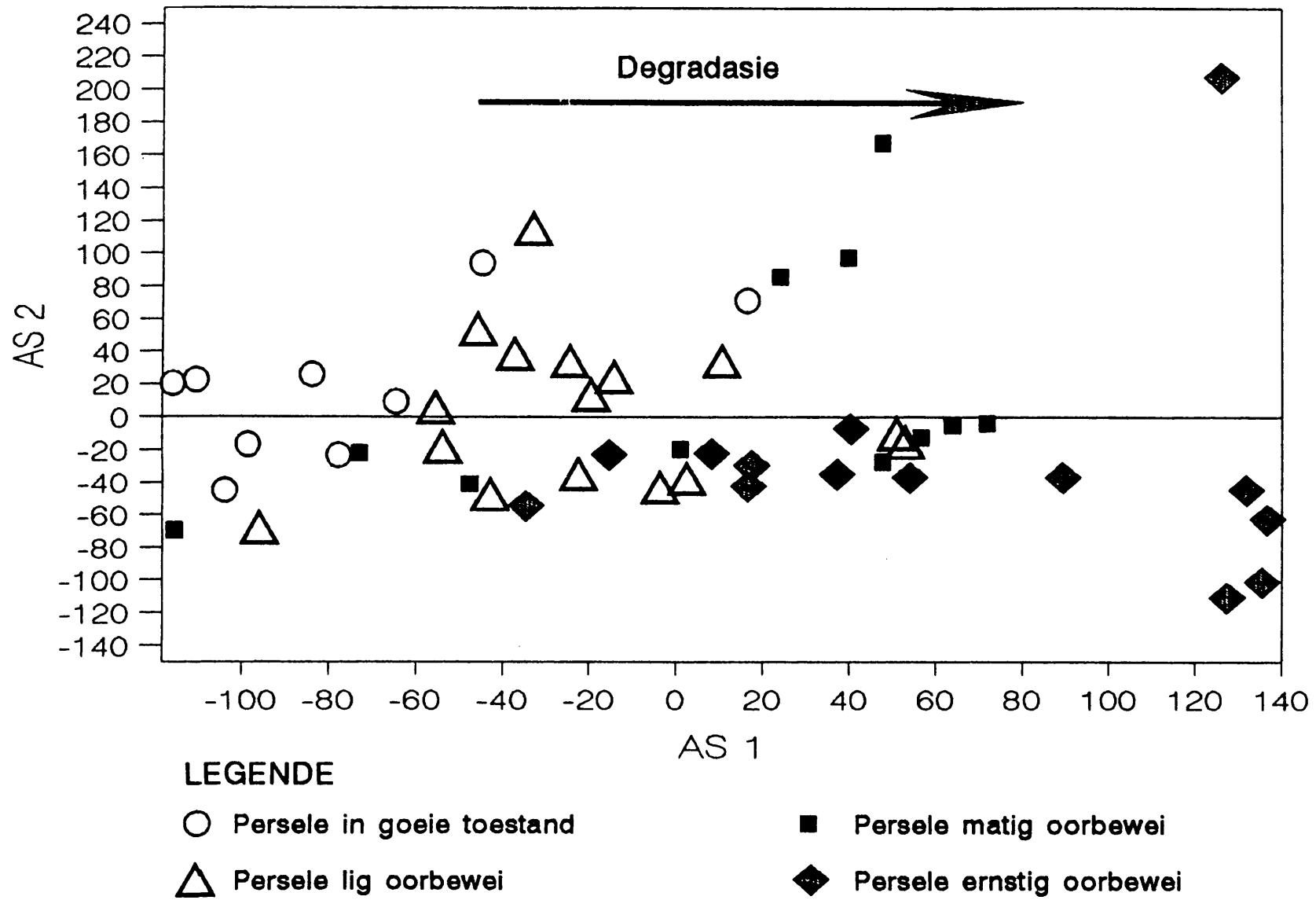
WILSON A.D. & MACLEOD N.D. 1991. Overgrazing: Present or absent?
J. Range Manage. 44: 475-482.



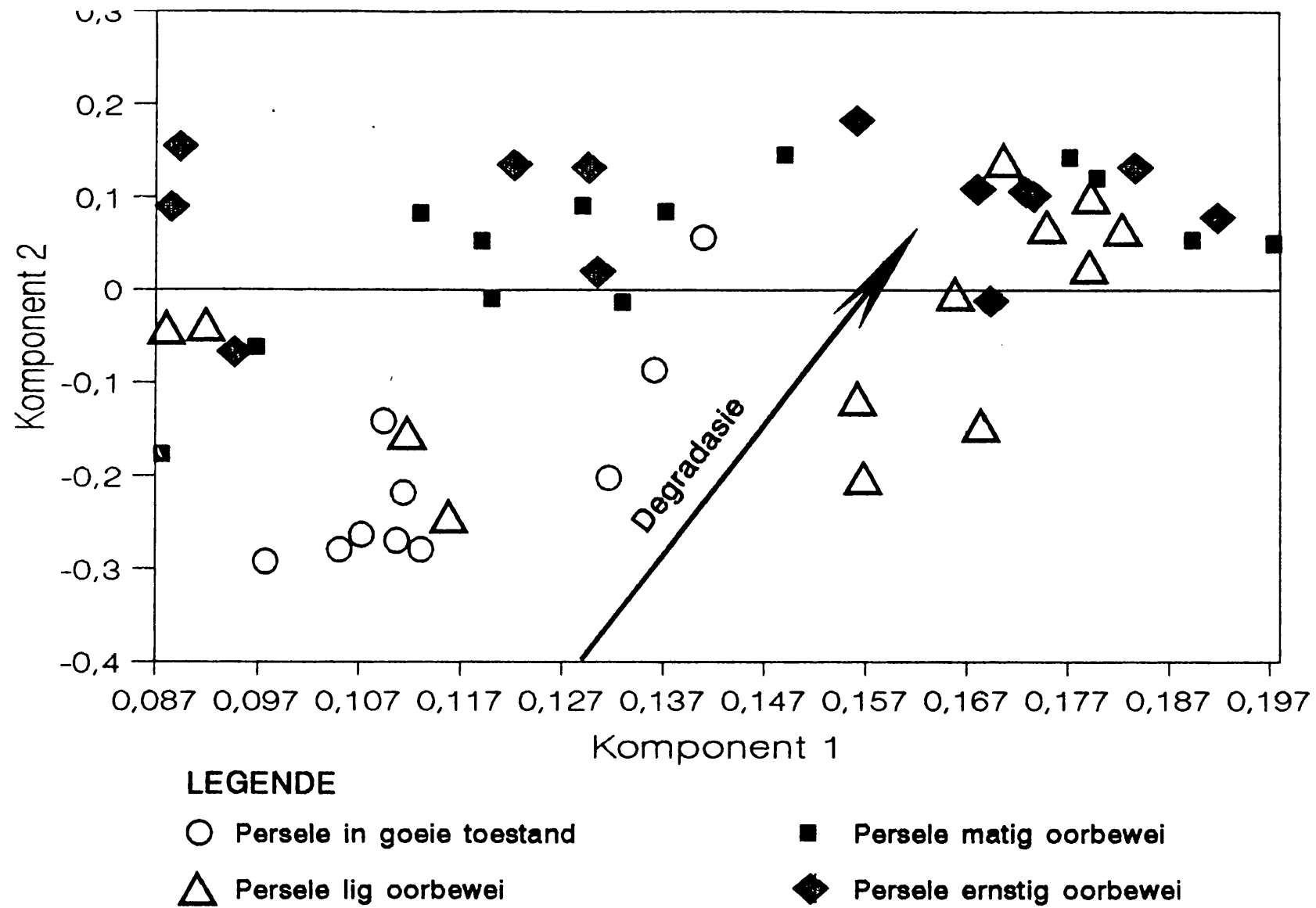
Figuur 1 Studiegebied. Opnamepersele van verskillende data-
stelle word aangetoon.



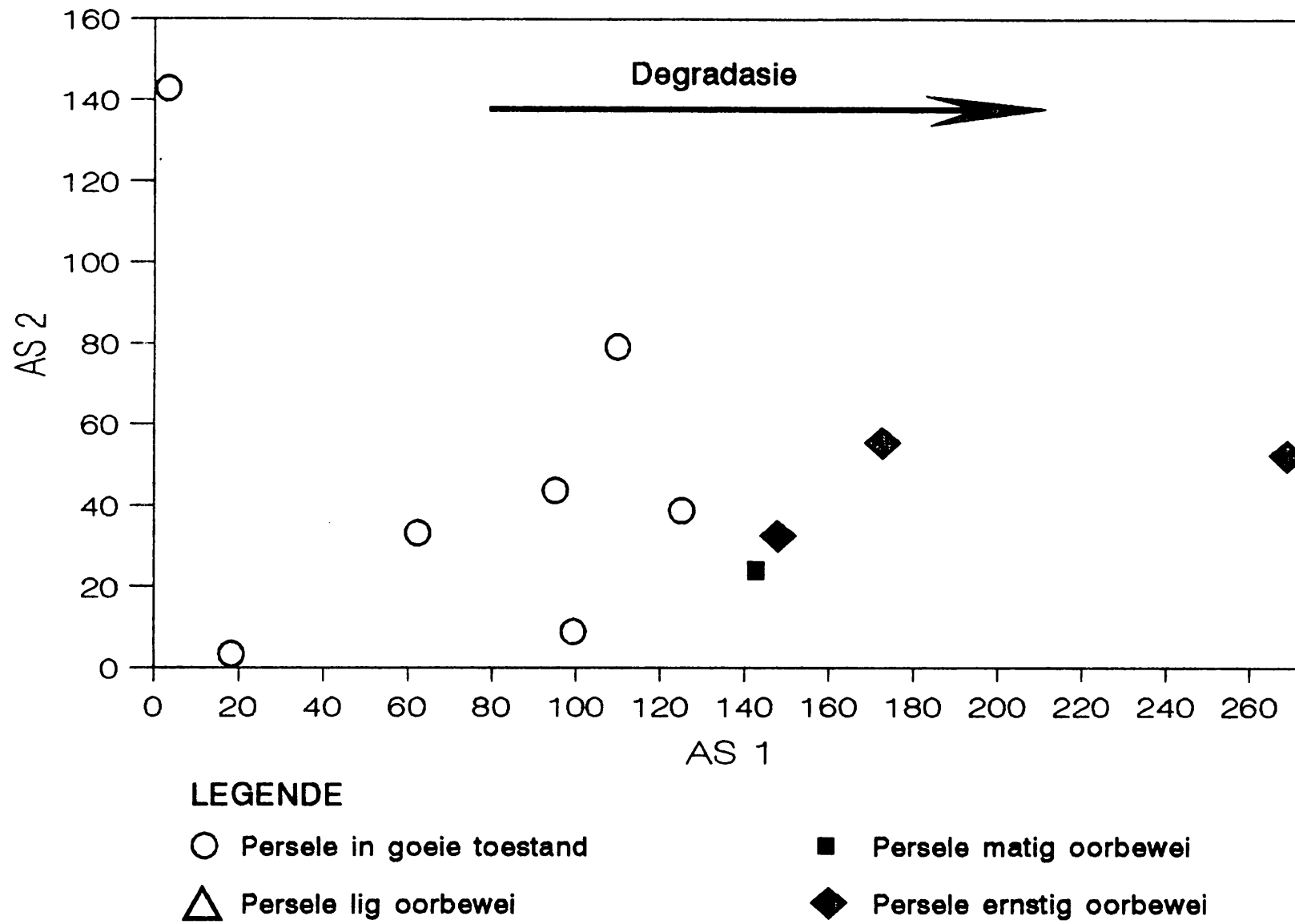
Figuur 2 DECORANA-ordening van die persele in die Fynblaarplantegroei.



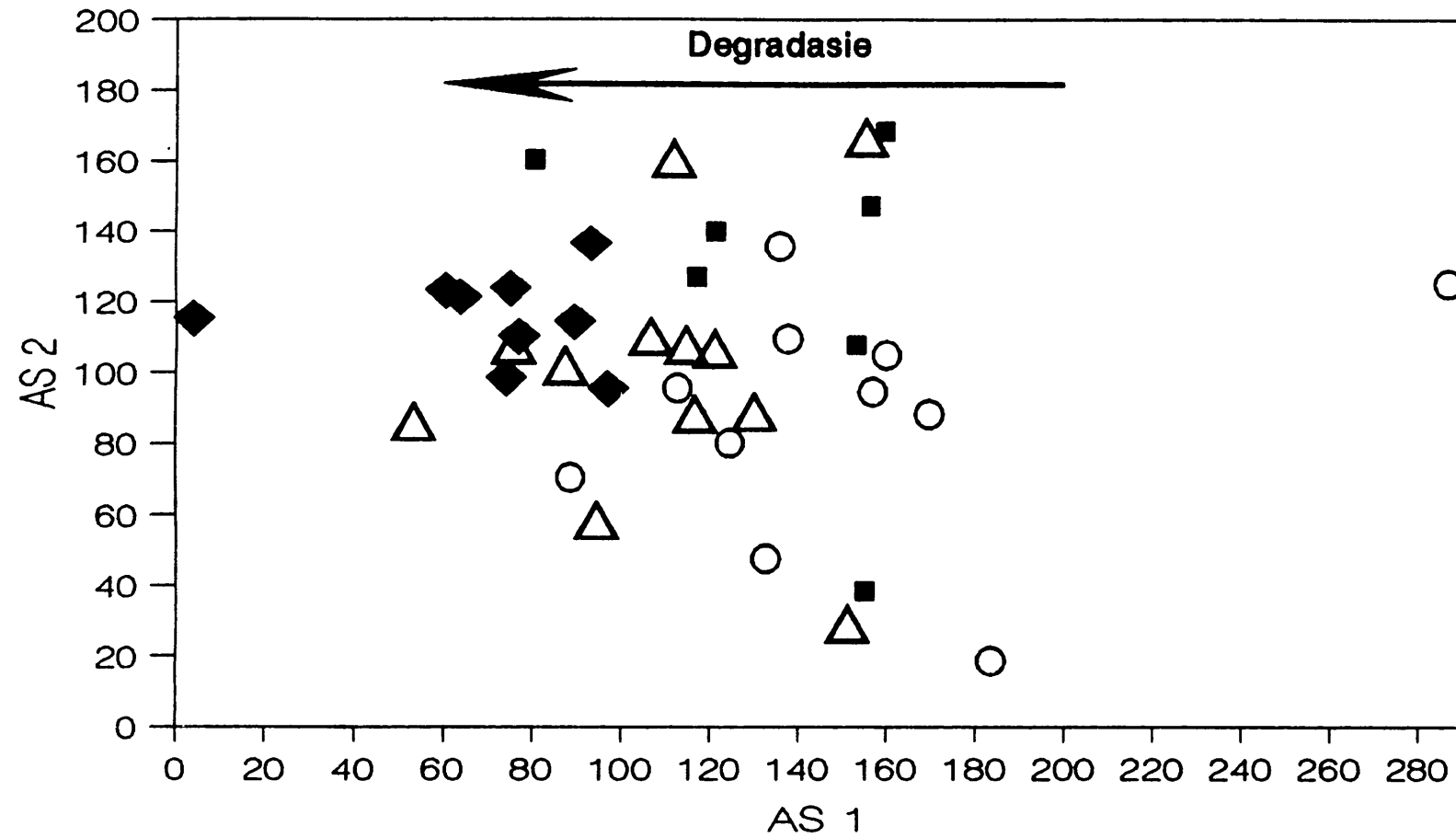
Figuur 3 RA-ordening van die persele in die Fynblaarplantegroei.



Figuur 4 PCA-ordening van die persele in die Fynblaarplantegroei.



Figuur 5 DECORANA-ordening van die persele in die Breëblaar-plantegroei A.



LEGENDE

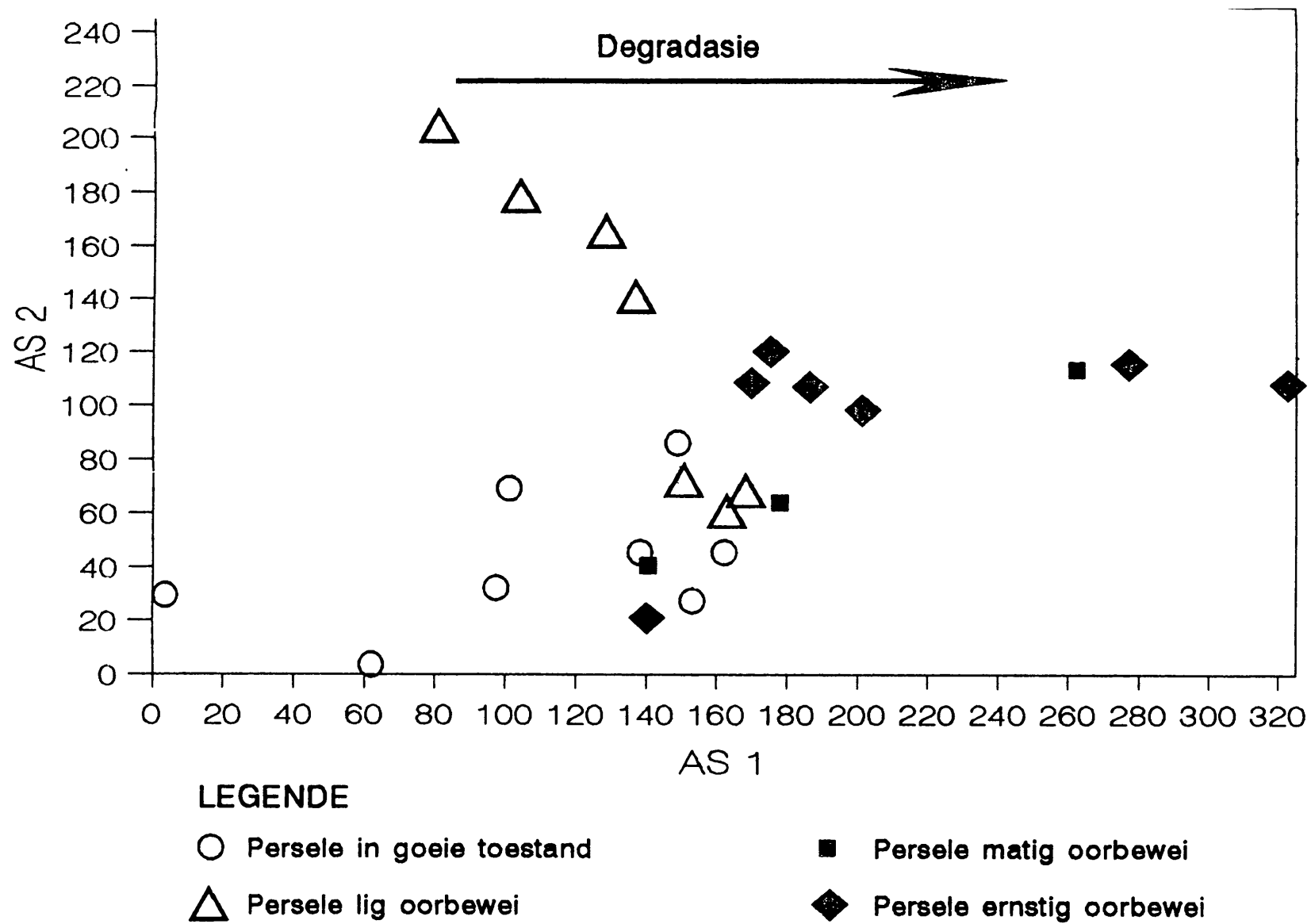
○ Persele in goeie toestand

△ Persele lig oorbewei

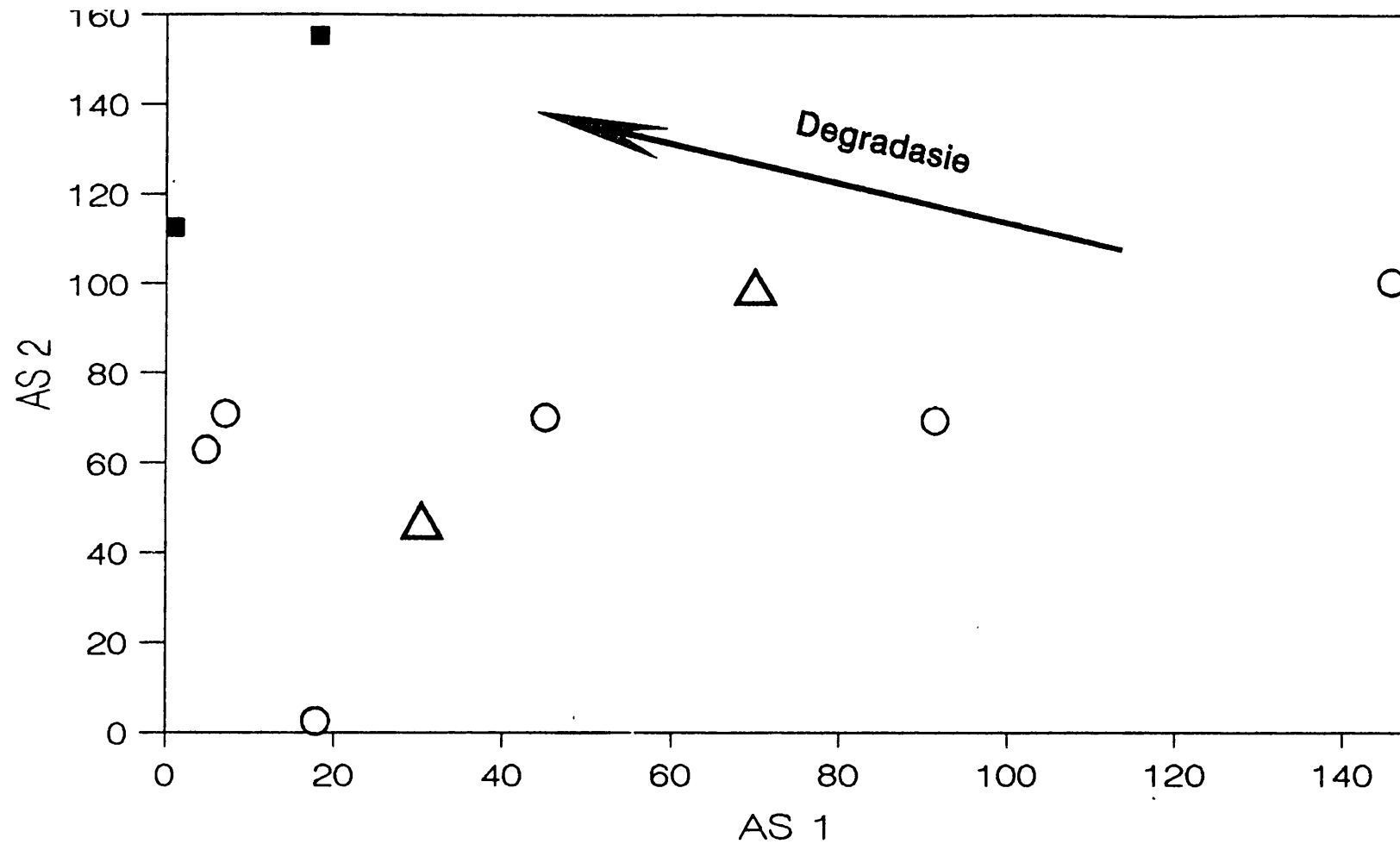
■ Persele matig oorbewei

◆ Persele ernstig oorbewei

Figuur 6 DECORANA-ordening van die persele in die Breëblaar-plantegroei B.



Figuur 7 DECORANA-ordening van die persele in die Gemengde plantegroei.



LEGENDE

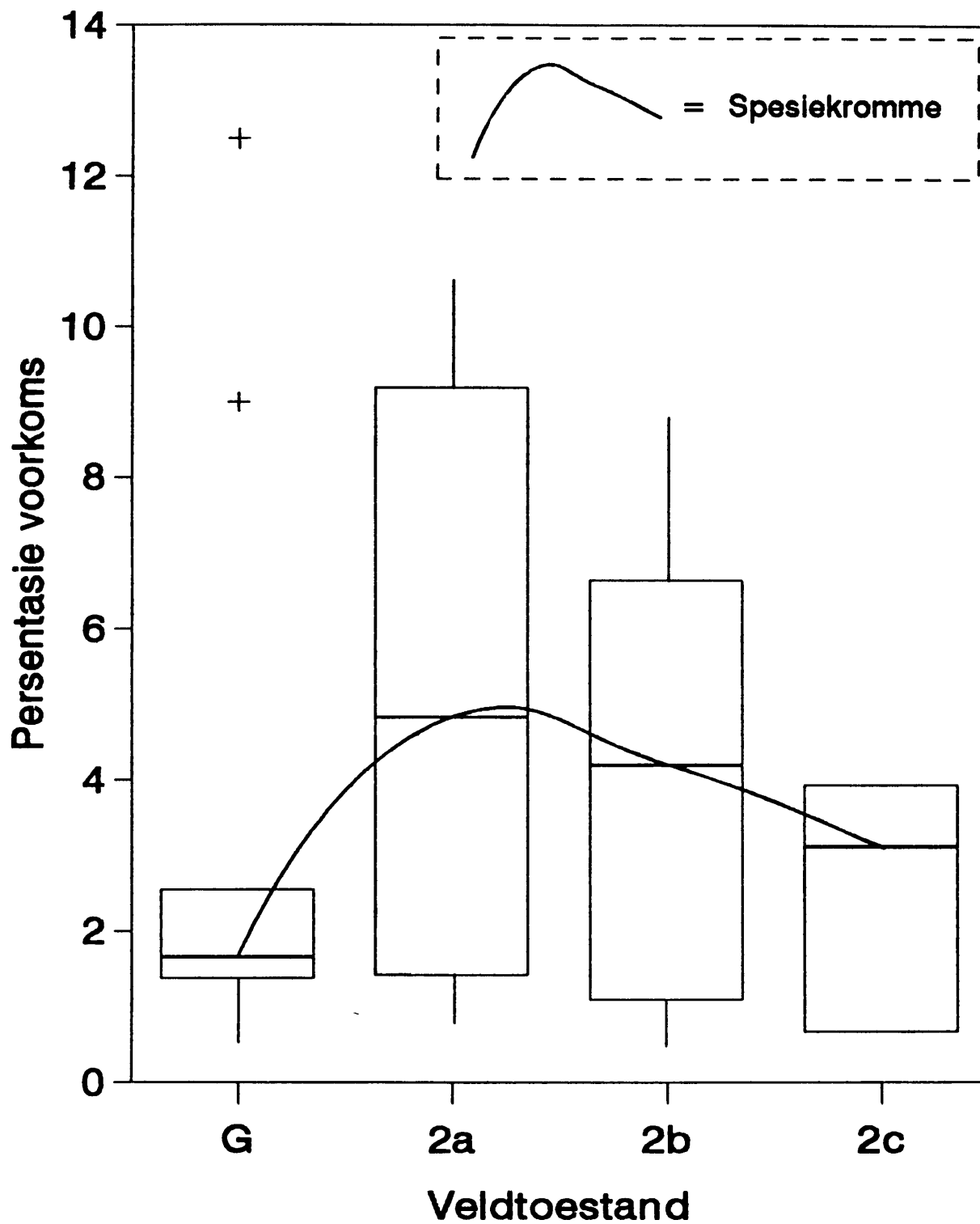
○ Persele in goeie toestand

■ Persele matig oorbewei

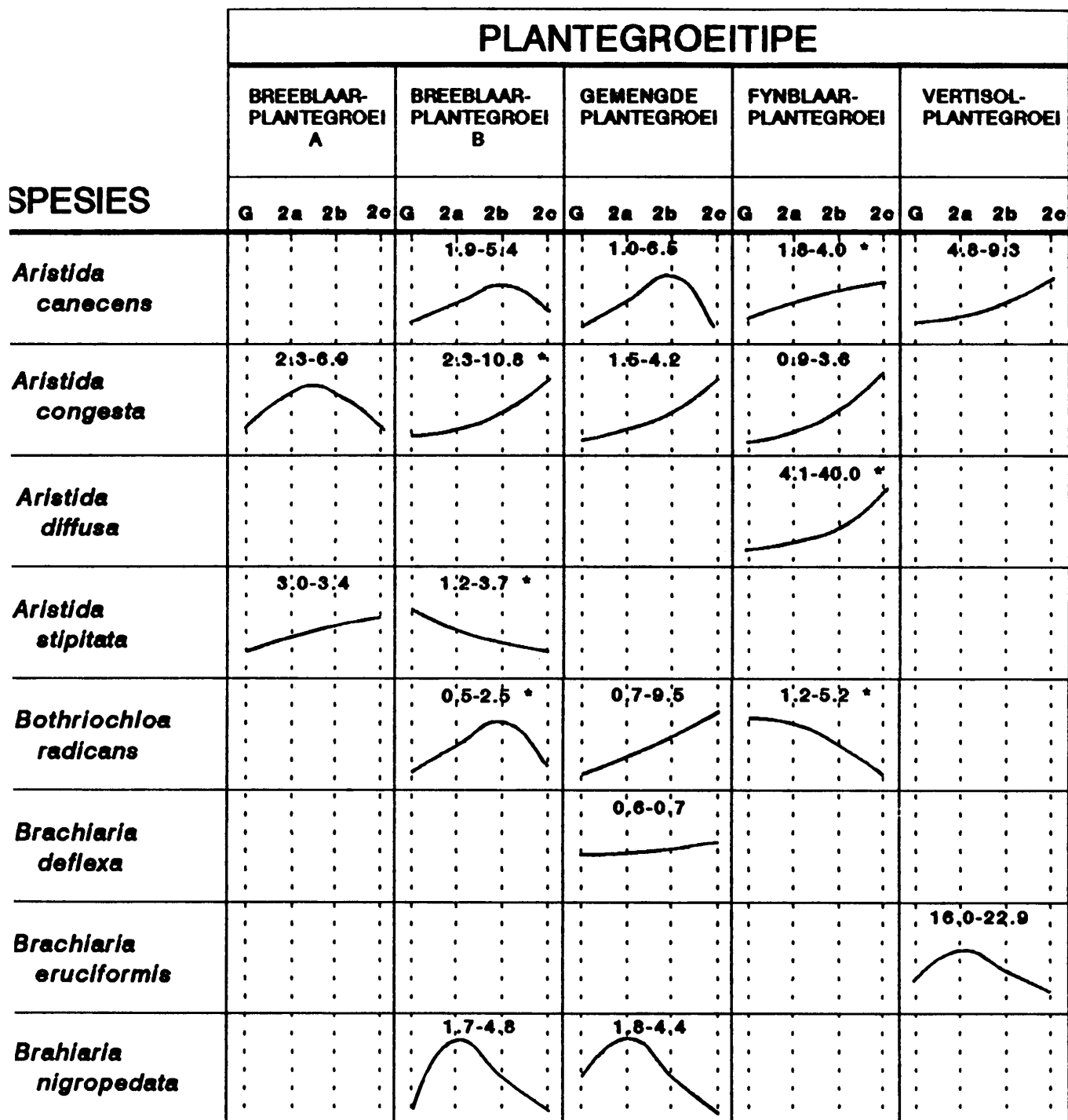
△ Persele lig oorbewei

◆ Persele ernstig oorbewei

Figuur 8 DECORANA-ordening van die persele in die Vertisol-plantegroei.

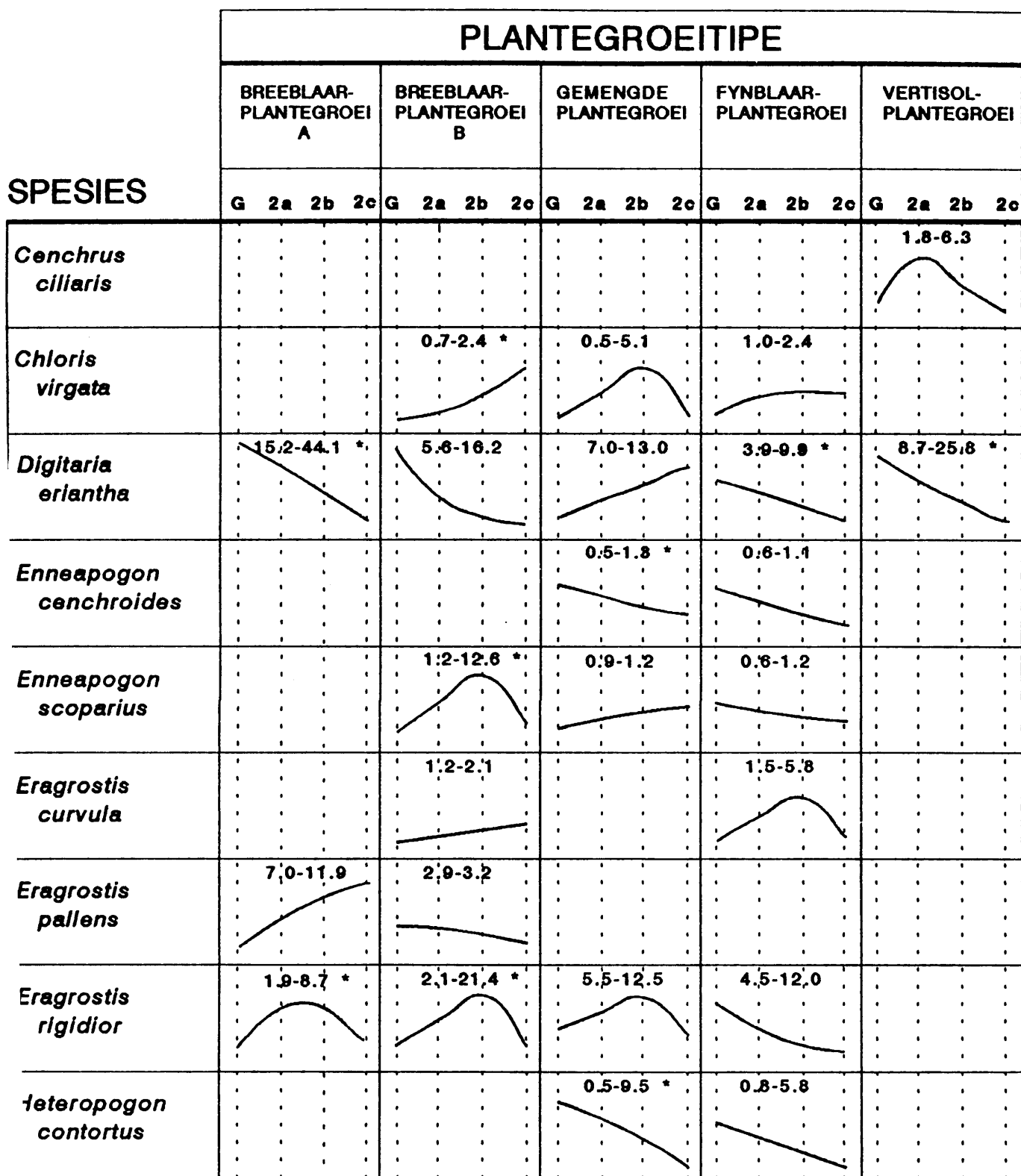


Figuur 9 Meervoudige "Box-and-Whisker-Plot" van die reaksie van *Brachiaria nigropedata* op beweiding in die Breëblaarplantegroei B. Veldtoestand G, 2a, 2b en 2c verteenwoordig onderskeidelik veld in 'n goeie toestand, 'n lig oorbeweide toestand, 'n matig oorbeweide toestand en 'n ernstige oorbeweide toestand

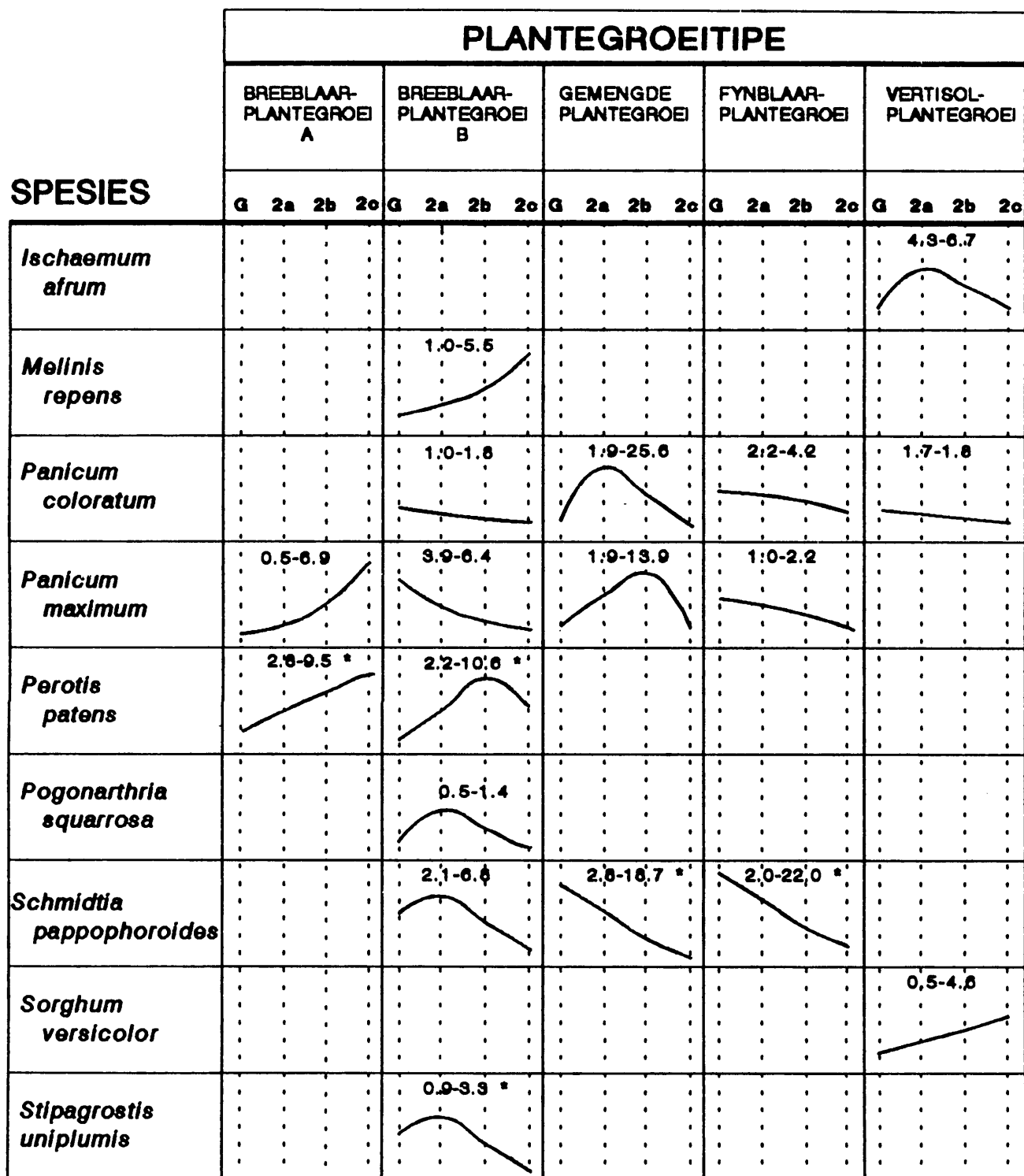


Figuur 10 Spesiekrommes op beweidingsgradiënte vir die verskillende plantegroeitipes. Spesies met krommes wat piek by G, 2a, 2b en 2c verteenwoordig onderskeidelik afnemers, toenemers 2a, toenemers 2b en toenemers 2c. Die syfers bo elke spesiekromme toon die laagste en hoogste persentasie-voorkoms aan

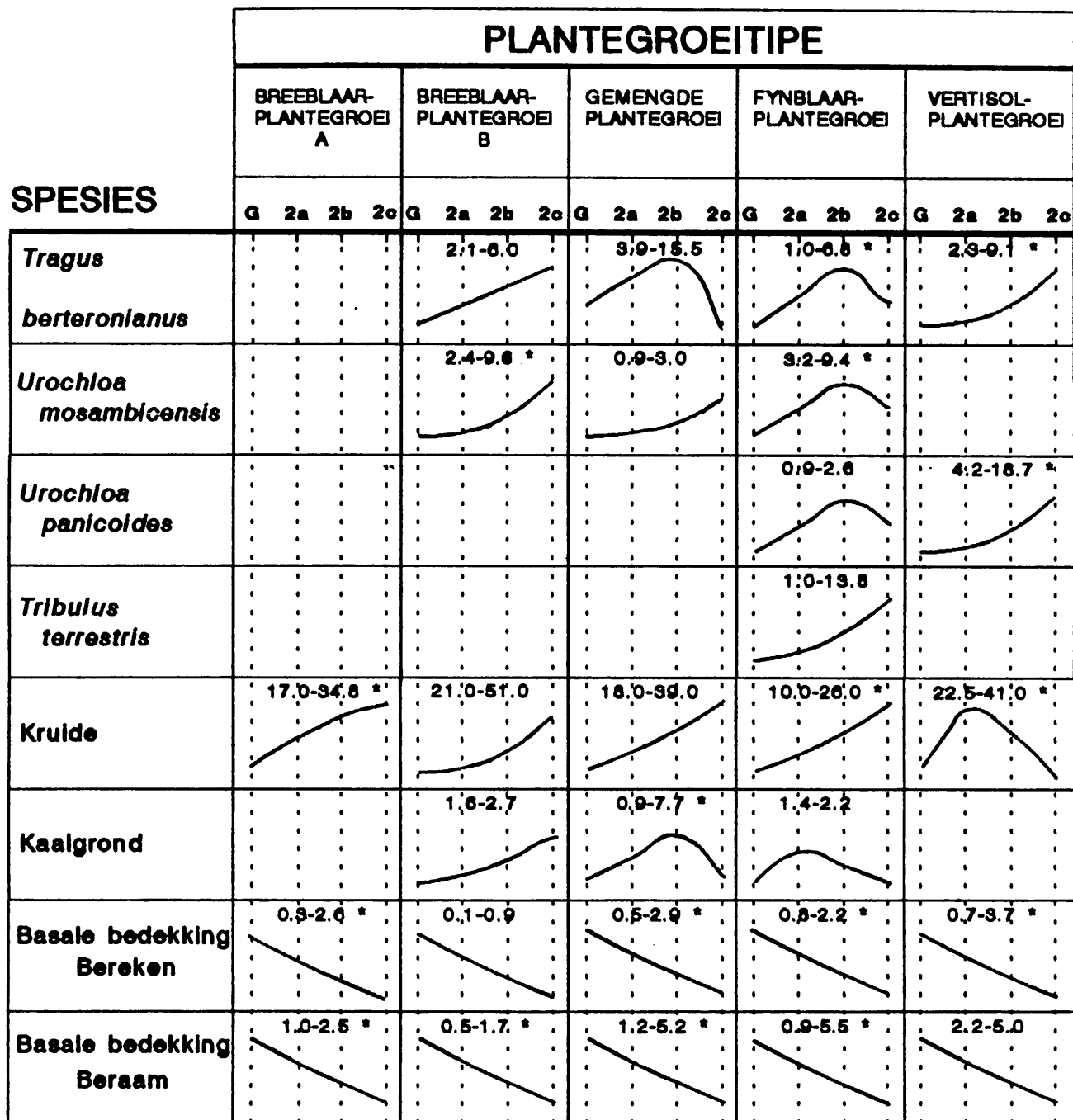
* Die laagste en hoogste persentasie-voorkoms verskil betekenisvol by $p \leq 0.05$



Figuur 10 Vervolg



Figuur 10 Vervolg



Figuur 10 Vervolg.

HOOFSTUK 7

REMOTE SENSING: A TOOL IN A GIS SPATIAL DATABASE TO CHARACTERIZE VELD CONDITION

H.M. van den Berg * and B.H. Beukes

Transvaal Agricultural Development Institute, Private Bag
X180, Pretoria 0001, Republic of South Africa

G.J. Bredenkamp and N. van Rooyen

Department of Botany, University of Pretoria
0002, Republic of South Africa

D.J. Pretorius and J.A. Kruger

Agricultural Research Council, Institute for Soil,
Climate and Water, Private Bag X78, Arcadia 0007,
Republic of South Africa

ABSTRACT

SPOT images were digitally processed and an area of 1407 km² was classified into broad ecological and veld condition classes. These feature maps were imported in a GIS environment and spatial analysis was performed to determine relationships with soils, vegetation and geology. It was established that close correlations between the ecological classes, soils, vegetation and geology existed. An approach was followed where herbaceous cover was linked directly to veld condition. Emphasis was placed on the influence of habitat on veld degradation due to grazing. It was established that the vegetation on the clayey soils are more prone to degradation than on the sandy soils. The conclusion is made that in an integrated Remote Sensing - GIS approach new possibilities are opened up in range land research,

-modelling, -monitoring and -management. It is possible to identify and quantify spatial relationships between rangeland entities. This must be backed up by a sound knowledge of the ecology of the area and adequate field work.

UITTREKSEL

SPOT-satellietbeelde is digitaal verwerk en 'n gebied van 1407 km² is geklassifiseer in breë ekologiese eenhede- en veldtoestandsklasse. Hierdie kaarte is in 'n GIS - omgewing ingevoer en ruimtelike analyses is uitgevoer om die verwantskappe met gronde, plantegroei en geologie te bepaal. Dit is vasgestel dat daar noue verwantskappe tussen die ekologiese klasse, gronde, plantegroei en geologie bestaan. 'n Benadering is gevolg waar die bedekking van die kruidstratum direk in verband gebring is met veldtoestand. Baie klem is gelê op die invloed van habitat op velddegradasie as gevolg van beweiding. Dit is vasgestel dat die plantegroei op kleierige gronde meer geneig is tot degradasie as op sanderige gronde. Die gevolgtrekking word gemaak dat in 'n geïntegreerde Afstandswaarneming - GIS benadering, nuwe moontlikhede na vore kom in weiveldnavorsing, -modellering, -monitering en -bestuur. Dit is moontlik om ruimtelike verwantskappe tussen weiveldentiteite te identifiseer en te kwantifiseer. Dit moet egter gerugsteun word deur 'n goeie kennis van die ekologie van die gebied en voldoende veldwerk.

Additional index words: Spatial analysis, grazing, veld degradation, habitat

* Part of a thesis submitted by the senior author for a M.Sc. degree at the University of Pretoria.

INTRODUCTION

Veld condition is defined by Trollope et al. (1990) as the condition of the vegetation in relation to some functional characteristic, normally maximum forage production and resistance to soil erosion. Various publications on the concept of veld condition have shown that a great deal of controversy surrounds it, as well as the assessment thereof (Pieper & Beck 1990, Rex et al. 1990, Friedel 1991, Stuart-Hill & Hobson 1991, Wilson & Macleod 1991, Eckhardt et al. 1993, Joyce 1993).

Much evolvement on the concept of vegetation change has taken place from the early succession and climax theory of Clements (1916) to the quantitative approach of Dyksterhuis (1949), grouping plant species according to their response to grazing (Joyce 1993). The widespread use of the "quantitative climax" approach of Dyksterhuis is now challenged by a concept of thresholds of environmental change between relatively stable domains or states (Friedel 1991, Laycock 1991, Bosch & Gauch 1991, Bosch & Booyesen 1992).

Hurt & Bosch (1991) reported on the objectivity and sensitivity of veld condition assessment techniques commonly used in southern Africa. All of these techniques are based on a quantitative determination of the herbaceous species composition of a sample plot. The condition of the sample plot is expressed as a condition score or index based on its species composition. The condition of the plot can then be compared to a "benchmark" of the "best possible" veld (Danckwerts 1989). The condition of a sample plot can also be expressed as the position that the sample plot occupies, relatively to other plots, in a multivariate space (Martens et al. 1990, Bosch & Gauch 1991, Stuart-Hill & Hobson 1991).

All these techniques, including visual assessment techniques (Stuart-Hill 1991), are site specific. This implies considerable problems if a large area must be assessed, and even more so if the area is heterogeneous in terms of habitat and utilization. Once the condition of a plot is known, the ideal would be to have an "eye in the sky to see" all the areas with the same condition and to map them. The concept of using remote sensing in monitoring rangelands is not new (Dreyer 1990), but it is only after the development of modern Geographic Information Systems (GIS' s) that remote sensing came to its full potential. Integrating image analysis and remote sensing makes it possible to handle large amounts of spatially distributed data in a flexible and intuitive manner (Walsh 1985, Smith et al. 1991, Tueller 1991). Where the image analysis allows a 'first order' level of

interpretation, the GIS enables post-analysis of this interpretation together with other related data (Wilsher 1993).

The aim of this study was to assess and quantify spatially distributed vegetation change due to grazing. A strong emphasis was laid on the effect of habitat on utilization differences. SPOT images were interpreted according to grazing and habitat differences. This interpretation was incorporated into a GIS spatial database and brought into perspective with vegetation and habitat data.

STUDY AREA

The study area covers 1 407 km² and is situated approximately 40 km north of Thabazimbi in the north-western Transvaal. The vegetation consists mostly of Mixed Bushveld (Acocks 1988) while one eighth of the area is covered by Sour Bushveld and an even smaller proportion is covered by Arid Sweet Bushveld. For seven eighth's of the area the topography is generally fairly flat with typical slopes of 3% and less (Land Type Survey Staff 1988). The remainder of the area, in the south-eastern part of the study area, is occupied by the Waterberg mountains. The median rainfall of the flat area varies from 462 mm/year to 548 mm/year for eight rainfall stations over 33 years. The standard deviation varies from 132 mm/year to 158 mm/year. The median rainfall of the mountains for two rainfall stations, measured over 55 years is 667 mm/year and 721 mm/year. The standard

deviations are respectively 150 mm/year and 181 mm/year (Erasmus 1987). The relationships between vegetation distribution and habitat have been described and quantified by Van den Berg et al. (1993a & 1993b).

METHODS

The SPOT data for the study area was obtained from the Satellite Applications Centre (MIKOMTEK / CSIR, P.O. Box 395, Pretoria, 0001) in digital format and in the form of hard copies, as part of a project for the Promotional Introductory Campaign for SPOT (PICS). The date of the images (the second of August 1989) was chosen to coincide with a former vegetation survey of the area. The images were enhanced by means of a Principle Component Analysis and classified according to large ecological groups. The classified image was exported in an ERDAS format from the Map and Image Processing System (MIPS) and imported into the GIS where the Spatial Analysis (SPANS) software package was used to determine relationships with pre-processed land types-, vegetation- and geology maps (Van den Berg et al. 1993b).

With the relationships known between the ecological groups, land types, vegetation and geology the three bands of the raw image were examined separately for grazing differences. It was clear that Band 1 contained mostly habitat data and very little grazing differences (Figure 1). Band 2 (Figure 2) showed more grazing differences, and Band 3 (Figure 3) contained the most information

in this regard. It was therefore decided to use Bands 2 and 3 in an on - screen mapping process with a color composite image as reference image.

Field work in the area has shown that the area around water points is usually much more utilized and is also in a further state of degradation than the surrounding area (Van den Berg et al. 1993c). Pixels near the water point (Figure 4) with a high reflectance value were chosen and by means of a range test (that makes use of a parallelepiped classification), other pixels in the same pixel value range were highlighted. If other water points were highlighted as well as areas that showed a clear utilization difference such as along fence lines, it was assumed that pixels that fall in that pixel value range, represented veld that is heavily utilized. These pixels were classified in a heavily utilized feature class. Pixels were then chosen a bit further away from the water point with lower pixel values, and when the range test revealed the same trend as in the first case, it was classified into a moderately utilized feature class. Fence-line effects that were not already classified into feature classes were used to create a lightly utilized feature class. The rest of the area was classified into a good condition feature class.

Care was taken to include water points and fence-line effects in all the major habitats identified by Van den Berg et al. (1993a & 1993b). The vertisols habitat with much lower pixel values than

the other habitats were left out of this exercise and were automatically classified into a good condition feature class.

These classifications were done against the background of 140 sample plots that were placed on degradation gradients and subjected to multivariate ordination techniques to determine their positions in a multidimensional space (Van den Berg et al. 1993c).

The image classified according to veld condition or utilization classes (Figure 5) was also imported into the GIS and an area analysis was performed. Area cross tabulations were performed on the image classified according to veld condition and the image classified according to broad ecological classes, to determine the percentage that the different utilization classes occurred on each ecological class. The same was done for the vegetation, geology and land types maps to determine the degree of utilization and degradation for the various vegetation and habitat types.

RESULTS AND DISCUSSION

The inter-relationships between the ecological units-, the processed land types-, geology- and vegetation maps are discussed in detail by Van den Berg et al. (1993b) and only the major relationships between classes are given in Table 1. It is clear

that soils, vegetation, geology and the classified ecological units are well correlated and form distinct habitats.

Table 2 shows a single map analysis of the classified veld condition image. According to this analysis only 54% of the area is in a good condition while 11% is heavily utilized. A summary of the results of area cross tabulations between the veld condition map and each of the ecological units-, vegetation-, land types-, and geology maps is given in Table 3. It shows that most of the mountains and sandy soils are in a good condition but that a large part of the clayey soils is not.

Van den Berg et al. (1993c) found a linear relationship between a decline in basal cover and a decline in veld condition in the study area. In this study veld condition is derived from the amount of bare soil. The more sparsely covered soils have higher pixel values than soils with a higher vegetation cover. This approach differs from the more common approach where the actual phytomass is measured in terms of the amount of greenness, by means of vegetation indices (Olsson 1986, Hanan 1991, Tueller 1991, Merril 1992).

The approach of using cover of the herbaceous species as a measure of veld condition has several advantages over the measurement of greenness. In many arid and semi-arid ecosystems, greenness is an ephemeral feature so the ability to discriminate vegetation varies quite markedly from time to time, even though cover may remain virtually constant (Tueller 1991). To measure

the amount of greenness the date of the image must be in the active growing season. This can cause considerable problems to obtain cloud free images (Olsson 1986). A further problem could be that the degraded areas could be encroached by woody species as is commonly the case for some of the more clayey soils (Van den Berg *et al.* 1993c). These woody species can contribute to the amount of greenness and give a false impression of the real veld condition. These problems can be overcome in an approach where cover is measured against bare soil and not the amount of greenness. It is recognized that there may be difficulties in separating some bare soils spectrally from vegetation (Randall 1991, Tueller 1991). The image was recorded on the second of August 1989. This meant that most of the deciduous woody species have lost their leaves and that the reflectance of bare soil would not be obstructed.

It is important to point out that this approach may not work in the more moist grasslands with a high basal cover (Mentis *et al.* 1980), where veld condition is only expressed in terms of species composition. On the other hand in very arid situations rainfall may dominate vegetation cover so completely that it is nearly impossible to distinguish grazing differences (Hanan *et al.* 1991, Mace 1991).

It is a well-known fact that vegetation changes near water points occur due to animal concentration (Friedel & Blackmore 1988, Van Rooyen *et al.* 1990, Van Rooyen *et al.* 1991, Hanan *et al.* 1991, Thrash *et al.* 1993, Van den Berg *et al.* 1993c). However in the

more arid regions rainfall may dominate these changes (Van Rooyen et al. 1990, Hannan et al. 1991, Yorks et al. 1992).

In the study area water points are surrounded by areas of heavily utilized vegetation, in all the habitats, as well as gradients to less utilized vegetation (Van den Berg et al. 1993c). It was consequently possible to use these areas as "training areas" for the on-screen interpretation process. By choosing pixels near the center of the water point and further from it, heavily utilized vegetation and moderately utilized vegetation was represented. Usually piosphere's of all the other water points in that habitat were highlighted in the range test. Some fence-line effects were also highlighted. By choosing more pixels nearer and further from the water point, the areas of the different utilization classes could arbitrarily be increased or decreased. It is thus of paramount importance that field work must be done. The availability of 140 sample plots, that represent various veld conditions, scattered over the area, helped a lot to confidently allocate areas to utilization classes. It is argued that repeatable results should be obtainable by different operators (Vlok & Zietsman 1991), provided that adequate field work is done.

It is suggested that binary masks can be used to mask the different habitat types to work only on one at a time, especially if training areas in one habitat type caused miss classifications in others. The advantage of the on-screen mapping process is that it is easier to see if a training area pixel assumed to

belong to a certain condition class caused a miss classification. It can be argued that short grazed veld could also cause a classification of over utilization that may not necessarily be so. In this case the basal cover would still be the same and, although not tested, the pixel values should be more like that of a covered soil than of a bare one. This could of course mean that veld, in a condition near to the next lower condition class, will be classified into that class. If monitoring is done over time this should not be a problem. Over time rainfall is likely to influence veld condition considerably especially in years of rainfall extremes (Van den Berg et al. in prep.).

It is noteworthy that the ecological units on the SPOT image show the largest variation in utilization patterns. It may indicate that these units are valid large management areas that can be further divided by using additional spatial and non-spatial information in a GIS environment to the level of veld management units or veld ecotopes on regional- and even farm scale.

CONCLUSIONS

The results showed that the clayey soils formed on diabase and shale, with a microphyllous vegetation component on it, is more prone to overgrazing than the sandy soils with a broadleaf vegetation component on it. With such knowledge it is possible to use the GIS database to identify areas, although at present in a good condition, that is sensitive to overgrazing and possible

irreversible degradation. These principles must be built into veld management programmes with continuous monitoring there after.

It is further concluded that satellite imagery can be very useful to assess large areas together with traditional veld condition assessment techniques in a way that was not previously possible. In GIS environment such a spatially distributed veld condition map can be a key input in grazing capacity models together with other spatial data to depict the realities of geographically distributed entities more accurately. It should be noted that without sufficient knowledge of the ecology of an area the benefits of this approach may be greatly reduced. However this new technology may help in gaining a better understanding of the spatial relationships between entities in a certain ecosystem.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank the Institute for Soil, Climate and Water for the opportunity to use their image processing facilities and the Satellite Applications Centre for supplying the SPOT data. We also want to thank Lizette Venter (formerly of Transvaal Region, Department of Agricultural Development) for her help and assistance in this project.

REFERENCES

- ACOCKS J.P.H. 1988. Veld types of South Africa. 3rd edition. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 57: 1-146. Government Printer, Pretoria.
- BOSCH O.J.H. & BOOYSEN J. 1992. An integrative approach to rangeland condition and capability assessment. J. Range Manage. 45: 116-122.
- BOSCH O.J.H. & GAUCH H.G. 1991. The use of degradation gradients for the assessment and ecological interpretation of range condition. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 138-146.
- CLEMENTS F.E. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington Pub. 242. Washington, D.C.
- DANCKWERTS J.E. 1989. Monitoring vegetation and assessment of veld condition in grassveld. In: Danckwerts J.E. & Teague W.R. (eds). Veld management in the eastern Cape, Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, p. 96-99.
- DREYER L. 1990. An investigation to determine the potential of digital Landsat Thematic Mapper data in identification of vegetation condition classes in natural systems. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

- DYKSTERHUIS E.J. 1949. Condition and management of range land based on quantitative ecology. J. Range Manage. 2: 104-115.
- ECKHARD H.C., VAN ROOYEN N. & BREDEKAMP G.J. 1993. Use of Braun-Blanquet data for the assessment of veld condition and grazing capacity in grassland. Afr. J. Range For. Sci. 10: 41-46.
- ERASMUS J. F. 1987. Rainfall deciles for Transvaal Region. SIRI Report No. GB/A/87/18. Soils and Irrigation Research Institute, Pretoria.
- FRIEDEL M.H. & BLACKMORE A.C. 1988. The development of veld assessment in the Northern Transvaal savanna. I. Red turfveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 5: 20-37.
- FRIEDEL M.H. 1991. Range condition assessment and the concept of thresholds: A viewpoint. J. Range Manage. 44: 422-426.
- HANAN N.P., PREVOST Y., DIOUF A. & DIALLO O. 1991. Assessment of desertification around deep wells in the Sahel using satellite imagery. J. Range Manage. 28: 173-186.
- HURT C.R. & BOSCH O.J.H. 1991. A comparison of some range condition assessment techniques used in southern African grasslands. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 131-137.
- JOYCE L.A. 1993. The life cycle of the range condition concept. J. Range Manage. 46: 132-138.

LAND TYPE SURVEY STAFF 1988. Landtypes of the maps 2426 Thabazimbi and 2428 Nylstroom. Mem. agric. nat. Resour. S. Afr. No. 10.

LAYCOCK W.A. 1991. Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands: A viewpoint. J. Range Manage. 44: 427-433.

MACE R. 1991. Overgrazing overstated. Nature 349, 280-281.

MARTENS J.C., DANCKWERTS J.E., STUART-HILL G.C. & AUCAMP A.J. 1990. Use of multivariate techniques to identify vegetation units and monitor change on a livestock production system in a semi-arid savanna of the eastern Cape. J. Grassl. Soc. South Afr. 7: 184-189.

MENTIS M.T., COLLINSON R.F.H. & WRIGHT M.G. 1980. The precision of assessing components of the condition of moist tall grassveld. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 15: 43-46.

MERRILL E.H., BRAMBLE-BRODAHL M.K., MARRS R.W. & BOYCE M.S. 1993. Estimation of green herbaceous phytomass from Landsat MSS data in Yellowstone National Park. J. Range Manage. 46: 151-157.

OLSSON L. 1986. Approaches to monitor renewable resources using remote sensing and geographical information system. In: Damen M.C.J., Sicco Smit G. & Verstappen H.T.H. (eds) 1988. Remote

Sensing for Resources Development and Environmental Management. Vol 3: 1041-1050. Balkema.

PIEPER R.D. & BECK R.F. 1990. Range condition from an ecological perspective: Modifications to recognize multiple use objectives. J. Range Manage. 43: 550-552.

RANDELL L. SPOT the donga! Paper presented at the SAGES/EDIS '91 conference. University of Pretoria.

SMITH S.M., SCHREIER H.E. & BROWN S. 1991. Spatial analysis of forage parameters using geographic information system and image-analysis techniques. Grass and Forage Science, 46: 183-189.

STUART-HILL G.C. 1991. Towards visual Assessment of succulent valley bushveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 63-69.

STUART-HILL G.C. & HOBSON F.O. 1991. An alternative approach to veld condition assessment in the non-grassveld regions of South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 179-185.

THRASH I., THERON G.K. & DU P. BOTHMA J. 1993. Impact of water provision on herbaceous community composition in the Kruger National Park, South Africa. Afr. J. Range For. Sci. 10: 31-35.

TROLLOPE W.S.W., TROLLOPE L.A. & BOSCH O.J.H. 1990. Veld and pasture management terminology in southern Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 52-75.

TUELLER P.T. 1991. Remote sensing applications for monitoring rangeland vegetation. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 160-167.

VAN DEN BERG H.M., BEUKES B.H., BREDEKAMP G.J., VAN ROOYEN N., PRETORIUS D.J. & KRUGER J.A. 1993b. The use of remote sensing in a GIS spatial database to identify and quantify vegetation-habitat relationships. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BREDEKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993a. Die toepassing van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei in die Noordwes-Transvaalse bosveld te bepaal. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BREDEKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993c. Die invloed van habitat op plantegroeiveranderings veroorsaak deur beweiding in die Noordwes-Transvaalse Suur- en Gemengde bosveld. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., KOCH A. & BOOYENS B.H. in prep. The influence of rainfall on the species composition of certain habitats in the north-western Transvaal Mixed Bushveld.

VAN ROOYEN N., BEZUIDENHOUT D., THERON G.K. & DU P. BOTHMA J.
1990. Monitoring of the vegetation around artificial watering
points (windmills) in the Kalahari Gemsbok National Park.
Koedoe 33: 63-88.

VAN ROOYEN N., BREDEKAMP G.J. & THERON G.K. 1991. Kalahari
vegetation: veld condition trends and ecological status of
species. Koedoe 34: 61-72.

VLOK A.C. & ZIETSMAN H.L. 1991. Digital analysis of satellite
imagery: An art or a science? Paper presented at the
SAGES/EDIS '91 conference. University of Pretoria.

WALSH S.J. 1985. Geographic information systems for natural
resource management. J. Soil and Water Cons. 40(2): 202-205.

WILSHER W.A., HERBERT R., WULLSCHLEGER N.J., NAICKER I., VITALI
E. & DE WIT M.J. 1993. Towards intelligent spatial computing
for the Earth sciences in South Africa. S. Afr. J. Sci. 89:
315-323.

WILSON A.D. & MACLEOD N.D. 1991. Overgrazing: Present or absent?
J. Range Manage. 44: 475-482.

YORKS T.P., WEST N.E. & CAPELS K.M. 1992. Vegetation differences
in desert shrublands of western Utah's Pine Valley between 1933 &
1989. J. Range Manage. 45: 569-578.

Table 1 The relationships between classes on the SPOT image and the other three maps. The percentage that a class on the SPOT image corresponds with classes on the other three maps is also shown

<u>SPOT IMAGE</u>	<u>VEGETATION</u>	<u>LAND TYPES</u>	<u>GEOLOGY</u>
MOUNTAINS	MOUNTAIN 68%	LITHOSOL 55%	SANDSTONE 1 81%
SAND 1	MOUNTAIN & BROADLEAF 84%	LITHOSOL & CLAY 0-15% 86%	SANDSTONE 1 70%
SAND 2	BROADLEAF & MIXED & (MICRO PHYLLOUS) 68% (92%)	CLAY 10-25% 48%	SANDSTONE 1 & SANDSTONE 2 78%
CLAY 1	MIXED & MICROPHYLLOUS 63%	CLAY 10-35% 72%	SANDSTONE 2 & DIABASE 82%
CLAY 2	MICROPHYLLOUS 78%	CLAY 25-35%+ 78%	DIABASE 62%
VERTISOLS	VERTISOL 30%	VERTISOLS 54%	ALLUVIUM 70%

Table 2 Single map analysis of the SPOT image
classified according to veld condition.

Map : SPOT IMAGE - VELD CONDITION

Class	Legend	Area % (%)	Cumm % Area	Area (km ²) (km ²)
1	LANDS	2.55	2.55	35.89
2	HEAVILY UTILIZED	11.28	13.83	158.65
3	MODERATELY UTILIZED	15.35	29.18	216.04
4	LIGHTLY UTILIZED	15.23	44.41	214.36
5	GOOD CONDITION	53.82	98.23	757.27
10	NOT CLASSIFIED	1.77	100.00	24.86
Total of 6 classes		100.00		1407.09

Table 3 The percentage that certain classes on the SPOT image, the vegetation map, the landtypes map and the geology map are in a good condition

<u>SPOT IMAGE</u>	<u>VEGETATION</u>	<u>LAND TYPES</u>	<u>GEOLOGY</u>
MOUNTAINS 95%	MOUNTAIN 88%	LITHOSOLS 89%	SAND-STONE 1 77%
SAND 1 90%	BROADLEAF 59%	CLAY 0-10% 69%	SAND-STONE 2 47%
SAND 2 57%	MIXED 40%	CLAY 10-15% 50%	DIABASE 40%
CLAY 1 38%	MICROPHYLLOUS 42%	CLAY 15-25% 44%	
CLAY 2 25%		CLAY 25-35% 44%	
		CLAY > 35% 34%	

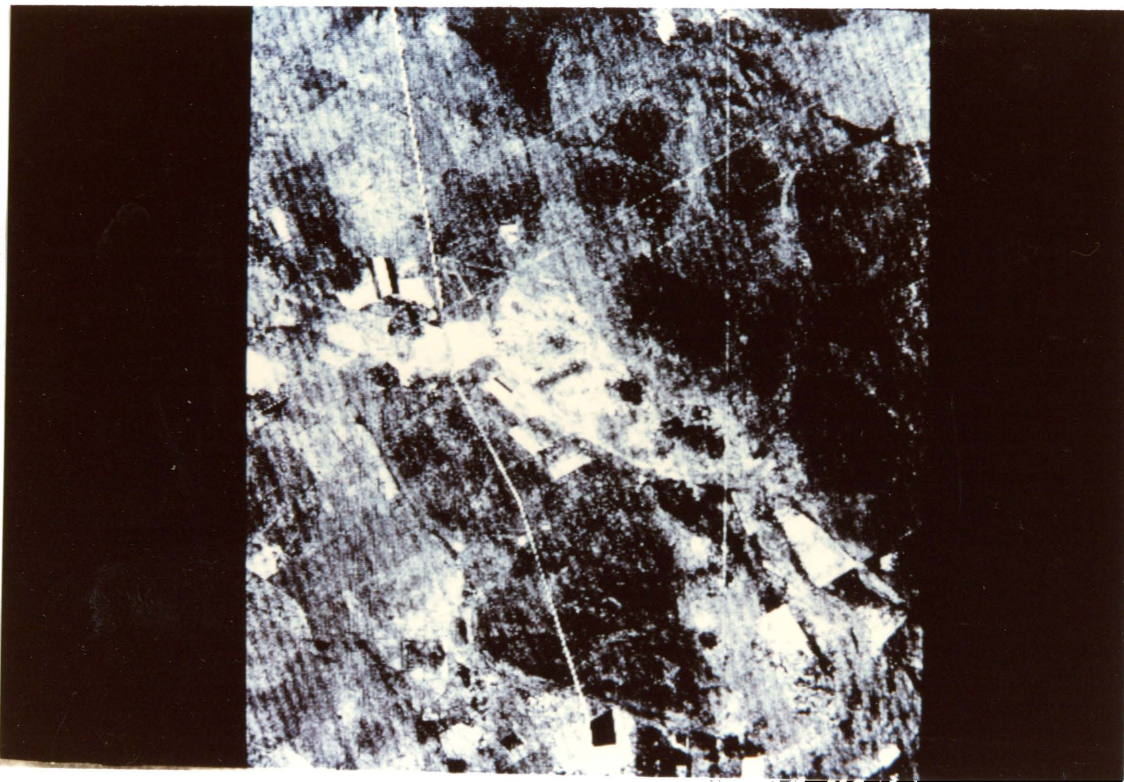


Figure 1 Band 1 shows mostly habitat features and little differences in veld utilization.

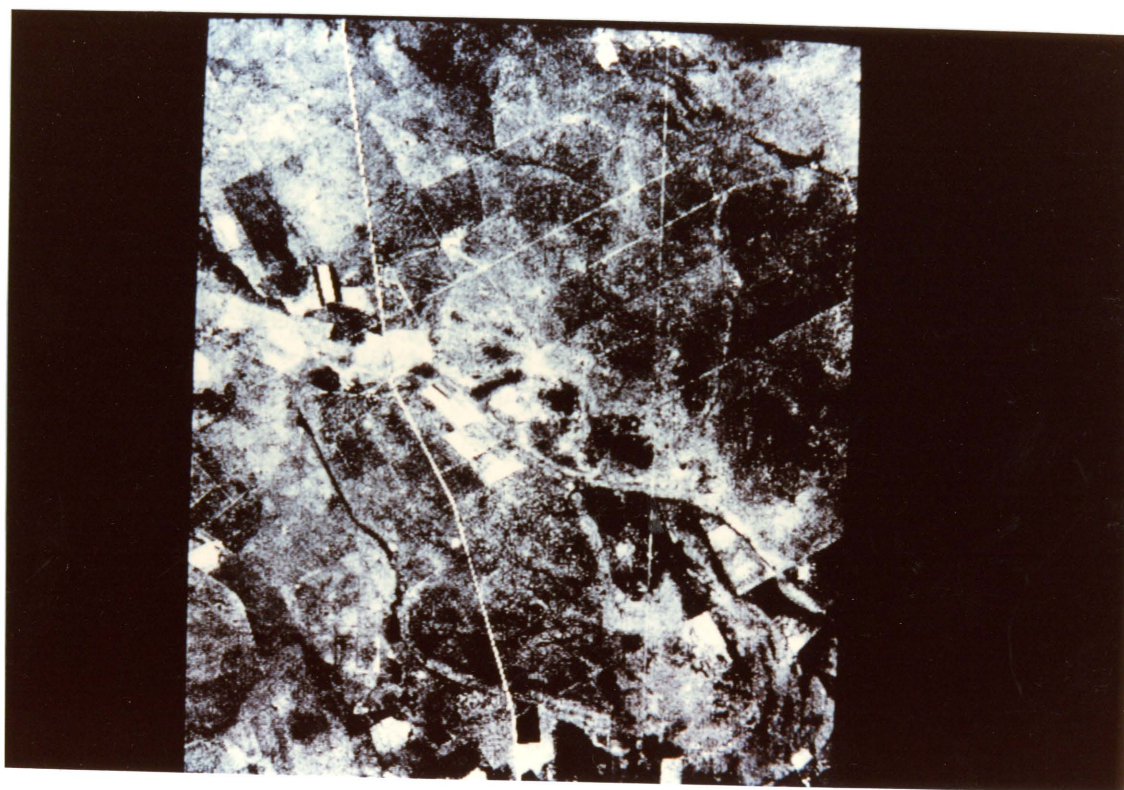


Figure 2 Band 2 shows more information on veld utilization differences than Band 1.

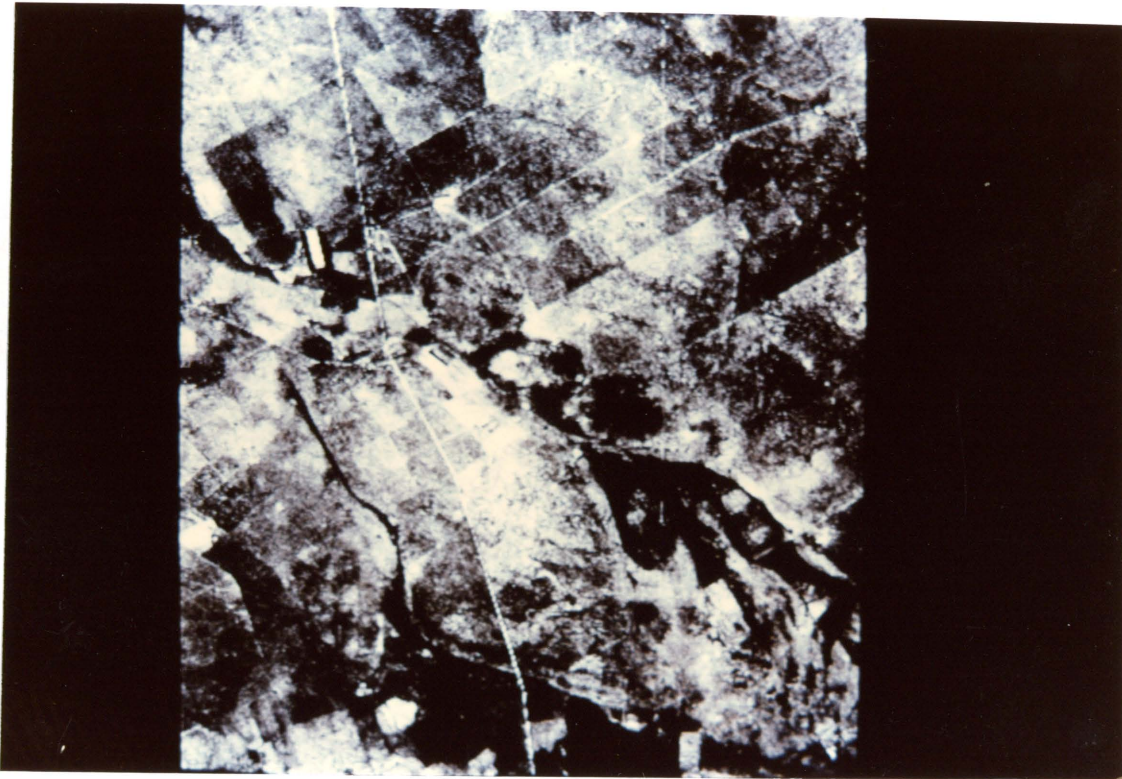


Figure 3 Band 3. Utilization patterns are clearly visible.

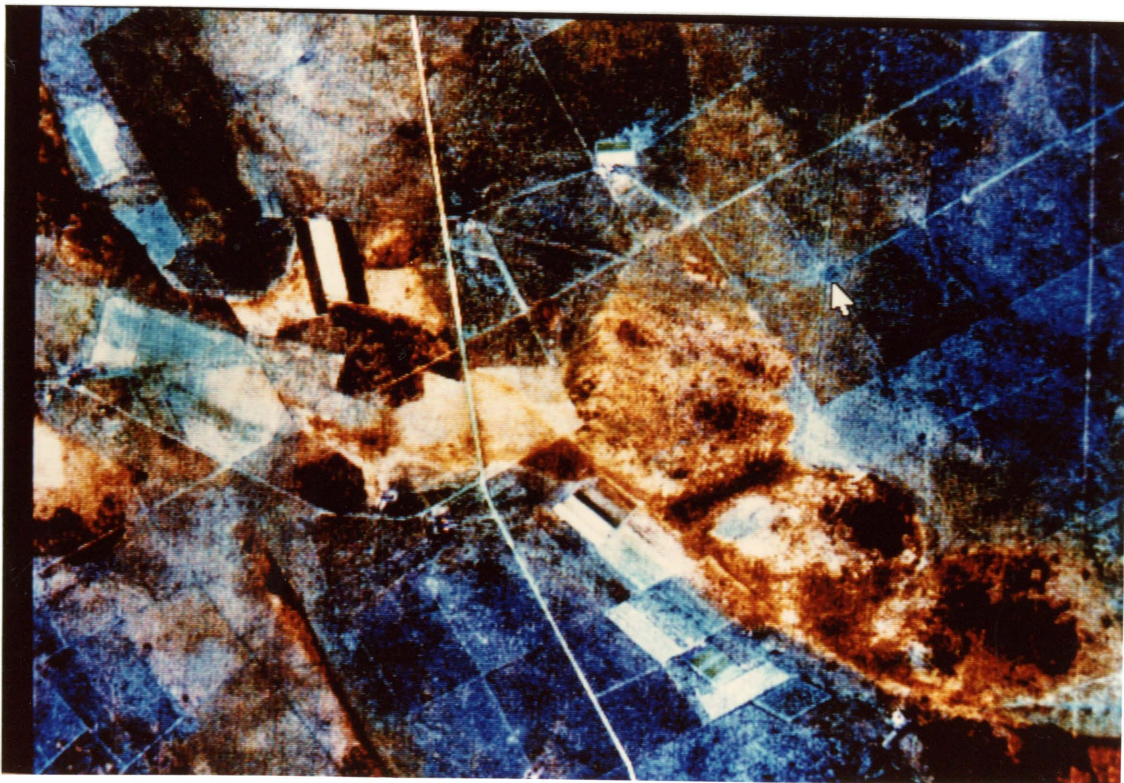


Figure 4 SPOT image showing the utilization difference around a water point.

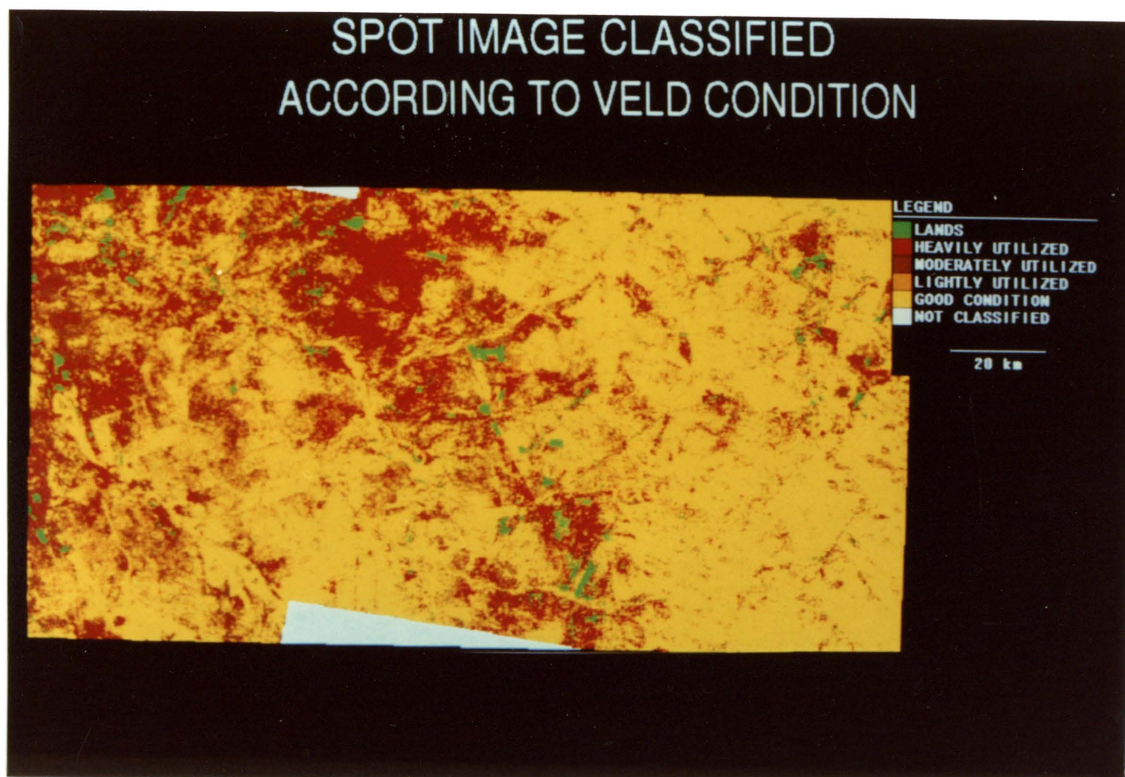


Figure 5 Utilization differences on the SPOT image classified into four classes.

HOOFSTUK 8

SAMEVATTENDE BESPREKING

8.1 Die gebruik van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei te bepaal

Die plantegroei in die studiegebied is bevredigend in hoof plantegroeitipes ingedeel en ekologies geïnterpreteer. Die variasie binne die hoof plantegroeitipes, in terme van spesiesamestelling, habitatveranderlikes, spesieveranderings veroorsaak deur beweiding en velddegradasie, is kleiner as tussen die hoof plantegroeitipes. Dit is ook moontlik om die hoof plantegroeitipes te onderskei deur byvoorbeeld net die kruidstratum te klassifiseer. Klassifikasies en ordenings van datastelle wat uit bedekkingswaardes en getalsterktes bestaan het, het ooreenstemmende resultate gelewer. Dieselfde het ook gegeld vir 'n semi-kwantitatiewe datastel met die dominante hout- en grasagtiges wat die swaarste gewoeg het, terwyl ander spesies slegs as teenwoordig aangedui is.

Theron (1973) het ook gevind dat deur die boom- en kruidstratums en -stande saam te orden, is dieselfde gradiënte verkry as wanneer die stratums afsonderlik georden is. Deur die boom- en kruidstratums en -stande saam te orden word dus 'n beter ekologiese beeld van die plantegroei in die geheel, asook van die ekologiese verwantskappe tussen kruid- en boomspesies verkry.

Vir fyner indelings van die hoof plantegroeitipes in plantgemeenskappe sal dit wenslik wees om van die totale floristiese samestelling gebruik te maak aangesien indikatorspesies op so 'n wyse ingesluit kan word. Die samestelling van die kruidstratum, veral die nie-grasagtige kruide, varieer aansienlik van seisoen tot seisoen (Van den Berg et al. in prep.). Dit sal dus wenslik wees om die robuustheid van 'n klassifikasietegniek te toets vir dieselfde gebied oor verskillende seisoene.

Die klassifikasie en ordening van 'n datastel wat slegs bestaan het uit grondveranderlikes het ook die hoof habitatskeidings weerspieël. Dit stem ooreen wat gevind is deur Bredenkamp et al. (1983) en Bredenkamp (1985). Beide fisiese en chemiese eienskappe van die grond is deur hulle beskou as belangrike habitatsfaktore. Daar is ook deur De Beer (1988) en Strohbach (1989) gevind dat die tekstuur van grond 'n belangrike rol speel by die verspreiding van spesies.

Die resultaat van 'n ordening met grondveranderlikes sonder klei-inhoud as 'n veranderlike, het 'n duidelike gradiënt getoon wat in terme van klei-inhoud verklaar kon word. Daar is dan ook gevind dat klei-inhoud betekenisvol ko-varieer met die meeste ander grondveranderlikes.

8.2 Die ruimtelike verwantskappe tussen plantegroei, geologie en grond

Die gebruik van ruimtelike analisetegnieke in 'n GIS-omgewing het dit moontlik gemaak om die ruimtelike verwantskappe in die verspreiding van plantegroei, geologie en grond vas te stel en te kwantifiseer. Deur gebruik te maak van SPOT-satellietbeelde - met 'n hoë spektrale resolusie - was dit moontlik gewees om breë ekologiese komplekse, bestaande uit plantegroei, geologie en grond wat inter-gekorreleer is, geo-ruimtelik voor te stel en te kwantifiseer. Dié resultate het die verwantskappe wat vasgestel is met behulp van die meerveranderlike analise tegnieke (toegepas op opname persele), gekomplimenteer. Dit moet egter beklemtoon word dat, soos dit deur Theron (1973) gestel is, 'n goeie lopende kennis van die plantegroei en die algemene ekologie daarvan wat deur enige kwantitatiewe tegniek bestudeer wil word, is 'n absolute vereiste.

'n Hipotese wat uit hiërdie studie gestel kan word, is dat dit moontlik sal wees om die verspreiding van plantegroei te voorspel indien genoegsame habitatdata beskikbaar is. Met 'n uitgebreide kennis van die ekologie van 'n ekosisteem sal dit dus moontlik wees om plantegroei voor te stel wat in 'n "ekologiese optimum" toestand, op die verskillende habitatstipes verkeer. Dit sal ook moontlik wees om te voorspel na watter stadiums van degradasie die verskillende habitatstipes geneig sal wees om na te verander onder wanbestuur en of fluktuasies in klimaat. Verskeie scenario's kan dus gestel word en simulاسies kan hiervolgens

gedoen word. Die inkorporering van afstandswaarnemingsdata in die stelsel kan gebruik word vir korrelasies met die gesimuleerde plantegroei verspreiding. Dit kan ook gebruik word om die omvang van degradasie op verskillende habitatstipes vas te stel.

Daar word aanvaar dat die plantegroei 'n baie fyn indikator is van habitat, dit is egter ook 'n indikator van verskille in bestuurspraktyke. Uit hierdie studie word daar tot die gevolgtrekking gekom dat die klassifikasie van die plantegroei deur middel van gedetailleerde opnames nog steeds die ideaal is. Die nadeel is egter dat daar relatief min detail plantegroeidata beskikbaar is vir Suid-Afrika teenoor habitatdata bestaande uit grond-, geologiese-, topografiese- en klimaatdata. Baie van die data is reeds opgeneem of in die proses om opgeneem te word in verskillende GIS'e. Deur die interpolering en modulering van alle bestaande data behoort dit dus moontlik te wees om 'n plantegroeikaart op 'n streekskaal te skep wat uit veel meer detail bestaan as Acocks (1988) se Veldtipekaart.

Die gebruik van digitaal versterkte satellietbeelde vir plantegroeikartering lyk baie belowend, veral as groot oppervlaktes gedek moet word. Alhoewel die ruimtelike resolusie van SPOT en Landsat TM beelde nog ver te kort skiet as dit met grootskaal lugfoto's vergelyk word, is die spektrale resolusie veel groter. Satellietdata, veral SPOT-data, het 'n hoë geometriese presiesheid (Munier & Rivereau 1991). Die koste van satellietdata vergelyk ook gunstig met die van lugfoto's as dit

in Rand per vierkante kilometer uitgedruk word (Cope-Bowley & Piper 1991).

'n Geïntegreerde GIS-afstandswaarnemingsbenadering maak dit moontlik om verwerkte afstandswaarnemingsdata in verband met ander geo-ruimtelike data te bring en al die data in 'n nuwe perspektief te plaas.

8.3 Die invloed van habitat op plantegroei-veranderings veroorsaak deur beweiding

Die resultate het getoon dat habitat 'n duidelike invloed het op die reaksie wat plantegroei toon op beweiding. Dit is aangetoon dat spesieveranderings as gevolg van beweiding binne 'n spesifieke habitat veel groter is as spesiesamestellingverskille veroorsaak deur kleinere habitatsverskille. Daar is gevind dat dieselfde spesies verskillend reageer in verskillende habitats op beweiding. Duidelike verskille in die geneigdheid van die verskillende habitats tot degradasie is aangetoon.

Die aanbeveling is gemaak dat habitatsklassifikasie 'n groter rol moet speel in weiveldbestuur. Fuls (1990) beveel aan dat die toestand van die habitat eerder gemonitor moet word as die toestand van die plantegroei, aangesien habitatsdegradasie plantegroeidegradasie vooraf kan gaan. In dié studiegebied is egter gevind die plantegroei wel 'n duidelike indikator kan wees van weiveldwanbestuur. Dit is ook makliker om die plantegroei te monitor as wat dit is om die habitat te monitor. Die invloed van

klimaat moet egter duidelik gekwantifiseer word. Dit was egter moontlik om vas te stel watter habitatskenmerke en eienskappe 'n aanduiding is van sensitiwiteit vir wanbestuur en droogte.

Daar bestaan egter nie voldoende inligting oor die veerkragtigheid van die plantegroei ten opsigte van wanbestuur vir die verskillende habitats nie. Alle aanduidings is dat ernstige versteurings, soos waargeneem op ou landerye, 'n baie lang tyd neem om terug te keer na die oorspronklike plantegroei, indien ooit. Weidingsgeïnduseerde degradasie is egter gewoonlik nie so drasties nie, en dit is moeilik om te bepaal wanneer drumpelwaardes wel oorskry word. In die studiegebied is ook min bekend oor die dinamika van bosverdigting, die sikliese aard van verdigting en afsterwe van houtagtige spesies, asook die invloed van brand op die plantegroei. Hierdie aspekte benodig verdere langtermynnavorsing.

8.4 Die gebruik van afstandswaarneming om veldtoestand te karakteriseer

Die SPOT-satellietbeelde is ook gebruik om veldbenuttings-patrone te karteer. Die bedekking van die kruidstratum is direk gekoppel aan 'n veldtoestand. Die feit dat daar opnamepersele in verskillende veldbenuttingstoestande geplaas is, en dat die veldtoestand van dele in die studiegebied bekend was, het gemaak dat gedegradeerde dele relatief maklik en met 'n groot mate van sekerheid op die satellietbeelde geïdentifiseer is. Daar is

sterk klem geplaas op benuttingsverskille in 'n spesifieke habitat.

Deur 'n geïntegreerde GIS-afstandswaarnemingsbenadering te volg was dit moontlik om die degradasie van die verskillende habitats afsonderlik te kwantifiseer. Daar was dan ook groot benuttingsverskille tussen die habitats gewees.

Daar word voorgestel dat dié metodes getoets word in ander Veldtipes. Indien dit suksesvol is kan dit aansienlike voordele vir gereelde weiveldmonitering inhou, en kan dit ook dien as inset in weidingskapasiteitsmodelle. Daar word ook aanbeveel dat daar na ander afstandswaarnemingsmediums behalwe satelietbeelde gekyk word, byvoorbeeld lae hoogte fotografie, veral as slegs 'n klein oppervlakte gedek moet word.

8.5 Algemene indrukke en gevolgtrekkings uit die studie verkry

Die gevolgtrekking word gemaak dat habitat die belangrikste invloed het op die verspreiding van die plantegroei in die studiegebied. Die studiegebied moet egter in 'n skaalkonteks gesien word (Rutherford & Westfall 1986, Van Staden 1992), waar die plantegroeitipe op streeksvlak en groter wel deur klimaat bepaal word. Die habitat het ook 'n invloed op die intensiteit van die benutting van plantegroei en die sensitiwiteit vir degradasie. Verskeie metodes om die plantegroei-, habitat- en benuttings verwantskappe te karakteriseer en te kwantifiseer was geslaag gewees en ooreenstemmende resultate is verkry.

Die resolusie van die data wat gebruik is, is van so 'n aard dat die gebied in breë bestuurseenhede of -veldekotope ingedeel kan word. Vir groot dele van die studiegebied behoort die hoof plantegroeitipes egter voldoende bestuurskeidings te wees.

Van die tegnologie wat gebruik is hou groot toepassingsmoontlikhede in. Geografiese entiteite kan in 'n nuwe perspektief geplaas word met die effektiewe verwerking en analisering van groothoeveelhede geo-ruimtelike data.

Dit word voorsien dat die dalende koste van kragtige sagte- en hardeware dié soort tegnologie binne die bereik van al hoe meer instansies en persone sal plaas en dat sulke toepassings logaritmes sal toeneem. Een van die belangrikste probleme wat reeds bestaan is die beskikbaarheid en toeganklikheid van geografiese data in digitale formaat. Daar sal ook gekyk moet word na data-integriteit en uitruilingsstandaarde (Rhind 1991).

Die woorde van die digter en filosoof Goethe in 1802 is moontlik vandag net so waar: "The modern age has a false sense of superiority because of the great mass of data at its disposal, but the valid criterion of distinction is rather the extent to which Man knows how to form and master the material at his command."

ERKENNINGS

Die Departement Landbou, en in die besonder die Transvaalse Landbou-ontwikkelings Instituut (TLOI), word bedank vir die finansiële ondersteuning en die geleentheid om hierdie studie uit te voer.

Mnr. J.W. Filter (Adjunkdirekteur van die Hulpbronsentrum – TLOI) vir sy volgehoue belangstelling en ondersteuning waarsonder die studie nie moontlik sou gewees het nie.

47 Opmetingseskadron en die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys vir toestemming verleen om plant- en bodemkundige data van die 1989-terreinopname te gebruik.

Proff. H.J. von M. Harmse en D. Edwards vir leiding verleen en die vestiging van sekere konsepte gedurende die 1989-terreinopname, asook alle ander persone betrokke by die opname.

Paul Smith en Sakkie Lombard vir die hulp verleen met die veldwerk in 1989.

Prof. G.J. Bredenkamp, Dr. N. van Rooyen, B.H. Beukes, J.A. Kruger en D.J. Pretorius wat mede outeurs is van konsepartikels vervat in hierdie verhandeling, en wat elkeen op 'n besonderse wyse 'n bydrae gelewer het.

Die Instituut vir Grond Klimaat en Water vir die gebruik van hulle beeldverwerkingstoerusting.

Bates Booyens en Hannes Pretorius vir hulp verleen met die veldwerk in 1991.

Vir die talle boere wat toestemming verleen het om op hulle plase te werk. Vir hulle gasvryheid en die deel van hulle kennis en ondervinding van die studiegebied. 'n Besonderse woord van dank word gerig aan oom Jannie en tannie Susan Kotzé en Louis Mayer vir verblyf verleen gedurende die studie.

Anneliza Koch en Bates Booyens vir die hulp met opvolg veldopnames, die proeflees van die manuskripte en volgehoue ondersteuning tydens die studie.

Al die persone by die Hulpbronsentrum (TLOI) vir ondersteuning verleen en wat betrokke was by die studie op die een of ander wyse.

Lizette Venter vir die hulp met die invoer van die satellietdata in die GIS.

Martie Puts en Gail Kopuit vir die hulp met die versyfering van sommige van die kaarte.

Dr. B.E. Eisenberg van die Agremetrie Instituut word bedank vir sy hulp met die statistiese indeling van spesies in funksionele groepe.

My ouers, Mnr. en Mev. W.M. van den Berg, my broer Wynand, my suster Ora en ander familieleden en vriende vir volgehoue ondersteuning en belangstelling.

VERWYSINGS

- ACOCKS J.P.H. 1988. Veld types of South Africa. 3rd edition. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 57: 1-146. Government Printer, Pretoria.
- AUCAMP A.J., DANCKWERTS J.E. & TANTON N.M. 1992. Range monitoring in South Africa: a broad perspective. J. Grassl. Soc. South. Afr. 9: 8-10.
- BAILEY N.T.F. 1974. Statistical Methods in Biology. Lion Library, London.
- BARNES D.L. & DENNY R.P. 1991. A comparison of continuous and rotational grazing on veld at two stocking rates. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 168-173.
- BOSCH O.J.H. 1971. Plantekologiese bodemkundige studies in die laer Krokodilriviervallei. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.
- BOCH O.J.H. & BOOYSEN J. 1992. An integrative approach to rangeland condition and capability assessment. J. Range Manage. 45: 116-122.
- BOSCH O.J.H. & GAUCH H.G. 1991. The use of degradation gradients for the assessment and ecological interpretation of range condition. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 138-146.

BOSCH O.J.H. & JANSE VAN RENSBURG F.P. 1987. Ecological status of species on grazing gradients on the shallow soils of the western grassland biome in South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 4: 143-147.

BOSCH O.J.H., JANSE VAN RENSBURG F.P. & TRUTER S. du T. 1987. Identification and selection of benchmark sites on litholitic soils of the western grassland biome of South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 4: 59-62.

BREDENKAMP G.J. 1982. A Plant Ecological Study of the Manyeleti Game Reserve. D.Sc. thesis, University of Pretoria.

BREDENKAMP G.J. & THERON G.K. 1976. Vegetation units for management of the grasslands of the Suikerbosrand Nature Reserve. S. Afr. J. Wild. Res 6(2): 113-122.

BREDENKAMP G.J. 1985. An evaluation of the relative importance of certain habitat factors that influence the distribution of plant species in the Manyeleti Game Reserve. S. Afr. J. Bot. 51: 194-196.

BREDENKAMP G.J., BEZUIDENHOUT H., BOSCH O.J.H. & JANSE VAN RENSBURG F.P. 1991. A Comparison of vegetation classifications from wheel point and total floristic data sets from a South African Grassland. Bot. Bul. Academia Sinica. 32: 187-195.

BREDENKAMP G.J., THERON G.K. & VAN VUUREN D.R.J. 1983. Ecological interpretation of plant communities by classification and ordination of quantitative soil characteristics. Bothalia 14: 691-699.

CLEMENTS F.E. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington Pub. 242. Washington, D.C.

COETZEE J.J. 1971. Die landboupotensiaal van die Noordwes-Transvaalse soetbosveld. D.Sc.-proefskrif, Universiteit Pretoria.

COPE-BOWLEY T. & PIPER S.E. 1991. Rapid detection of new informal settlements in the Durban Functional Region using SPOT imagery. Paper presented at the EDIS/SAGIS '91 conference. University of Pretoria.

DANCKWERTS J.E. 1982. The grazing capacity of sweetveld: 2. A model to estimate grazing capacity in the False Thornveld of the eastern Cape. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 17: 94-98.

DANCKWERTS J.E. 1989. Monitoring vegetation and assessment of veld condition in grassveld. In: Danckwerts J.E. & Teague W.R. (eds). Veld management in the eastern Cape. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, p. 96-99.

- DE BEER A.S. 1988. Plantspesievoorkeure van vleisbeeste in die Hoëveldstreek onder 'n stelsel van beheerde selektiewe beweiding. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.
- DENT M.C., SHULTZE R.E. & ANGUS C.R. 1988. An analysis of regional crop water requirements deficit in the Transvaal Region. ACRU report 28/1988 to the WRC, WRC project 118.
- DREYER L. 1990. An investigation to determine the potential of digital Landsat Thematic Mapper data in identification of vegetation condition classes in natural systems. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.
- DYKSTERHUIS E.J. 1949. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. J. Range Manage. 2: 104-114.
- ECKHARD H.C., VAN ROOYEN N. & BREDEKAMP G.J. 1993. Use of Braun-Blanquet data for the assessment of veld condition and grazing capacity in grassland. Afr. J. Range For. Sci. 10: 41-46.
- EDWARDS D. 1983. A broad-scale structural classification of vegetation for practical purposes. Bothalia 14: 705-712.
- ERASMUS J. F. 1987. Rainfall deciles for Transvaal Region. SIRI Report No. GB/A/87/18. Soils and Irrigation Research Institute, Pretoria.

FISHER R.A. & YATES F. 1963. Statistical tables for Biological, Agricultural and Medicine Research. Longmans, London.

FORAN B.D., TANTON N.M. & BOOYSEN P. de V. 1978. The development of a method for assessing veld condition in three grassveld types in Natal. Proc. Grassl. Soc. Sth. Afr. 13: 27-33.

FRIEDEL M.H. 1991. Range condition assessment and the concept of thresholds: A viewpoint. J. Range Manage. 44: 422-426.

FRIEDEL M.H. & BLACKMORE A.C. 1988. The development of veld assessment in the Northern Transvaal savanna. I. Red turfveld. J. Grassld. Soc. South. Afr. 5: 20-37.

FULS E.R. 1990. Some important concepts and perspectives in rangeland ecosystem dynamics and their significance for rangeland science. M.Sc. thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

GAUCH H.G. Jr. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, USA: Cambridge University Press.

GEOLOGICAL SURVEY 1986. Geological map, 1:250 000, 2426 Thabazimbi, Government Printer, Pretoria.

GONZALEZ R.C. & WINTZ P. 1987. Digital Image Processing. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, pp. 61-137.

- HANAN N.P., PREVOST Y., DIOUF A. & DIALLO O. 1991. Assessment of desertification around deep wells in the Sahel using satellite imagery. J. Range Manage. 28: 173-186.
- HARDY M.B. & WALKER R.S. 1991. Determining sample size for assessing species composition in grassland. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 70-73.
- HARMSE H.J. von M. 1983. Inleiding tot Bodemkunde - Deel 1. Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.
- HATCH G.P. & TAINTON N.M. 1990. A preliminary investigation of area-selective grazing in the Southern Tall Grassveld of Natal. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 238-242.
- HERBST M.J. 1973. 'n Ekologiese ondersoek van die plantgemeenskappe tussen die Krokodil- en Matlabasrivier. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.
- HILL M.O. 1979a. TWINSPAN - a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Dept. of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York.
- HILL M.O. 1979b. DECORANA - a Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Dept. of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York.

HILLEL D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic press, New York.

HOFFMAN M.T. & COWLING R.M. 1990. Vegetation change in the semi-arid eastern Karoo over the last 200 years: an expanding Karoo - fact or fiction. S. Afr. J. Sci. 86, 286-294.

HOFMANN L. & RIES R.E. 1990. An evaluation of sample adequacy for point analysis of ground cover. J. Range Manage. 43: 545-549.

HURT C.R. & BOSCH O.J.H. 1991. A comparison of some range condition assessment techniques used in southern African grasslands. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 131-137.

JANSE VAN RENSBURG F.P. 1987. Plantegroei-veranderinge op die ekotope van 'n aantal landtipes in die grasveldbloom. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

JENSEN J.R. 1986. Introductory Digital Image Processing. New Jersey, Prentice-Hall, pp. 138-149.

JOYCE L.A. 1993. The life cycle of the range condition concept. J. Range Manage. 46: 132-138.

- KAWAI K. 1970. Revised standard soil color charts 2nd ed. Research Council for Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.
- LANDTIPE-OPNAMEPERSONEEL 1988. Landtipes van die kaarte 2426 Thabazimbi en 2428 Nylstroom. Mem. nat. Landbouhulpbr. S.Afr. Nr. 10. Departement van Landbou en Watervoorsiening.
- LAYCOCK W.A. 1991. Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands: A viewpoint. J. Range Manage. 44: 427-433.
- LOMBARD A.T. AUGUST P.V. & SIGFRIED W.R. 1992. A proposed Geographic Information System for assessing the optimal dispersion of protected areas in South Africa. S. Afr. J. Sci. 88, 136-140.
- MACE R. 1991. Overgrazing overstated. Nature 349, 280-281.
- MACVICAR C.N., LOXTON R.F., LAMBERECHTS J.J.N., LE ROUX J., DE VILLIERS J.M., VERSTER E., MERRYWEATHER F.R., VAN ROOYEN T.H. & HARMSE H.J. VON M. 1977. Grondklassifikasie, 'n binonmiese sisteem vir Suid-Afrika. Pretoria: Staatsdrukker.
- MACVICAR C.N., VOLSCHENK J.E. & NOTT R.W. 1986. Inventarisering van die potensiaal van natuurlike landbouhulpbronne. Tegniese mededeling No. 204 Pretoria. Departement van Landbou en Watervoorsiening.

MARTENS J.C., DANCKWERTS J.E., STUART-HILL G.C. & AUCAMP A.J. 1990. Use of multivariate techniques to identify vegetation units and monitor change on a livestock production system in a semi-arid savanna of the eastern Cape. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 184-189.

MENTIS M.T. 1981. Evaluation of the wheel-point and step-point methods of veld condition assessment. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 16: 89-94.

MENTIS M.T. 1984. Monitoring in South African grasslands. SANS Report no. 91, CSIR, Pretoria.

MENTIS M.T. 1990. Are multi-paddock grazing systems economically justifiable? J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 29-34.

MENTIS M.T., COLLINSON R.F.H. & WRIGHT M.G. 1980. The precision of assessing components of the condition of moist tall grassveld. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 15: 43-46.

MERRILL E.H., BRAMBLE-BRODAHL M.K., MARRS R.W. & BOYCE M.S. 1993. Estimation of green herbaceous phytomass from Landsat MSS data in Yellowstone National Park. J. Range Manage. 46: 151-157.

MORRIS P.P.J. 1972. 'n Ekologiese ondersoek van die samestelling en struktuur van die soetbosveld. Met spesiale aandag aan die invloed van edafiese faktore op die verspreiding van

houtagtige spesies. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse
Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

MUELLER-DOMBOIS D. & ELLENBERG H. 1974. Aims and methods of
vegetation ecology. New York, Wiley & Sons.

MUNIER P. & RIVEREAU J.C. 1991. Map production and map updating
using SPOT data. Paper presented at the EDIS/SAGIS '91
conference. University of Pretoria.

NIELSON G.A., CAPRIO J.M., McDANIEL P.A., SNYDER R.D., MONTAGNE
C. 1990. MAPS: A GIS for land resource management in Montana.
J. Soil and Water Cons. 45(4): 450-453.

O'CONNOR T.G. 1991. Influence of rainfall and grazing on the
compositional change of the herbaceous layer of a sandveld
savanna. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 103-109

O'REAGAIN P.J. & MENTIS M.T. 1990. The effect of veld condition
on the quality of diet selected by cattle grazing the Natal
Sour Sandveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 190-195.

O'REAGAIN P.J. & TURNER J.R. 1992. An evaluation of the empirical
basis for grazing management recommendations for rangeland in
southern Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 9: 38-49.

OBERHOLZER T. 1989. The use of Landsat imagery in mapping of the
West Rand-portion of the grassland biome in southern Africa.

M.Sc. Thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.

OLSSON L. 1986. Approaches to monitor renewable resources using remote sensing and geographical information system. In: Damen M.C.J., Sicco Smit G. & Verstappen H.T.H. (eds) 1988. Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management. Vol 3: 1041-1050. Balkema.

OWEN-SMITH N. 1991. Veld condition and animal performance: application of an optimal foraging model. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 77-81.

PAUW J.C. 1988. Riglyne vir die bestuur van die natuurluwe in die bosveldgemeenskappe van die Atherstone natuurresewaat in die noordwes-Transwaal. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

PEEL M.J.S., GROSSMAN D. & VAN ROOYEN N. 1991. Determinants of herbaceous plant species composition on a number of ranches in the north-western Transvaal. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 99-102.

PIEPER R.D. & BECK R.F. 1990. Range condition from an ecological perspective: Modifications to recognize multiple use objectives. J. Range Manage. 43: 550-552.

RANDELL L. SPOT the donga! Paper presented at the EDIS/SAGIS '91 conference. University of Pretoria.

REX D.P. & BECK R.F. 1990. Range condition from an ecological perspective: Modifications to recognize multiple use objectives. J. Range Manage. 43: 550-552.

RHIND D. 1991. Data access, charging and copyright and their implications for GIS. Paper presented at the EDIS/SAGIS '91 conference. University of Pretoria.

ROBINOVE C.J. 1981. The logic of multispectral classification and mapping of land. Remote sensing of environment. 11(3): 231-244.

RUTHERFORD M.C. & WESTFALL R.H. 1986. Biomes of southern Africa - an objective categorization. Mem. Bot. Surv. S. A. 54. Government Printer, Pretoria.

SCHOLTZ M. 1989. 'n Plantekologiese verwysingsperseelnetwerk vir die Hoëveldlandboustreek. M.Sc.-verhandeling, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

SMIT G.N. & RETHMAN N.F.G. 1992. Inter-related floristic changes associated with different long-term grazing treatments in Sourish Mixed Bushveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 9: 76-82.

SMITH S.M., SCHREIER H.E. & BROWN S. 1991. Spatial analysis of forage parameters using geographic information system and image-analysis techniques. Grass and Forage Science. **46**: 183-189.

SNYMAN D.D. & GROSSMAN D. 1990. Tekortkominge van die naasteplant-metode en Dyksterhuis-verwante klassifikasiesisteme om veldtoestand in semi-ariëde gebiede te bepaal. Tydskrif Weidingsveren. S. Afr. **7**: 273-276.

SNYMAN D.D. 1989. Verwantskap tussen veldtoestand reënval en dierebelading in die mopanieveld. M.S.c. Agric.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

SNYMAN H.A. & VAN RENSBURG W.L.J. 1990. Korttermyn invloed van strawwe droogte op veldtoestand en waterverbruiksdoeltreffendheid van grasveld in die sentrale Oranje-Vrystaat. Tydskrif Weidingsveren. S. Afr. **40**: 249-256.

STROHBACH B.J. 1989. Die verfyning van populasieveranderingsmodelle met behulp van outekologiese studies van die belangrikste grasspesies in die westelike grasveldbioom. M.Sc.-verhandeling Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

STUART-HILL G.C. 1989. Some problems with using proportional species composition. In: Danckwerts J.E. & Teague W.R. (eds).

- Veld management in the eastern Cape. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, pp. 92-96.
- STUART-HILL G.C. 1991. Towards visual assessment of succulent valley bushveld. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 63-69.
- STUART-HILL G.C. & HOBSON F.O. 1991. An alternative approach to veld condition assessment in the non-grassveld regions of South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 179-185.
- TAINTON N.M. (ed) 1981. Veld and pasture management in South Africa. University of Natal Press, Pietermaritzburg.
- TAINTON N.M. 1988. A consideration of veld condition assessment techniques for commercial livestock production in South Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 5: 76-79.
- TAINTON N.M., EDWARDS P.J. & MENTIS M.T. 1980. A revised method for assessing veld condition. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 15: 37-42.
- TAINTON N.M., FORAN B.D. & BOOYSEN P. de V. 1978. The veldcondition score: an evaluation in situations of known past management. Proc. Grassl. Soc. sth. Afr. 13: 35-40.
- TAKAR A.A., DOBROWOLSKI J.P. & THUROW T.L. 1990. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and interrill erosion on a Somalio rangeland.

THERON G.K. 1973. 'n Ekologiese studie van die plantegroei van die Loskopdam-natuurreservaat. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

THRASH I., THERON G.K. & DU P. BOTHMA J. 1993. Impact of water provision on herbaceous community composition in the Kruger National Park, South Africa. Afr. J. Range For. Sci. 10: 31-35.

TIDMARSH C.E.M. & HAVENGA C.M. 1955. The wheel point method of survey and measurement of semi-open grasslands and Karoo vegetation in South Africa. Mem. Bot. Surv. S. Afr. 29: 1-4.

TIMBERLAKE J.R. 1980. Vegetation map of South Eastern Botswana. Division of land utilization. Department of field services. Ministry of agriculture, Gabarone.

TROLLOPE W.S.W. 1990. Development of a Technique for assessing veld condition in the Kruger National Park using key grass species. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 46-51.

TROLLOPE W.S.W., TROLLOPE L.A. & BOSCH O.J.H. 1990. Veld and pasture management terminology in southern Africa. J. Grassl. Soc. South. Afr. 7: 52-75.

TUELLER P.T. 1991. Remote sensing applications for monitoring rangeland vegetation. J. Grassl. Soc. South. Afr. 8: 160-167.

VAN DEN BERG H.M. 1987. Acacia karroo-Indringing in die BC-landtipe. Ongepubliseerde verslag. Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M. 1989a. Ongepubliseerde Bulgerivier-plantegroeikaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M. 1989b. Plantegroei-verandering. Ongepubliseerde verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M., BEUKES B.H., BREDEKAMP G.J., VAN ROOYEN N., PRETORIUS D.J. & KRUGER J.A. 1993a. The use of remote sensing in a GIS spatial database to identify and quantify vegetation-habitat relationships. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BEUKES B.H., BREDEKAMP G.J., VAN ROOYEN N., PRETORIUS D.J. & KRUGER J.A. 1993b. Remote sensing: a tool in a GIS spatial database to characterize veld condition. In prep., M.Sc. thesis, University of Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BREDEKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993a. Die toepassing van meerveranderlike analise-tegnieke om die invloed van habitat op die verspreiding van plantegroei in die

Noordwes-Transvaalse bosveld te bepaal. In voorbereiding, M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

VAN DEN BERG H.M., BREDENKAMP G.J. & VAN ROOYEN N. 1993b. Die invloed van habitat op plantegroei-veranderings veroorsaak deur beweiding in die Noordwes-Transvaalse Suur- en Gemengde bosveld. In voorbereiding, M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria

VAN DEN BERG H.M., COUSINS R.R., GERBER J.J., VOS J.E. 1989. Ongepubliseerde Rooibosbult-plantegroei-kaart en verslag. 47 Opmetingseskadron, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

VAN DEN BERG H.M., KOCH A. & BOOYENS H.B. in prep. The influence of rainfall on the species composition of certain habitats in the north-western Transvaal Mixed Bushveld.

VAN DER MEULEN F. 1979. Plant sociology of the western Transvaal Bushveld, South Africa. A syntaxonomic and synecological study. Vaduz, Cramer.

VAN ROOYEN N., BEZUIDENHOUT D., THERON G.K. & DU P. BOTHMA J. 1990. Monitoring of the vegetation around artificial watering points (windmills) in the Kalahari Gemsbok National Park. Koedoe 33: 63-88.

VAN ROOYEN N., BREDENKAMP G.J. & THERON G.K. 1991. Kalahari vegetation: veld condition trends and ecological status of species. Koedoe **34**: 61-72.

VAN ROOYEN N., BREDENKAMP G.J. & THERON G.K. 1991. Kalahari vegetation: veld condition trends and ecological status of species. Koedoe **34**: 61-72.

VAN STADEN J.M. 1992. Die fitososiologie van die Steenbokpan omgewing in die noordwes-Transvaal. M.Sc.-verhandeling, Universiteit van Pretoria.

VLOK A.C. & ZIETSMAN H.L. 1991. Digital analysis of satellite imagery: An art or a science? Paper presented at the EDIS/SAGIS '91 conference. University of Pretoria.

VORSTER M. 1982. The development of the ecological index method for veld condition in the Karoo. Proc. Grassl. Soc. Sth. Afr. **84**-89.

WALKER B.H. & NOY-MEIR I. 1982. Aspects of the stability and resilience of Savanna ecosystems. In: Huntley B.J. & Walker B.H. (eds). Ecology of Tropical savannas. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 556-590.

WALSH S.J. 1985. Geographic information systems for natural resource management. J. Soil and Water Cons. **40**(2): 202-205.

WEERBURD 1990. Jaarlikse weerverslag vir die jaar 1990. Weerburo,
Dept. van omgewingsake.

WEERBURD 1991. Jaarlikse weerverslag vir die jaar 1991. Weerburo,
Dept. van omgewingsake.

WESTFALL R.H. 1981. The plant ecology of the farm Groothoek,
Thabazimbi district. M. Sc. thesis, University of Pretoria.

WESTFALL R.H. & MALAN O.G. 1986. A method for vegetation
stratification using scale-related, vegetation-enhanced
satellite imagery. Bothalia 16,2: 263-268.

WESTHOFF V. & VAN DER MAAREL E. 1978. The Braun-Blanquet
approach. In: Handbook of vegetation science, ed. Whittaker R.
H., pp. 287-399, W. Junk, The Hague.

WILSHER W.A., HERBERT R., WULLSCHLEGER N.J., NAICKER I., VITALI
E. & DE WIT M.J. 1993. Towards intelligent spatial computing
for the Earth sciences in South Africa. S. Afr. J. Sci. 89:
315-323.

WILSON A.D. & MACLEOD N.D. 1991. Overgrazing: Present or absent?
J. Range Manage. 44: 475-482.

YORKS T.P., WEST N.E. & CAPELS K.M. 1992. Vegetation differences
in desert shrublands of western Utah's Pine Valley between
1933 & 1989. J. Range Manage. 45: 569-578.