

**DIE LOKALISERING VAN BODEMDEGRADASIE IN  
NOORD-TRANSVAAL MET BEHULP VAN  
SATELLIETAFSTANDWAARNEMINGSTEGNOLOGIE**

**FRANSINA SUSANNA CILLIERS, HONS. B.A.**

Verhandeling voorgelê vir die graad Magister Artium in Geografie en Omgewingstudie  
in die Fakulteit Lettere en Wysbegeerte  
van die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys.

Studieleier: Dr. L.A. Sandham

Medestudieleier: Mnr. J.G. Nel

Potchefstroom

Maart 1995

Die gebruik van die benaming LEBOWA, verwys na die substreke van die Noordelike Provinsie en Mpumalanga wat voor April 1994 bekend gestaan het as die selfregerende gebied Lebowa. Hierdie verwysing word so gelaat aangesien die navorsing uitgevoer is voordat die indeling en benaming van provinsies gedurende en na 1994 verander is.

## OPSOMMING

Streekskaal bodemdegradasiedata vir die rehabilitasie en die verdere bestuur van die bodem, word ingesamel deur middel van satellietafstandwaarnemingstegnologie (SAT). Hierdie data word aanvanklik deur die Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie benodig vir die beplanning van waterkontrole in die verskillende streke van die eertydse Lebowa. Die Ontwikkelingstrust Korporasie nader die PU vir CHO om hulle by te staan in die lokalisering van die bodemdegradasie, met behulp van satellietdata.

Die gebruik van SAT vereis twee stappe naamlik satellietdata en kontroledata ("*ground truth data*"). Die satellietdata wat gebruik is, is ingesamel deur Landsat Tematiese Karterder (TK). Landsat TK is gekies op grond daarvan dat die ruimtelike resolusie van die data maklik sou aanpas by die spesifieke behoefte aan streekskaaldata. Die satellietdata is verwerk deur middel van die IBM High Level Image Processing System (HLIPS), deur gebruik te maak van die Bayes Maksimum waarskynlikheidsalgoritme. Hierdie beeldverwerkingspakket is deur die PU vir CHO beskikbaar gestel vir die voltooiing van die studie.

Die kontroledata is ingesamel deur veldbesoeke en gekarteer op 1:50 000 kaarte. Kontroledata word aangewend vir die gebruik van opleidingsdata en toetsdata. Opleidingsdata word aangewend in die uitvoer van die rekenaarialgoritme en die resultate daarvan word geverifieer met behulp van die toetsdata.

Akkuraatheidsbepaling van die resultate van die satellietlokalisering is gedoen ten einde die streekskaaldata kwantitatief en kwalitatief te evalueer. In al die kwantitatiewe toetse, soos onder andere die Chi-kwadraattoets en die Kappa-koëffisiënt, is bevredigende resultate verkry. 'n Aanvanklike mikpunt vir bevredigende resultate was 'n persentasie van 51% akkurate lokalisering. Die totale akkuraatheidsvlak van lokalisering is met kwantitatiewe toetsing op 69% bereken.

Kwalitatiewe evaluering lewer positiewe resultate ten opsigte van die bruikbaarheid van streekskaaldata in omgewingsbestuur. Volgens die resultate van die satellietverwerkte data is sowat 33% van die oppervlakte van Lebowa gedegradeer. Hierdie persentasie sluit die grootliks onbewoonde (en nie gedegradeerde) bergagtige dele van Lebowa in. Die totale oppervlakte van bodemdegradasie in Lebowa sal dus meer wees indien dit bereken word vir slegs die bewoon- en bewerkbare dele van die streek. Hierdie resultate gee dus aan die omgewingsbestuurders van dié gebied die geleentheid om omgewingsbeplanning vanuit 'n breër visie (streekskaal) sinvol op plaaslike vlak te doen.

## ABSTRACT

Satellite data are used to gather regional scale soil degradation data. These data are necessary for the planning and management of the environment. The spatial occurrence of soil degradation was needed by the South African Development Trust Corporation in order to determine priorities for water control planning in the various districts of the former Lebowa. The PU for CHE helped completing the survey by gathering the soil degradation locations through image interpretation of satellite data.

Soil degradation data were gathered by means of remotely sensed satellite technology (RSST). The use of RSST concerns two types of data needed viz. satellite data and ground truth data. The satellite data used were Landsat Thematic Mapper (TM) data. Landsat TM was chosen due to the fact that the spatial resolution of these data could easily be applied to the need for regional data. The satellite data were classified on an IBM High Level Image Processing System using the Bayes Maximum likelihood classification algorithm. This image processing system was made available by the PU for CHE.

Ground truth data were gathered during various field trips and mapped on 1:50 000 maps. These data are used for training and testing during and after image processing.

The data derived from the satellite were then compared with the ground truth data to assess the accuracy of location of soil degradation. Accuracy assessment was undertaken by the Chi-squared test and the Kappa test, among others. The overall accuracy of location was assessed to be 69%. This number exceeded the initial goal of 51%.

According to the results from the satellite data, approximately 33% of the total area of Lebowa proved to be degraded. This percentage could even be higher if it is taken into account that this number includes the mainly uninhabited and non-degraded mountainous areas of Lebowa. The results, however, present environmentalists with useful regional scale information to be used during planning on a local scale.

# INHOUDSOPGAWE

OPSOMMING	i
ABSTRACT	iii
LYS VAN FIGURE	xii
LYS VAN TABELLE	xiii
LYS VAN AKRONIEME	xv

## HOOFTUK 1: PROBLEEMSTELLING EN ORIËTERING

1.1	INLEIDING	1
1.2	MOTIVERING	1
1.3	SKAAL VAN BESTUURS- EN REHABILITASIEPROGRAMME	2
1.4	AFSTANDWAARNEMING AS MIDDEL VIR DIE INSAMELING VAN BODEMDEGRADASIEDATA	5
1.5	SAMEVATTING	6
1.6	ROL VAN DIE SUID-AFRIKAANSE ONTWIKKELINGSTRUST KORPORASIE	6
1.7	GEOGRAFIE EN AFSTANDWAARNEMING	7
1.7.1	Waarde van afstandwaarneming vir geografie	7
1.7.2	Toepassing van satellietafstandwaarnemingstechnologie in verskillende afdelings van geografie	9
1.7.2.1	Geomorfologie	9
1.7.2.2	Pedologie	9
1.7.2.3	Hidrologie	9
1.7.2.4	Klimatologie	9
1.7.2.5	Bevolkingsgeografie	9
1.7.2.6	Biogeografie	10
1.7.2.7	Oseanografie	10
1.8	PROBLEEMVRAAG, DOELWITTE EN NAVORSINGSMETODE	10
1.9	ORIËNTASIE VAN DIE STUDIEGEBIED	11

## HOOFSTUK 2: BODEMDEGRADASIE

2.1	INLEIDING	15
2.2	WESE VAN BODEMDEGRADASIE	15
2.3	FAKTORE WAT BODEMDEGRADASIE BEÏNVLOED	16
2.3.1	Krag van die degradasie-agent	17
2.3.2	Degradeerbaarheid van die bodem	17
2.3.3	Helling	17
2.3.4	Rol van plantegroei	17
2.4	BODEMDEGRADASIEPROSES	18
2.4.1	Plaatdegradasie	18
2.4.2	Donga-degradasie	19
2.4.3	Rotsdegradasie	19
2.4.4	Veelvoudige degradasie	19
2.5	REHABILITASIE EN BESTUUR	20
2.5.1	Agronomiese of biologiese metodes	23
2.5.2	Progressiewe bewerkingsmetodes	24
2.5.3	Meganiese en fisiese metodes	25
2.6	SKAAL VAN BODEMDEGRADASIE	26
2.6.1	Bodemdegradasie op streekskaal	27
2.6.2	Bodemdegradasie in Lebowa	29
2.6.2.1	Studiegebied	29
2.6.2.1.1	Geografiese lokalisering	29
2.6.2.1.2	Terreinmorfologie en dreinerings	29
2.6.2.1.3	Klimaat	30
2.6.2.1.4	Plantegroei	30
2.6.2.1.5	Ekonomiese bedrywighede	30
2.6.2.2	Gevolgtrekking	34
2.7	SAMEVATTING	36

## HOOFSTUK 3: SATELLIETAFSTANDWAARNEMINGS- TEGNOLOGIE

3.1	INLEIDING	37
3.2	AFSTANDWAARNEMING	37
3.2.1	Definisie	37
3.2.2	Satellietafstandwaarneming	38
3.2.3	Samestelling van 'n satellietbeeld	38
3.2.4	Afstandwaarneming en resoluëie	40
3.2.4.1	Spektrale resoluëie	40
3.2.4.2	Temporele resoluëie	40
3.2.4.3	Ruimtelike resoluëie	40
3.2.4.4	Radiometriese resoluëie	40
3.2.5	Landsat 5 Tematiese Karteerder (TK)	40
3.2.5.1	Spektrale resoluëie	43
3.2.5.2	Temporele resoluëie	43
3.2.5.3	Ruimtelike resoluëie	43
3.2.5.4	Radiometriese resoluëie	43
3.3	BEELDVERWERKING	44
3.3.1	Data-insameling	45
3.3.1.1	Kontroledata	45
3.3.1.2	Die keuse van beeldmateriaal	45
3.4	KLASSIFIKASIEPROSES	46
3.4.1	Opleidingsfase	46
3.4.1.1	Afbakening van subtonele	46
3.4.1.2	Keuse van kontroledata	47
3.4.2	Voor-klassifikasiefase	47
3.4.2.1	Keuse van die beeldverwerkingssteeem	47
3.4.2.2	Keuse van bandkombinasies	48
3.4.3	Klassifikasiefase	48
3.4.3.1	Klassifikasie	48

3.4.3.2	<i>A priori</i> -waardes	50
3.4.3.3	Drempelwaardes	50
3.4.4	Uitsetfase	52
3.5	SAMEVATTING	53

## HOOFTSUK 4: DATA INSAMELING EN VERWERKING

4.1	INLEIDING	54
4.2	DATA INSAMELING	54
4.2.1	Kontroledata	54
4.2.2	Landsatdata	54
4.2.2.1	Landsatbeelde	54
4.2.2.2	Keuse van die beelde	56
4.3	DATA VERWERKING	58
4.3.1	Opleidingsfase	58
4.3.1.1	Afbakening van subtonele	58
4.3.1.2	Keuse van kontroledata	60
4.3.2	Voor-klassifikasiefase	60
4.3.2.1	Beeldverwerkingsstelsel	60
4.3.2.2	Keuse van bandkombinasies	60
4.3.3	Klassifikasiefase	61
4.3.3.1	Klassifikasie	61
4.3.3.2	<i>A priori</i> -waardes	65
4.3.3.3	Drempelwaardes	65
4.3.4	Uitsetfase	66
4.3.4.1	Agtergrond tot die interpretasie van die klassifikasieresultate	66
4.3.4.2	Klassifikasieresultate	67
4.4	GEVOLGTREKKING	71

## **HOOFSTUK 5: AKKURAAATHEIDSBEPALING**

5.1	INLEIDING	72
5.2	DOEL VAN AKKURAAATHEIDSBEPALING	72
5.2.1	Inleiding	72
5.2.2	Samestelling van 'n gebeurlikheidstabel	73
5.3	NIE-LIGGINGSPESIFIEKE AKKURAAATHEIDSBEPALING EN LIGGINGSPESIFIEKE AKKURAAUHEIDSBEPALING	76
5.3.1	Nie-ligging spesifieke akkuraatheidsbepaling (N-LAB)	76
5.3.2	Ligging spesifieke akkuraatheidsbepaling (LAB)	77
5.3.2.1	Die Chi-kwadraattoets	78
5.3.2.2	Die gebeurlikheidskoeffisiënt	83
5.3.2.3	Kappa-koeffisiënt	85
5.2.3.4	Totale akkuraatheidsvlak	87
5.2.3.5	Trefwaarskynlikheidsyfer	88
5.2.3.6	Valsalarmverhouding	88
5.2.3.7	Uitsluitingsfoute	89
5.3.2.8	Kritieke suksesindeks	89
5.4	BESPREKING VAN DIE RESULTATE	91
5.4.1	Evaluasie ten opsigte van gebiede T 3 en T 4	91
5.4.2	Opsomming van die resultate	91
5.4.2.1	Ligging spesifieke akkuraatheidsbepaling	91
5.5	SAMEVATTING	93

## **HOOFSTUK 6: SINTESE**

6.1	INLEIDING	94
6.2	EVALUERING VAN DIE STUDIEDOELWITTE	94
6.2.1	Problematiek van bodemdegradasie	94
6.2.2	Relevante satellietafstandwaarnemingstegnologie	95
6.2.3	Beskrywing van die lokaliseringstegniek	95

6.2.3.1	Data-insameling	95
6.2.3.2	Verwerking van die satellietdata	95
6.2.3.3	Akkuraatheidsbepaling	97
6.2.4	Waarde van satellietafstandwaarnemingstechnologie met betrekking tot omgewingsbestuur op streekskaal	98
6.3	AANBEVELINGS	99
6.4	SLOT	99
 <b>BRONNELYS</b>		 101
 <b>BYLAE</b>		 112

## LYS VAN FIGURE

Figuur 1.1:	Skematiese voorstelling van die navorsingsmetodologie	12
Figuur 1.2:	Oriëntasiekaart van die studiegebied	13
Figuur 2.1:	Fisiografiese streke van Lebowa	31
Figuur 2.2:	Belangrikste dreinerings van Lebowa	32
Figuur 3.1:	'n Skematiese voorstelling van die pixels en spektrale bande van 'n multispektrale satellietbeeld	39
Figuur 3.2:	Wentelbaan van Landsat 5 TK	42
Figuur 3.3:	Verskillende fases van die klassifikasieproses	49
Figuur 3.4:	Digtheidsfunksies waar die snypunt die besluitnemingsvlak van drempelwaardes aandui	51
Figuur 4.1:	Liggings van die ses kontrolegebiede	55
Figuur 4.2:	Liggings van Landsat 5 TK-beelde	57
Figuur 4.3:	Subtonele onttrek uit die vier Landsat-beelde	59
Figuur 4.4:	Normaalkurwe om die verspreiding van bodemdegradasie in TM 2 klas 1 tot 3 aan te toon	63
Figuur 4.5:	Liggings van die verskillende distrikte in Lebowa soos verwys in Tabel 4.5	70

## LYS VAN TABELLE

Tabel 2.1:	Verskillende grade van degradasie	20
Tabel 2.2:	Gemiddelde reënval en temperatuur vir Lebowa per fisiografiese streek	33
Tabel 3.1:	Spektrale resolusie waarin Landsat 5 TK meet	43
Tabel 4.1:	Besonderhede van die onderskeie Landsat TK-beelde wat in die studie gebruik is	56
Tabel 4.2:	Statistiek om die refleksiewaardes van die drie verskillende degradasielasse aan te toon	62
Tabel 4.3:	Standaardafwykings van die drie klasse van bodemdegradasie met 'n vertrouensinterval van 95%	63
Tabel 4.4:	Oppervlak van degradasie in hektaar, soos gelokaliseer per subtoneel met behulp van Landsatdata	68
Tabel 4.5:	Voorkoms van degradasie in Lebowa in die vier klasse van degradasie met die totale oppervlakte van degradasie in persentasie(s)	69
Tabel 5.1:	Gebeurlikheidstabel	74
Tabel 5.2:	Foutmatriks met empiriese (werklike) waardes in pixel tellings vir die kontrolegebiede	79
Tabel 5.3:	Empiriese waardes van gebied T 1	80
Tabel 5.4:	Teoretiese waardes volgens die nulhipotese vir gebied T 1	81
Tabel 5.5:	Chi-kwadraatwaardes bereken vir al ses die kontrolegebiede asook vir die totale gebied	82
Tabel 5.6:	Chi-kwadraatwaardes, C-waardes, C/ 0,707-waardes en r-waardes vir die kontrolegebiede	85
Tabel 5.7:	Kappa waardes vir die ses kontrolegebiede asook vir die totale gebied, met die persentasie van akkuraatheid	86
Tabel 5.8:	Totale akkuraatheidsvlak (TAV), trefwaarskynlikheidsyfer (TW), valsalarmerverhouding (VAV), uitsluitingsfoute (UF) en kritieke suksesindeks (KSI) bereken vir die ses toetsgebiede	90

## LYS VAN AKRONIEME

ABB	-	Afloopbeheerbepanning
GIS	-	Geografiese Inligtingstelsel
HLIPS	-	<i>High Level Image Processing System</i>
IBM	-	<i>International Business Machines</i>
KSI	-	Kritieke Suksesindeks
LAB	-	Liggingspesifieke Akkuraateidsbepaling
LANDSAT	-	<i>Land Satellite</i>
MIPS	-	<i>Map and Imaging Processing System</i>
MSS	-	<i>Multi Spectral Sensor</i>
LB	-	Landgebruikbeplanning
N-LAB	-	Nie-liggingspesifieke Akkuraateidsbepaling
PIXEL(S)	-	<i>picture element(s)</i>
RADAR	-	<i>Radio Direction and Ranging</i>
RBV	-	<i>Return Beam Vidicon</i>
ROB	-	Rivieropvanggebiedbeplanning
SAOTK	-	Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie
SAT	-	Satellietafstandwaarnemingstegnologie
STS	-	Satelliettoepassingsentrum
TAV	-	Totale Akkuraateidsvlak
TK	-	Tematiese Karteerder
TM	-	<i>Thematic Mapper</i>
TW	-	Trefwaarskynlikheidsyfer
UF	-	Uitsluitingsfoute
VAV	-	Valsalarmverhouding
WNNR	-	Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad
WRS	-	<i>Worldwide Reference System</i>

# HOOFSTUK 1

## PROBLEEMSTELLING EN ORIËTERING

### 1.1 INLEIDING

Hierdie hoofstuk verskaf 'n inleidende oorsig ten opsigte van die motivering vir die studie. Die problematiek rondom die lokalisering van bodemdegradasie<sup>1</sup> op streekskaal word bestudeer en in perspektief geplaas tot die oplossing wat satellietafstandwaarnemingstechnologie (SAT) as lokaliseringmetode bied.

### 1.2 MOTIVERING

Die bewaring van die bodem is baie belangrik aangesien die bodem die voedingsbron van die mens is. Degradasie van die bodem het die verlies aan bo-grond, wat een van die belangrikste hulpbronbasse is vir die oorlewing van die mens, tot gevolg.

Gemeenskappe in ontwikkelende lande in die besonder, is afhanklik van die bodem as grootste bron van inkomste en voeding. Yeld (1993:29) bereken dat Suid-Afrika jaarliks ongeveer 3 ton bodem per hektaar verloor. Bestuurs- en rehabilitasieprogramme vir bodembestuur behoort dus veral in ontwikkelende lande, soos Suid-Afrika, ingestel te word, ten einde te verseker dat hierdie hulpbron op 'n volhoubare basis benut kan word.

---

<sup>1</sup> Bodemdegradasie is die proses waardeur gronddeeltjies van een lokaliteit verwyder word en na ander lokaliteite verskuif (Jain *et al.*, 1981:273).

Omgewingsbestuursbeplanning kan op drie skale<sup>2</sup> plaasvind naamlik:

- \* plaaslike skaal,
- \* streekskaal en
- \* nasionale skaal (Therivel *et al.*, 1992:19).

Omgewingsbestuur en rehabilitasiebeplanning is tot dusver hoofsaaklik op plaaslike skaal aangespreek (Burger, 1990:185). Die bestudering van omgewingsprobleme op slegs plaaslike skaal, terwyl die probleem regionaal van aard is, is problematies. Die omgewing is eerstens 'n sisteem met veelvoudige interafhanklike veranderlikes. Dit impliseer dat een veranderlike nie afsonderlik en slegs op plaaslike skaal bestudeer en bestuur kan word nie, maar dat die veranderlike in konteks met ander veranderlikes wat verband hou, en in konteks met die streeksverspreiding van veranderlikes, bestuur moet word. 'n Fokus op slegs die plaaslike skaal maak dit waarskynlik dat daar konflik in bestuursbesluite sal voorkom, aangesien daar baie omgewingsveranderlikes is om in ag te neem. Bogenoemde potensiële konflik spruit nie slegs voort uit die kompetisie tussen verskillende omgewingsdoelwitte nie, maar ook uit die kompetering tussen omgewingsdoelwitte en sosio-ekonomiese doelwitte, asook die bepaling van prioriteite binne een veranderlike (Cuff & Ruddy, 1994:45).

Die potensiële voordele wat omgewingsbestuursbeplanning op 'n groter skaal inhou, mag bogenoemde konflik uit die weg ruim. Edgmon (1979:199) stel die volgende: *"An important concept in the conventional wisdom of environmental management is the concept of region as a basic unit for organizing environmental and natural resources management activities."*

---

<sup>2</sup> Begrensing vir skale kan selde skerp en presies wees. Vir die doeleindes van hierdie studie word die volgende afbakening gebruik:

Plaaslike skaal: enige oppervlakte tot en met plaasgrense;

Streekskaal: oppervlakte groter as 'n plaas maar kleiner as provinsies, en

Nasionale skaal: alle oppervlakte tot en met nasionale grense.

Glasson (1994:44) bevind ook dat omgewingsbestuur uitgebrei moet word na breër grense as slegs 'n ondersoek op plaaslike skaal.

Omgewingsbestuursbeplanning wat slegs op die plaaslike skaal berus, is ondoeltreffend as gevolg van die volgende redes:

- \* dit tree nie voorkomend op nie en kan slegs 'n voorgestelde projek aanvaar of verwerp;
- \* dit kan nie die kumulatiewe invloed van meer as een projek op die omgewing in aanmerking neem nie;
- \* die identifisering van alternatiewe om omgewingsprobleme op te los is meer beperk op 'n plaaslike skaal;
- \* 'n gebrek aan tyd om 'n (intensiewe) analise op plaaslike skaal te voltooi, wat gevolglik veroorsaak dat genoegsame data nie ingesamel word nie. 'n Gebrek aan tyd gesien in samehang met die bogenoemde drie redes kan die visie van die analise vernou; en
- \* die kwaliteit van die analise ten opsigte van bestuursbeplanning is nie voldoende nie, aangesien 'n plaaslike skaal studie nie die invloed van die omgewing buite die grense van die plaaslike skaal studie in ag neem nie (Therivel *et al.*, 1992:19-22).

Volgens Therivel *et al.* (1992:22) is omgewingsbestuur en -beplanning op 'n groter skaal ook belangrik om 'n volhoubare omgewing in stand te hou "...it is also needed as a way of implementing the concept of sustainability".

Die raamwerk waarbinne omgewingsbestuursbeplanning uitgevoer word is dus veel groter en breër as 'n plaaslike skaal benadering. Oplossings vir probleme en alternatiewe vir projekte vind nou plaas binne die beskouing van 'n interafhanklike geheel (Cuff & Ruddy, 1994:44; Therivel *et al.*, 1992:23).

Omgewingsbestuur en -beplanning wat aanvanklik op streekskaal gedoen is, verskaf ook in die woorde van Cuff en Ruddy (1994:45) "... a better view of the bigger picture" wat die bepaling van prioriteite vergemaklik. Daar is dus 'n behoefte aan data met minder detail, maar met 'n volledige dekking van 'n streek.

Ten einde omgewingsbestuursbeplanning op streekskaal te kan uitvoer, is daar 'n behoefte aan data op hierdie skaal. In die verlede is die omgewingsdata feitlik net deur konvensionele metodes<sup>3</sup> ingesamel en aangewend vir data op plaaslike skaal. Hierdie plaaslike skaal data is nou onvolledig vir die aanwending as streekskaaldata en moet aangevul word deur streekskaaldata om bruikbaar te wees vir streekskaalbestuur. Insameling van data op konvensionele metodes verg baie tyd en mannekrag. Dit is gevolglik duur (Prinsloo, 1992:71).

In die lig van bogenoemde tekortkominge en duur insamelingsmetodes moet daar na alternatiewe metodes vir data-insameling gesoek word. Volgens Therivel *et al.* (1992:27) kan die oplossing vir bogenoemde data-insameling gevind word deur gebruik te maak van afstandwaarnemingstechnologie en Geografiese Inligtingstelsels (GIS): "*Various organizations are calling for more, and better organized, data on the environment. Methods of remote sensing and geographical information systems are being developed for the rapid collection, statistical analysis and comparison of such data.*"

Versnelde verliese aan bodem, knellende droogtes en die steeds groter groeiende bevolking, maak die bestuur van die bodem as hulpbron 'n belangrike prioriteit. Streekskaaldata met betrekking tot bodemdegradasie is dus baie belangrik. In Suid-Afrika is daar weinig studies oor die insameling van bodemdegradasiedata gedoen en geen studies tot op hede met betrekking tot die insameling van streekskaal bodemdegradasiedata nie. Volgens Therivel *et al.* (1992:27) kan satellietafstandwaarnemingstechnologie (SAT) aangewend word vir die insameling van bruikbare streekskaaldata. In hierdie studie word SAT aangewend om te bepaal of dit moontlik is om bruikbare bodemdegradasiedata op streekskaal in te samel.

---

<sup>3</sup> Insameling van data deur konvensionele metodes vind plaas met behulp van vliegtuie, helikopters, voertuie en te voet.

## 1.4 AFSTANDWAARNEMING AS MIDDEL VIR DIE INSAMELING VAN BODEMDEGRADASIEDATA

Navorsing wat reeds gedoen is oor die lokalisering van bodemdegradasie met behulp van afstandwaarnemingstechnologie word vervolgens kortliks bespreek om die moontlike oplossing wat dié tegnologie vir data-insameling bied, aan te toon:

- \* Raina *et al.* (1991:47-52) beskryf 'n studie waarin die voorkoms van bodemdegradasie in Indië met behulp van satellietafstandwaarnemingstechnologie, op 'n plaaslike skaal gekarteer is. In die droë dele van Indië het oorbeweiding en die bewerking van marginale dele gelei tot ernstige afmetings van bodemdegradasie wat dus dringende bodembewaring en rehabilitasie vereis. Daar word ook aanbeveel dat bodemdegradasiedata op streekskaal waardevol sal wees vir omgewingsbestuursbeplanning.
- \* Price (1993:233-248) het Landsat Tematiese Karteerder (TK) data gebruik om verskillende grade van bodemdegradasie in woude op te spoor, ten einde rehabilitasie van die gedegradeerde bodem te kan doen. Die skrywer het, na aanleiding van die resultate van die studie, aanbeveel dat multi-temporele<sup>4</sup> satellietdata aangewend behoort te word in toekomstige modellering van bodemdegradasie in die woude.
- \* Pickup en Chewings (1986:60-84) het Landsat Multispektrale Sensor (MSS) data gebruik om bodemdegradasiepatrone te karteer en die resulterende landskapsvorm te voorspel. Hierdie studie is onderneem aangesien beskikbare plaaslike skaal data ontoereikend was. Dit het ook die tydsduur en kostes verbonde aan die insameling van toereikende plaaslike skaal data met konvensionele metodes, beperk.

---

<sup>4</sup> Kyk paragraaf 3.2.4.2

- \* Palacio-Prieto en Lopez-Blanco (1994:33-43) het donga-degradasie op plaaslike skaal evalueer met behulp van video beeldmateriaal. Die doel van die evaluasie was om te bepaal hoe suksesvol video beeldmateriaal aangewend kan word in die opsporing van bodemdegradasie. Video beeldmateriaal is ook afstandwaargenome data wat met sukses aangewend kan word as plaaslike skaal data.
- \* In Suid-Afrika is daar nog feitlik geen navorsing in verband met bodemdegradasielokalisering met SAT as middel gedoen nie. Randall (1991:1-11) het SAT gebruik om donga-degradasie in die eertydse Bophutatswana op te spoor sodat beplanning van waterkontrole vir die gebied gedoen kon word.

Daar moet egter daarop gelet word dat data-insameling in hierdie studies nie op 'n streekskaal plaasgevind het nie. Hierdie studies word slegs genoem as bewys daarvan dat bodemdegradasie in die verlede reeds suksesvol gelokaliseer is (op plaaslike skaal) deur middel van SAT.

Afstandwaarnemingstechnologie is dus wel in die verlede suksesvol aangewend om plaaslike skaal data van bodemdegradasie in te samel. In hierdie studie word die insameling van data op *streekskaal* deur SAT geëvalueer.

## 1.5 SAMEVATTING

Die lokalisering en kwantifisering van bodemdegradasie binne streekskonteks kan aangewend word vir sinvolle beplanning en die bepaling van prioriteite vir rehabilitasie en bestuur op plaaslike vlak. SAT is reeds gebruik as metode om bodemdegradasiedata op plaaslike skaal in te samel. Daar word vir die doel van hierdie studie gepostuleer dat SAT wel aangewend kan word om bodemdegradasie op streekskaal (in Lebowa) te lokaliseer.

## 1.6 ROL VAN SAOTK<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie.

Gedurende Oktober 1991 is die Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie (SAOTK) deur die voormalige Departement van Landbou en Omgewingsake van Lebowa genader om 'n studie oor bodemdegradasie in Lebowa van stapel te stuur. Die doel van SAOTK was om genoegsame inligting oor bodemdegradasie in te samel, sodat beplanningsprioriteite vir waterkontrole in die verskillende streke bepaal kon word. Bodemdegradasiedata moes op streekskaal ingesamel word, sodat die prioriteitsgebiede vanuit streekskaal op plaaslike skaal afgebaken kon word.

Die insameling van data deur middel van SAT is as werksmetode gekies, aangesien die satellietdata (deur die groot oppervlakte wat eenmalig gedek word) aan die behoefte vir streekskaaldata sou voldoen (kyk paragraaf 1.4, p.5). Die satellietdata is ook 'n vinnige en relatief koste-effektiewe<sup>6</sup> metode van data-insameling (kyk paragraaf 1.3, p.2). SAOTK beskik nie oor die tegniese middele om beeldverwerking te doen nie en die Departement van Geografie en Omgewingstudies aan die PU vir CHO is genader om hierdie aspek van die ondersoek te hanteer.

## 1.7 GEOGRAFIE EN AFSTANDWAARNEMING

In hierdie studie word daar gebruik gemaak van satellietdata ten einde inligting oor bodemdegradasie vinnig en koste-effektief in te samel. Die gebruik van satellietdata in geografiese wetenskappe word vervolgens bespreek.

### 1.7.1 Waarde van afstandwaarneming vir geografie

Clark (1985:243) definieer geografie as volg: *"the branch of knowledge concerned with the study of the material and human phenomena in the space accessible to human beings and their instruments, especially the patterns of, and variation in, their distribution in that space, on all scales, in the past or present. It involves description, classification, analysis, synthesis,*

---

<sup>6</sup> Die koste per satellietbeeld vir hierdie studie het ongeveer R5 000 beloop. Aangesien 4 beelde gebruik is word die koste vir die data bereken op ongeveer R20 000. Hierdie werk is egter navorsing en koste van die interpreteerder kan nie bereken word nie.

*explanation.* " Die waarde van afstandwaarnemingstechnologie vir geografie lê dus in die vinnige en relatief koste-effektiewe insamelingsmetode van geografiese data.

Afstandwaargenome data kan op feitlik alle skale die patrone en variasie van verskynsels op die aardoppervlak aan die geograaf verskaf. Prinsloo (1992:8) som uit verskeie outeurs die belangrikste voordele wat afstandwaarneming vir 'n ruimtelike wetenskap soos geografie inhou op en beskryf dit as die volgende:

- \* gedetailleerde en onmiddellik beskikbare verslae oor aardoppervlakverskynsels kan verkry word;
- \* 'n oppervlakgetroue, sowel as skaalgetroue weergawe van 'n relatiewe groot gebied kan verkry word;
- \* wetenskaplikes verkry moniterings- en bestuurshulp aangaande die aarde se hulpbronne;
- \* werklikheidsgetroue inligting kom op satellietafstandwaargenome data voor; en
- \* periodieke opnames en die monitering van verskynsels binne 'n gebied kan gedoen word.

Wise (1985:5) beweer ook dat die geograaf in die toekoms al meer data gaan benodig en dat die mees effektiewe manier om hierdie data in te samel met behulp van veral satellietafstandwaarneming is. Ook Barrett en Curtis (1978:7-9) sien die toepassing van afstandwaarneming in geografie as 'n integrale deel van die geografiese wetenskap vir die toekoms.

Data word dus oor groot oppervlaktes ingesamel asook in gebiede wat moeilik bereikbaar is vir konvensionele insamelingsmetodes. Data word vinniger as met konvensionele metodes ingesamel, minder mannekrag word benodig en die data-insameling is gevolglik meer koste-effektief. Die wye ruimtelike toepassing van afstandwaarnemingsdata, asook die moontlikheid van gereelde monitering van groot oppervlaktes, kan afstandwaarnemingstechnologie 'n belangrike deel maak in die moderne toepassing van die geografiese wetenskap op enige skaal.

## **1.7.2 Toepassing van SAT in verskillende afdelings van geografie**

Volgens White (1990:90-96) kan afstandwaarneming in alle afdelings van geografie aangewend word as 'n tegnologie waarmee data aan die dissipline verskaf word. Die volgende vakdissiplines en onderafdelings van geografie maak reeds gebruik van afstandwaarneming as data-insamelingstegnologie en sal in 'n bondige opsomming beskryf word:

### **1.7.2.1 Geomorfologie**

SAT word veral gebruik in die kartering van minerale, geomorfologie en vulkaniese monitering (Cochran & Pyle, 1983:1373-1375; Newton & Boyle, 1991:1-21).

### **1.7.2.2 Pedologie**

Veral grondvogtigheid en grondtipes kan nagevors word (Frazier, 1989:155-158; Escafadal, 1989:159-163). Kartering en monitering van bodemdegradasie kan ook deur middel van SAT uitgevoer word (Randall, 1991:1-11; Bhatti *et al.*, 1991:181-191).

### **1.7.2.3 Hidrologie**

Die monitering van binnelandse watervlakke en -kwaliteit asook die konsentrasie van geërodeerde sedimente in afloop (Anderson, 1981:144-155; Ghatto, 1990:1-16; Couillard, 1986:327-341).

### **1.7.2.4 Klimatologie**

Die bestudering van presipitasie, vogtigheid, winde, wolke, radiasie en besoedeling van die atmosfeer (Lo, 1986:46; Carleson *et al.*, 1981:67-87).

### **1.7.2.5 Bevolkingsgeografie**

Die bestudering van bevolkingsverskuiwings, bewegings, vestigingspatrone en die skatting van bevolkingsyfers (Iisaka & Hegedus, 1982:259-272).

#### 1.7.2.6 Biogeografie

Plantegroei monitering en identifikasie, veral belangrik in landbou en bosbou, kan plaasvind met behulp van SAT (Byrne *et al.*, 1980:175-184; Curran, 1980:315-341; Smith *et al.*, 1990:1-26; Alonso *et al.*, 1991:29-35).

#### 1.7.2.7 Oseanografie

Waterkwaliteit ten opsigte van soutgehalte, turbulensie, waterdigtheid en chlorofil konsentrasie (alge en ander plantvoedsels) word gemoniteer (Allan, 1983:409-433).

### 1.8 PROBLEEMVRAAG, DOELWITTE EN NAVORSINGSMETODE

In hierdie studie word die volgende navorsingsvraag gestel:

*"Tot watter graad van akkuraatheid kan bodemdegradasie in Lebowa op streekskaal met behulp van satellietafstandwaarnemingstegnologie gelokaliseer word?"*

Die doelwitte van hierdie studie is die volgende:

- \* 'n oorsigtelike beskouing van die problematiek van bodemdegradasie.
- \* die bespreking van die relevante SAT.
- \* om die data-insamelingsproses (bodemdegradasie data) en die verwerking van die satellietdata te beskryf.
- \* die bepaling van akkuraatheid van bodemdegradasielokalisering op streekskaal deur satellietafstandwaarnemingstegnologie (kwantitatiewe evaluasie).
- \* die kwalitatiewe evaluasie van SAT vir omgewingsbestuur op streekskaal.

Die navorsingsmetodologie word skematies voorgestel in Figuur 1.1.

Data word ingesamel deur gebruik te maak van SAT. Die verkryging van die relevante satellietdata asook die insameling en kartering van die ondersteunende kontroldata is belangrik.

Die satellietdata word verwerk en geïnterpreteer deur gebruik te maak van rekenaaromatige beeldverwerking. Kontroledata word gedurende die beeldverwerkingsproses tweeledig aangewend naamlik eerstens as opleidingsdata en tweedens as toetsdata. Die eindresultaat van die beeldverwerking is 'n beeldverwerkingskaart waarop die gelokaliseerde bodemdegradasieliggings aangetoon word. Hierdie liggings word dan op 1:50 000 skaal kaarte oorgedra en deur veld-ondersoeke geverifieer. Laastens word die finale liggings op 'n kaart aangetoon (Die bylae verskaf al die name en nommers van die 1:50 000 topografiese kaarte wat in die studie gebruik is). Ten einde die sukses van die lokalisering te bepaal word die resultate kwantitatief geëvalueer aan die hand van verskeie statistiese toetse soos onder andere die Chi-kwadrat toets en die Kappa-koëffisiënt. 'n Mikpunt van ten minste 51 % akkuraatheid word gestel om te bepaal of die studie suksesvol afgehandel is. Die bydrae wat die studie ten opsigte van data-insameling op streekskaal met betrekking tot omgewingsbestuur gelewer het, word kwalitatief geëvalueer.

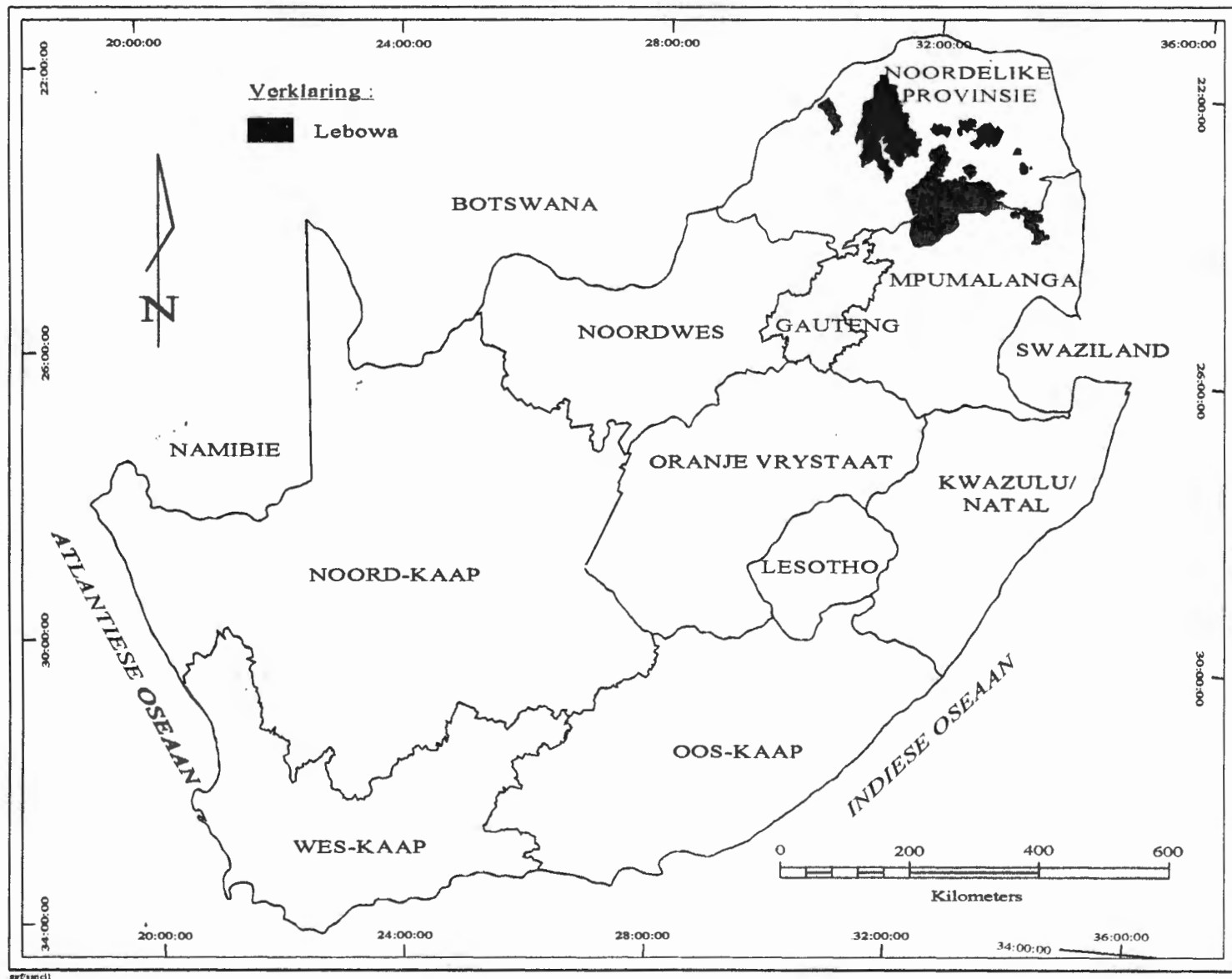
## **1.9 ORIËNTASIE VAN DIE STUDIEGEBIED**

Figuur 1.2 toon die grense van die eertydse Lebowa waarbinne die studie gedoen is. Die gebied bestaan uit 11 geografiese gebiede (kyk Figuur 1.2) en is geleë tussen 22°30'S en 25°30'S en tussen 28°30'O en 31°40'O.

Die grootste deel van die studiegebied is geleë binne die grense van die huidige Noordelike Provinsie terwyl 'n klein gedeelte aan die suidekant van die studiegebied binne die grense van Mpumalanga geleë is.



Figuur 1.1 Skematiese voorstelling van die navorsingsmetodologie



Figuur 1.2 Oriëntasiekaart van die studiegebied  
 (Bron: Grové & Meintjies, 1986:Bylae 1)

## **1.10 VOORUITSKOUING**

In hierdie studie word die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal deur middel van satellietafstandwaarnemingstechnologie aangespreek. Dit is gevolglik belangrik om die rol van bodemdegradasie en die invloed wat dit op die omgewing het te bespreek (Hoofstuk 2). Bodemdegradasie word met behulp van SAT op streekskaal gelokaliseer. Hoofstuk 3 bevat die teoretiese begronding van satellietdata en beeldverwerking. Die insameling van data en die rekenaarmatige kartering van bodemdegradasie word in hoofstuk 4 bespreek. Die bepaling van die akkuraatheid van klassifikasie volg in hoofstuk 5. In hoofstuk 6 word die resultate van die studie bespreek en word die waarde van SAT vir streekskaaldata-insameling geëvalueer.

## HOOFSTUK 2

### BODEMDEGRADASIE

#### 2.1 INLEIDING

Bodemdegradasie is vandag veral in ontwikkelende lande 'n ernstige probleem (Mannion, 1991:232). Volgens Jain *et al.* (1981:273) is bodemdegradasie die proses waardeur gronddeeltjies vanaf 'n lokaliteit verwyder word en na ander lokaliteite verskuif word. Hierdie verlies het probleme in die landbousektor tot gevolg, soos onder andere die toeslik van damme, die verlies aan belangrike landbougrond, die afsetting van onnodige en soms ongewenste grondtipes in ander gebiede, die afvoer van sedimente in strome wat afloop vertraag en die ontwikkeling van woestynagtige landskappe (Suid-Afrika, 1984b:1,2,30; Anon., 1990:1; Hedlund, 1976:264; Hartman *et al.*, 1976:290).

In hierdie hoofstuk word die problematiek rondom bodemdegradasie beskryf deur, onder andere, na die faktore wat bodemdegradasie beïnvloed te verwys, die proses van bodemdegradasie te bespreek en moontlikhede vir die rehabilitasie en bestuur daarvan te ondersoek. Aandag word ook geskenk aan die vraagstuk rondom die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal met spesifieke verwysing na bodemdegradasie in Lebowa.

#### 2.2 DIE WESE VAN BODEMDEGRADASIE

Bodemdegradasie word deur Clark (1985:159) beskryf as: "*...the process of lowering a surface by erosion and the removal of rock waste, it is the general lowering of the surface of the land by erosive processes*".

Bodemdegradasie is egter nie 'n proses wat slegs negatiewe resultate tot gevolg het nie. In

natuurlike<sup>7</sup> vorm is bodemdegradasie 'n proses in die siklus van landskapvorming<sup>8</sup>. Die siklus van progressiewe ontwikkeling van die landskap behels 'n deurlopende proses van veroudering en verjonging van die landskap. Die proses van veroudering gaan gepaard met die verlaging van die oppervlak deur bodemdegradasie teenoor die proses van verjonging wat gepaard gaan met die vorming van nuwe landskap deur, onder andere, prosesse soos deponering van gedegradeerde materiaal, vulkanisme of plooiing. Die verouderingsproses (bodemdegradasie) verlaag sekere dele van die aardoppervlakte. Die materiaal wat deur degradasie losgemaak en weggevoer word vanaf die oorspronklike ligging word weer op 'n ander ligging gedeponeer (opbouing). Hierdie proses handhaaf 'n toestand van ewewig op aarde (Zachar, 1982:18).

Indien bodemdegradasie deur mensgemaakte invloede vinniger as die natuurlike tempo plaasvind, behoort bestuursmaatreëls ingestel te word ten einde die tempo van bodemdegradasie te laat afneem tot dié van die natuurlike proses (Morgan, 1979:1).

### 2.3 FAKTORE WAT BODEMDEGRADASIE BEÏNVLOED

Morgan (1986:1) en Young *et al.* (1990:41) beskryf reënval, afloop, wind, grond, helling en plantegroeibedekking as die agente van bodemdegradasie. Die afwesigheid van bewaringsmaatreëls is ook 'n oorsaak vir bodemdegradasie. Zachar (1982:27) beskryf ook sneeu, detritus, plante, diere en die mens as bodemdegradasie-agente.

Hierdie degradasie-agente word gereguleer deur energie, weerstand en die aanwesigheid van bewaringsmaatreëls. Energie voorsien die potensiële krag van die degradasie-agent, weerstand behels die degradeerbaarheid van die bodem en bewaringsmaatreëls verwys in hierdie verband spesifiek na die bedekking van die bodem ter voorkoming van degradasie (Zachar, 1982:16,22).

---

<sup>7</sup> Die woord *natuurlik* verwys na die proses van bodemdegradasie sonder inmenging deur die mens.

<sup>8</sup> W M Davis formuleer die sikliese teorie van landskapvorming in 1909. Later word die teorie gekritiseer uit verskeie kringe, veral deur die teorie van W Penck en L C King. Die basiese begrip bly egter steeds dieselfde, naamlik dat die aarde 'n sikliese proses van afbreek en opbou volg ten einde in ewewig te kan voortbestaan (Thornes & Brunson, 1977: 19-26).

Die volgende faktore, wat die voorkoms van bodemdegradasie beïnvloed, kan uit bogenoemde bodemdegradasie-agente en regulators afgelei word:

### **2.3.1 Krag van die degradasie-agent**

Die krag van die degradasie-agent word bepaal deur die intensiteit en die hoeveelheid van neerslag en afloop, asook deur die spoed van die wind (Kinnell, 1990:54). Die krag van gletserwerking word bepaal deur die krag waarmee die gletser beweeg. Mens en dier verskaf die krag vir bodemdegradasie deur bewegingsaktiwiteite op groot skaal en deur die intensiteit van die aktiwiteite. 'n Skaarste aan plantegroei bedekking van die bodem verskaf ook meer krag aan bodemdegradasie-agente.

### **2.3.2 Degradateerbaarheid van die bodem**

Die degradeerbaarheid van die bodem word gedefinieer as die weerstand van die bodem teen losbreking en vervoer deur die bodemdegradasie-agente. Hierdie degradeerbaarheid hang af van die grondtekstuur, die totale stabiliteit van die grondoppervlak, die skuifvastheid, infiltrasiekapasiteit en die organiese en chemiese samestelling van die grond (Morgan, 1986:56).

### **2.3.3 Helling**

Degradasie neem gewoonlik toe met 'n toename in die steilte van hellings en dus 'n versterkte invloed van swaartekrag. Die lengte van die helling is ook van belang, aangesien dit stroomsnelheid en die volume van oppervlakte-afloop bepaal (Cook, 1962:89).

### **2.3.4 Rol van plantegroei**

Die onderskepping van reëndruppels deur plantegroei veroorsaak dat die kinetiese energie of impak van die reëndruppel verplaas word na die plante, eerder as om impak op die grond uit te oefen (Morgan, 1986:58). Die vermeerdering van infiltrasie deur die makroporieë, wat die gevolg van plante se wortels in die grond is, dra ook by tot die vermindering in die volume van

afloop. Die ruheid van die oppervlak, wat deur plantegroei-bedekking veroorsaak word, het ook 'n vermindering in die snelheid van die afloop tot gevolg (Morgan, 1986:59-60). Wanneer die volume of snelheid van afloop verminder neem die tempo van potensiële bodemdegradasie ook af.

## **2.4 BODEMDEGRADASIEPROSES**

Bodemdegradasie vind in twee fases plaas. Die eerste fase behels die losbreek van individuele partikels vanaf die bodem deur die krag van reëndruppels, deur meganiese en biotiese verwerking, en deur die vertrapping van die oppervlakte deur die mens en dier. Die tweede fase behels die vervoer van die losgebreekte materiaal deur water en/of wind (Morgan, 1986:12).

Volgens Morgan (1986:31) is daar hoofsaaklik drie tipes degradasie naamlik: oppervlak degradasie, stroom-degradasie en donga-degradasie. Zachar (1982:48) ontleed egter verskeie ander outeurs se beskrywing van die stadia van degradasie en vorm daaruit 'n meer volledige omskrywing van degradasie. Dit word beskryf onder die volgende vier tipes naamlik: plaat-degradasie, donga-degradasie, rots-degradasie en veelvoudige-degradasie. Dit omsluit dus die fases wat deur Morgan beskryf word, maar is meer volledig en gedetailleerd.

Die vier tipes degradasie (soos dit deur Zachar aangetoon word), word vervolgens beskryf:

### **2.4.1 Plaat-degradasie**

Plaat-degradasie kom voor wanneer die oppervlak relatief uniform oor 'n groot gebied degradeer. Hierdie toestand word veroorsaak deur die blootlegging van die bodemoppervlak deur die verwydering van alle plantmateriaal. Volgens Zachar (1982:48) kan 'n aanhoudende proses van plaatdegradasie lei tot die uiteindelijke blootstelling van die moederrots.

#### 2.4.2 Donga-degradasie

Donga-degradasie vind plaas wanneer groot hoeveelhede water versamel en oor 'n helling begin afloop (Barnes, 1973:94). Volgens Zachar (1982:54) gaan hierdie proses gewoonlik eers gepaard met die vorming van afloopgroefies ("rills"). Wanneer die stroom egter sterk genoeg is sodat die groefies vergroot, veroorsaak dit die vorming van dongas.

#### 2.4.3 Rots-degradasie

Rots-degradasie vind plaas wanneer degradasie in rotsagtige gebiede voorkom en dit veroorsaak die vorming van die sogenaamde "badlands" of dongaveld. "Badlands" word deur Moore (1981:21) gedefinieer as 'n *"elevated arid region which is seamed and lined with deep gullies by occasional heavy rain"*

#### 2.4.4 Veelvoudige degradasie

Wanneer degradasie in verskillende vorms en deur verskeie agente gevorm word, vind veelvoudige of multi-degradasie plaas. Die verskeie vorms van degradasie, naamlik plaat-, donga- en rots-degradasie kan dus in een ligging voorkom (Zachar, 1982:48-90).

Zachar beskryf vyf klasse van intensiteit van bodemdegradasie (1982:105). Hierdie klasse toon die verskillende grade of intensiteit van bodemdegradasie. Die graad van degradasie hang af van die hoeveelheid materiaal wat losgemaak word en die krag van die agent om die losgemaakte dele te kan wegvoer.

Bodemdegradasie kan vir die mens nadelige gevolge inhou indien dit nie effektief beheer word nie, aangesien die bodem die hulpbron is waaruit die mens homself deur landbou onderhou (Cutter *et al.*, 1991:141). Die rehabilitasie en bestuur van die bodem is dus 'n baie belangrike aspek van hulpbronbewaring.

Tabel 2.1 beskryf hoe die bodemoppervlak sal vertoon volgens die verskillende grade van degradasie.

KLAS	GRAAD VAN BODEM-DEGRADASIE	BESKRYWING VAN OPPERVLAKTE
1	Gering	Plantegroei begin min word, grond is uitgewas, deel van A-horison <sup>9</sup> is verwyder (tot 50%)
2	Matig	Meer as 50% van die A-horison is verwyder, die oppervlakte met verwyderde grond is dominant, tot 50% van die oppervlakte is ontbloom
3	Ernstig	Tot 75% van die grondoppervlakte is ontbloom met min plantegroiebedekking, A-horison heeltemal verwyder
4	Baie ernstig	Tot 75% van die grondoppervlakte is ontbloom, totale A & B horisonne verwyder
5	Totaal gedegradeer	Ontbloting van grondoppervlakte is meer as 75%, meeste los grond is verwyder, moederrots word sigbaar

Tabel 2.1 Verskillende grade van degradasie (Zachar, 1982:105)

## 2.5 REHABILITASIE EN BESTUUR

Bodemdegradasie is 'n natuurlike proses. Die doel van bodembestuur is om die vlak van ekonomiese aktiwiteit van 'n gegewe gebied optimaal te handhaaf en terselfdertyd toe te sien dat

<sup>9</sup> Die profiel van grond in vertikale deursnit word beskryf deur horisonne. Die eerste twee lae van bo af word horisonne A en B onderskeidelik genoem. Die A-horison is 'n donker gekleurde laag met organiese inhoud, ongeveer 30 cm in dikte. Die B-horison is 'n illuviale konsentrasie van silika klei, alluminium of humus (Von Harmse *et al.*, 1984:106,107).

die proses van bodemdegradasie wat natuurlik sal plaasvind in verhouding bly met die tempo van grondvorming<sup>10</sup> (Morgan, 1986:162).

Rehabilitasie of bestuur behoort verder ook nie slegs om kosmetiese redes op 'n omgewing toegepas te word nie. Volgens Chittenden (1973:94-98) behoort degradasiebestuur van die begin af deel van enige omgewingsbeplanning te wees, ten einde die omgewing effektief te bestuur.

Wetgewing in Suid-Afrika maak voorsiening vir die beskerming en bewaring van die bodem. Hierdie wetgewing behoort, wanneer dit na behore toegepas word, alreeds 'n belangrike bydrae te lewer tot die beskerming en rehabilitasie van die bodem. Volgens Rabie (1990:2) bestaan die wette egter grootliks uit magtigende bepalings, wat beteken dat sy potensiële doeltreffendheid feitlik geheel en al afhang van implimentering deur die betrokke owerheidsorgane. Vervolgens word die wette wat hierop aanspraak maak kortliks bespreek:

- \* Die wet op die beskerming/bewaring van Landbouhulpbronne, (43/1991b);
  - artikel 3 handel oor onder andere die bestryding en voorkoming van bodemdegradasie,
  - artikel 6 vervat beheermaatreëls oor grond,
  - artikel 8: die Staat sal subsidies verskaf vir onder andere die bewaring, herstel en herwinning van gedegradeerde bodem,
  - artikel 10: die Departement van Landbou behou die reg van toegang om enige grond te betree vir advies aan die eienaar ten opsigte van bodembestuur,
  - artikel 12: die grondgebruiker moet grondbewaringswerke instandhou,
  - artikel 14: die minister mag enige grond onteien vir die doel van die herstel/bewaring van die grond,

---

<sup>10</sup> Grond word baie stadig en as gevolg van 'n kombinasie van verweringsprosesse gevorm (Cook, 1962:89). Volgens Suid-Afrika (1984b:24) neem dit sowat 12 tot 40 jaar om een millimeter bogrond te vorm.

- artikel 18: die Departement van Landbou mag te eniger tyd grond betree om vas te stel of en in watter mate beskadiging van die bodem voorkom.
  
- \* Die wet op Bergopvanggebiede, (63/1970);
  - artikel 3: die minister mag enige voorskrif bepaal ten opsigte van die bewaring, die aanwending, bestuur en beheer van grond en die voorkoming van bodemdegradasie.
  
- \* Die Boswet, (122/1984a);
  - artikel 13: onder andere die beskerming van 'n spesifieke groep bome vir voorkoming van bodemdegradasie,
  - artikel 15: natuurreservate word onder andere gerig op die voorkoming en bestryding van bodemdegradasie,
  - artikel 39: indien bodemdegradasie voorkom op voetslaanpaaie, moet die degradasie herstel word.
  
- \* Die Landbankwet, (13/1944);
  - artikel 22: voorskotte word onder andere gegee vir die verbetering en bewaring van grond.
  
- \* Die Mineraalwet, (50/1991b);
  - artikel 38: die houer van 'n prospekterpermit is verantwoordelik vir die rehabilitasie van die oppervlakte van grond by prospektering en mynbou,
  - artikel 39: prospekterders en die mynbou moet 'n uitlegplan en rehabilitasieplan van die betrokke gebied voorlê.
  
- \* Die Wet op Nasionale paaie, (54/1971);
  - artikel 5: bodemdegradasie kan voorkom word deur plantegroei by paaie en gedurende die bou van paaie te beskerm.

\* Die Waterwet, (54/1956);

- artikel 5: 'n grondeienaar mag water vanaf sy eiendom verwyder vir grondbewaringsdoeleindes,
- artikel 20: niemand mag die natuurlike loop van 'n openbare stroom verander nie behalwe in geval van 'n goedgekeurde grondbewaringsprojek,

Die voorkoming en rehabilitasie van bodemdegradasie moet verder, in samehang met die wetgewing, ook deur korrekte bodembestuur bewerkstellig word. Die doel van bodembestuur is om die struktuur van grond te verbeter sodat dit meer effektiewe weerstand teen degradasie kan bied. Volgens Morgan (1979:61) kan die struktuur van die grond verbeter word deur die toediening van organiese materiaal in die bodem. Dit het onder andere tot gevolg dat kohesie tussen die grondpartikels versterk word. Hierdie metode is egter nie al wat aangewend word in die voorkoming en rehabilitasie van bodemdegradasie nie. Agronomiese metodes, progressiewe bewerkingsmetodes en meganiese metodes kan ook aangewend word in die bestuur van die bodem. 'n Uitgebreide ondersoek na die rehabilitasie van gedegradeerde bodem word egter nie in hierdie studie gedoen nie, aangesien hierdie studie op die lokalisering van bodemdegradasie konsentreer. Elkeen van hierdie metodes sal vervolgens dus kortliks bespreek word.

### 2.5.1 Agronomiese of biologiese metodes

Volgens hierdie metodes word plantegroei gebruik om degradasie te beperk. Dit behels die aanplanting van spesifieke gewasse om degradasie teë te werk. Hierdie plantegroei bied weerstand teen vloedwater. Dit behoort verder inheems en meerjarig wees en moet in uifers droë omstandighede kan voortbestaan.

Greyvenstein en de Villiers (1975b: 1-8) ondersoek die gebruik van spaansriet (Arundo donax - nie inheems) en fluitjiesriet (Phragmites australis - inheems) (Greyvenstein & de Villiers, 1975a: 1-7) as herwinningsgewasse. Hierdie gewasse beantwoord aan al die vereistes wat vir

rehabilitasie gestel is. Dit groei en versprei maklik, vertraag water se spoed en bevorder sedimentdeponering. Dit groei ook weer maklik uit selfs al word dit toegespoel. Hierdie gewasse is slegs voorbeelde van plantegroeitipes wat gebruik kan word in die voorkoming en rehabilitasie van bodembegradasie. 'n Verdere en uitgebreide ondersoek na herwinningsgewasse is nie vir die doeleindes van hierdie studie gedoen nie, aangesien hierdie studie nie rehabilitasie en bewaring as sulks aanspreek nie, maar slegs die lokalisering van gebiede wat rehabilitasie en bewaring benodig.

### **2.5.2 Progressiewe bewerkingsmetodes**

Bodembestuur sluit ook die moontlikhede van progressiewe bewerkingsmetodes in (Viljoen & Smalberger, 1974:12). Progressiewe bewerkingsmetodes behels die beplanning vir die herwinning van kaal kolle en yl bedekte veld. Hierdie toestand van die veld word veroorsaak deur, onder andere, gebrekkige weidingsbestuur, bodemdegradasie deur water en wind, en grondkundige probleme soos hoë brakinhoud en struktuurgebreke.

Dit is noodsaaklik dat verhoogde waterindringing bewerkstellig word sodat hervestiging van plantegroei kan plaasvind. Verhoogde waterindringing kan plaasvind wanneer die probleemgebiede in stroke verdeel en afwisselend bewerk word. Die doel met hierdie metode is om te verseker dat afloopwater vanaf die harde ongeploegde grond teen die geploegde stroke opgaar en die geploegde stroke infiltreer. Hierdie verhoogde vogtoestand bied 'n beter moontlikheid vir die hervestiging van plantegroei op die bewerkte stroke.

'n Progressiewe metode van bewerking blyk die oplossing te wees in veral lae reënvalgebiede, aangesien die herhaaldelike bewerking waterindringing oor 'n langer tydperk verseker en 'n verbeterde potensiële saadbed skep (wat dien as plantegroei-beskerming vir die bodem).

### 2.5.3 Meganiese en fisiese metodes

Hierdie metodes behels die manipulasie van die topografie deur, onder andere, die vorming van terrasse of kontoere om die vloei van water en lug te reguleer (Huber, 1973:123-128). Versnelde degradasie vind gevolglik nie plaas nie.

Die bekamping van donga-degradasie met behulp van paalkruise is deur Greyvenstein en de Villiers (1978:1-4) ondersoek. Die paalkruise vertraag die snelheid van die vloedwater en bemoeilik die uitkalwing van die walle, terwyl 'n sedimentlaag tussen die dongawal en die paalkruise neergelê word. In hierdie sedimentuitsaksel kan 'n dekgewas soos riet suksesvol gevestig word ten einde die herwinning van grond in die donga te verhaas en die gedegradeerde gebied te stabiliseer.

Alvorens versnelde en ongewenste bodemdegradasie suksesvol gerehabiliteer kan word, moet daar eers 'n skatting van die omvang van die probleem gedoen word. Volgens Morgan (1986:63) moet die beraming van die effek, of uiteinde, van degradasie beskou word as 'n gespesialiseerde evaluasie-proses met die doel om dié gebiede, waar die maksimum produktiwiteit van 'n grondgebruik deur groot hoeveelhede bodemverlies bedreig word, te identifiseer.

Voordat met rehabilitasie en bestuur begin kan word, behoort daar aan die volgende belangrike aspekte oorweging geskenk te word (die laaste vier van die ondergenoemde aspekte beklemtoon die belang van 'n inventaris van bodemdegradasie voordat rehabilitasie en/of bestuur 'n aanvang kan neem):

- \* Die mees gepaste grondgebruik vir die gebied moet bepaal word.
- \* Die rehabilitasie- of bestuursmetode moet aanpas by die tipe degradasieprobleem. Terrasse kan byvoorbeeld as metode aangewend word op gebiede waar steil hellings tot die degradasie aanleiding gegee het.

- \* Die invloed van die voorgestelde grondgebruik- en geassosieerde bewarings-/rehabilitasie strategie op die omgewing en op gewasproduksie moet eers bepaal word.
- \* 'n Ekonomiese evaluasie van die koste van die bewarings/rehabilitasieplan in verhouding met die grondgebruik/opbrengs en produksie moet gedoen word.
- \* Die skaal van rehabilitasie of bestuursmetodes moet vasgestel word (Morgan, 1986:164-166).

## 2.6 SKAAL VAN BODEMDEGRADASIE

Die skaal waarop die lokalisering van bodemdegradasie plaasvind, word bepaal deur die doel van die ondersoek en die oppervlakte wat deur die studiegebied beslaan word. Die doel van die ondersoek kan byvoorbeeld die opstel van 'n growwe inventaris van die fenomeen wees (soos in hierdie studie) wat dan 'n "growwe" skaal van lokalisering vereis soos, byvoorbeeld, 'n streekskaal. Wanneer die oppervlakte van die studiegebied 'n klein gedeelte soos byvoorbeeld 'n plaas dek, word die inventaris op plaaslike skaal opgestel.

Die ruimtelike omvang van degradasie bepaal die skaal van rehabilitasie. Volgens Viljoen en Smalberger (1974:1-12) kan die rehabilitasie van bodemdegradasie binne die volgende drie riglyne plaasvind:

- \* Afloopbeheerbeplanning (ABB) wat op 'n enkele plaas (plaaslike skaal) of binne waterskeidings (streekskaal of nasionale skaal) plaasvind;
- \* Rivieropvanggebiedbeplanning (ROB) wat die stabilisasie of hervestiging van die rivier, waterloop en die opvanggebied behels (plaaslike skaal tot nasionale skaal); en
- \* Grondgebruikbeplanning (GB) wat die beplanning op streekskaal en nasionale skaal behels en die topografie, tipes grond, plantegroei en landbouhulpbronne insluit (streekskaal tot nasionale skaal).

Bestuurs- en rehabilitasiebeplanning vir omgewingsbewaring vind op drie skale plaas, naamlik nasionale-, streeks- en plaaslike skaal (Therivel *et al.*, 1992:27). Die identifikasie en rehabilitasie/bestuur van degradasie word dus binne die konteks van hierdie drie riglyne gedoen.

### 2.6.1 Bodemdegradasie op streekskaal

Omgewingsbestuursbeplanning word bevorder deur streekskaaldata. Sinvolle omgewingsbestuursbeplanning behoort eers op nasionale skaal plaas te vind (deur middel van wetgewing en nasionale riglyne), dan op streekskaal (deur middel van onder andere streekstruktuurplanne en gidsplanne) en daarna op plaaslike (owerheids) skaal, gevolg deur omgewingsbestuursbeplanning van 'n spesifieke lokaliteit ("plaas"-skaal). In hierdie geval kan sinvolle bodemdegradasiebestuur en rehabilitasiebeplanning plaasvind deur die identifisering van prioriteitsareas vir rehabilitasie vanuit die streekskaal.

Omgewingsbestuursbeplanning is in die verlede slegs op plaaslike skaal gedoen, sonder om probleme binne 'n streekskonteks te lokaliseer en te kwantifiseer (Burger, 1990:185). Indien 'n inventaris van bodemdegradasie slegs op 'n plaaslike skaal geneem word, kan belangrike gebiede vir rehabilitasie wat net buite die grens van die studieterrein is (soos gedurende plaaslike skaal studies), weggelaat word. Die invloed van die rehabilitasie op plaaslike skaal, kan ook nie altyd binne 'n streekverband bepaal word nie. Indien daar egter 'n streekskaal-inventaris van die groter gebied gemaak word, kan sinvolle beplanning en rehabilitasie op plaaslike vlak geskied deur middel van die vasstelling van prioriteitsliggings in die streekskaalstudie. 'n Streekskaal-inventaris gee dus 'n geheelbeeld van die hele streek.

Indien hierdie studie as voorbeeld gebruik word kan bogenoemde stelling soos volg verduidelik word:

Grade en klasse van bodemdegradasie soos in Tabel 2.1 (p. 20) word op streekskaal aan die besluitnemers verskaf. Die plaaslike skaal beplanning kan dan gedoen word na aanleiding van

die verskillende grade van degradasie in spesifieke opvanggebiede, waterskeidings en plaasgrense.

Die monitering van bodemdegradasie word deur Raina *et al.* (1991:47-52) bespreek in 'n studie oor die kartering van degradasie in Indië met behulp van SAT. Indië is 'n semi-ariëde tot ariëde omgewing met reënval wat slegs gedurende die moesonseisoen voorkom. Indië is 'n land met 'n hoë bevolkingsdigtheid waar die bodem as hulpbron toenemend uitgeput word, onder andere as gevolg van oorbeweiding, die afkap van bome en die onbeplande bewerking van die oppervlak vir landerye. Die streek stem dus in hierdie opsig tot 'n mate ooreen met die studiegebied van Lebowa. Die proses van bodemdegradasie in Indië is lokaliteitgebonde en wissel volgens tipe, intensiteit en omvang. Degradasie is op plaaslike skaal geïdentifiseer en gekarteer ten einde data te verskaf vir die beplanning van rehabilitasie. Raina *et al.* (1991:47-52) bevind egter dat lokalisering en kartering op streekskaal heelwat meer waardevol sou wees in die beplanning van rehabilitasie en bewaring van die bodem as hulpbron.

Price (1993:233) beklemtoon ook dieselfde beginsel in 'n studie oor die voorkoms van bodemverlies in woude. Die doel van hierdie studie was om 'n streekskaalmodel daar te stel om met behulp van satellietdata die bodemdegradasie binne 'n spesifieke woudstreek te moniteer en te bestuur.

Volgens Pickup en Chewings (1986:57-62) is konvensionele bodemdegradasiënavorsing slegs gerig op die berekening van bodemverlies op 'n plaaslike skaal. In voorgenoemde studie van Pickup en Chewings was die saamstel van 'n model vir die voorspelling van bodemdegradasie op 'n skaal van dieselfde omvang as dié waarop bestuursbeplanning gedoen word (streekskaal tot nasionale skaal), ondersoek. Die skaal van bestuursbeplanning wissel vanaf streekskaal tot nasionale skaal. Die lokalisering van die bodemdegradasie word met behulp van SAT uitgevoer.

Die opdrag van SAOTK<sup>11</sup> wat aanleiding gegee het tot hierdie studie in Lebowa, was om

---

<sup>11</sup> Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie. Kyk ook paragraaf 1.6.

genoegsame inligting oor bodemdegradasie in te samel ten einde beplanningsprioriteite vir waterkontrole in die verskillende streke van die gebied te bepaal.

## **2.6.2 Bodemdegradasie in Lebowa**

Dit is noodsaaklik om 'n agtergrond oor die studiegebied te verskaf ter verduideliking van die voorkoms van bodemdegradasie in Lebowa. Dit sluit in die geografiese ligging, die terrein en dreinerings, die klimaat en plantegroei en die ekonomiese bedrywighede van die mense in die gebied.

### **2.6.2.1 Studiegebied**

#### **2.6.2.1.1 Geografiese lokalisering/ oriëntering**

Figuur 1.2 (p. 13) toon die grense van die eertydse Lebowa waarbinne die studie gedoen is.

#### **2.6.2.1.2 Terreinmorfologie en dreinerings**

Die studiegebied word in 14 fisiografiese streke verdeel (Figuur 2.1, p. 31 toon slegs agt van die streke aan, aangesien die oorblywende ses streke nog nie op kaarte aangetoon word nie) naamlik: die Laeveld, die Eskarpement, die Sentrale Kwartsiet Kompleks, die Sentrale Gabbro Kompleks, die Middelveld, die Zebedielavlake, die Nebo Plato Kompleks, die Pietersburg Plato Kompleks, die Pietersburg Plato, die Sentrale Granietvlakte, die Bosveld Band, die Gemengde Inselbergstreek, die Waterberg-Bloubergstreek en die Noord-Transvaalse Laeveld (Grové & Meintjies, 1986:xi).

Ongeveer 25 % van die gebied het 'n hoogte van meer as 1 200 m bo seevlak. Ongeveer 31% van die gebied het 'n helling van meer as 12 % wat tot gevolg het dat hierdie gebied moeilik en duur is om te bewerk (Grové & Meintjies, 1986:16). Die steil hellings kan ook tot erger bodemdegradasie aanleiding gee. Die bewaring van die bodem in hierdie gebied is dus belangrik.

Die belangrikste riviere wat die gebied dreineer is die Groot Letabarivier, die Olifantsrivier, die Steelpoortrivier, die Mogalakwenarivier, die Selatirivier, die Sandrivier, die Houtrivier en die Klein-Letabarivier en word in Figuur 2.2 aangetoon.

#### 2.6.2.1.3 Klimaat

Uit Tabel 2.2 kan afgelei word dat die studiegebied gekarakteriseer word deur 'n warm tot baie warm en droë klimaat met vogtige periodes gedurende die somer. Die winters is koel tot koud en droog. In die somer wissel die gemiddelde daaglikse temperatuur vanaf 23°C in die ooste (Bolobedu en Namakgale - kyk Figuur 4.5, p.70) tot 25°C in die weste (Mokerong - kyk Figuur 4.5, p. 70) en in die winter van 13°C in die ooste tot 11°C in die weste. Jaarlikse reënvalgemiddeldes wissel tussen 255 mm in die noordwestelike dele by Bochum en 590 mm in die suid-oostelike distrik van Mapulaneng (Grové & Meintjies, 1988:xii). Die relatief hoë temperatuur tesame met die relatief lae gemiddelde jaarlikse reënvalsifers toon dat die grootste deel van die gebied 'n semi-ariëde klimaat het. In 'n semi-ariëde klimaat behoort die omgewing behoorlik bestuur te word ten einde 'n behoudende sosio-, ekonomiese- en natuurlike omgewing te verseker.

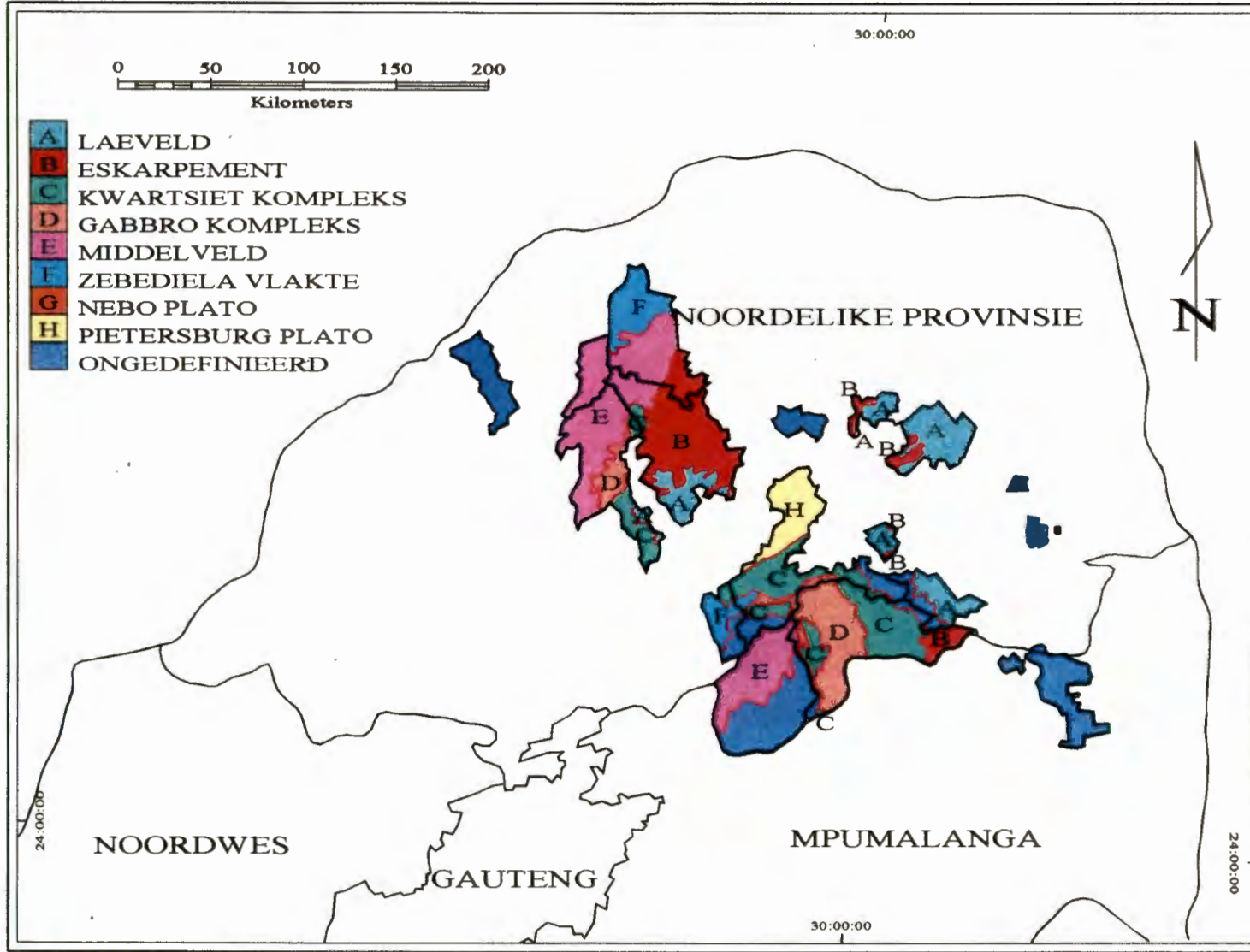
#### 2.6.2.1.4 Plantegroei

Die volgende twaalf plantegroeitipes kom in die gebied voor: noord-oostelike suurveld, laeveldse suur-bosveld, laeveld, droë laeveld, turf doringveld van die Springbokvlaktes, droë soet bosveld, mopanieveld, gemengde bosveld, suur gemengde bosveld, suur bosveld, noord-oostelike sanderige hoëveld en die Pietersburg plato grasvelde (Grové & Meintjies, 1986:18). Dit is belangrik om die tipes plantegroei wat in die verskillende dele van Lebowa voorkom in ag te neem, vir die rehabilitasie van degradasie in die gebied (kyk ook paragraaf 2.5.1, p. 23).

#### 2.6.2.1.5 Ekonomiese bedrywighede

##### \* Plattelandse gebiede

Sowat 94 % van die bevolking woon in die plattelandse gebiede. Volgens Grové en Meintjies (1986:26) voer die oorgrote meerderheid van die bevolking 'n bestaansekonomiese leefwyse in



Figuur 2.1 Fisiografiese streke van Lebowa  
(Bron: Grové & Meintjies, 1986: Bylae 1)



FISIOGRAFIESE STREEK	REËNVAL (mm)			TEMPERATUUR (°C) (gem. daaglikse min/maks)	
	Somer	Winter	Jaarlikse Gemiddeld	Somer min/maks	Winter min/maks
	min / maks	min / maks			
LAEVELD	470 / 760	80 / 140	363	17 / 32	6 / 25
ESKARPEMENT	510 / 1360	90 / 240	550	14 / 27	3 / 22
KWARTSIET KOMPLEKS	380 / 640	70 / 90	295	16 / 31	3 / 18
GABBRO KOMPLEKS	380 / 720	70 / 130	325	14 / 31	3 / 23
MIDDELVELD	420 / 510	70 / 90	273	16 / 31	3 / 23
ZEBEDIELA VLAKTE	420 / 510	80 / 90	275	18 / 31	3 / 23
NEBO PLATO	490 / 590	70 / 110	315	13 / 28	3 / 20
PIETERSBURG PLATOKOMPLEKS	340 / 600	70 / 100	278	14 / 27	2 / 20
PIETERSBURG PLATO	400 / 580	50 / 70	275	16 / 29	2 / 21
GRANIET VLAKTE	840 / 1430	40 / 50	590	17 / 30	3 / 22
BOSVELD BAND	380 / 560	40 / 60	260	16 / 30	2 / 22
INSELBERG-STREEK	400 / 490	50 / 60	250	17 / 30	3 / 22
WATERBERG-BLOUBERG	340 / 580	30 / 70	255	15 / 31	2 / 23
N.TVL LAEVELD	340 / 580	30 / 70	255	15 / 31	2 / 23

Tabel 2.2 Gemiddelde reënval en temperatuur vir Lebowa per fisiografiese streek (soos verwerk uit Grové & Meintjies, 1986:17).

tradisionele nedersettings en ander formele dorpe, asook in informele behuising rondom bestaande dorpe.

Die ekonomiese gebruik van die beskikbare grondoppervlakte rondom die tradisionele nedersettings is van kommunale aard. Daar kom geen verdeling van die landbougrond in kampe

vir beweiding of bewerking voor nie. Water word meestal verkry uit waterputte.

Rondom die formele dorpe, wat geadminestreer word deur die stamhoofde in samewerking met die eerstydse Departement van Landbou en Omgewingsbewing van Lebowa, word daar wel voorsiening gemaak vir kampe vir die verdeling van landbougrond vir beweiding en bewerking. Handwaterpompe vanuit waterputte word vir hierdie dorpe voorsien (Grové & Meintjies, 1986:27).

In die plattelandse omgewing word daar gewoonlik nie van beplande boerderymetodes gebruik gemaak nie, behalwe in 'n paar gevalle waar boere deur bestuur en finansiële hulp van buite ondersteun word. Die grotendeels onbeplande boerderymetodes van hierdie semi-ariëde gebied veroorsaak oorbeweiding van die gebied en die ongekontroleerde bewerking van te veel droë grondoppervlakte vir landerye. Dit gee aanleiding tot die verwydering van belangrike bodembedekkingsmateriaal, wat uiteindelik tot bodemdegradasie lei.

#### \* Stedelike gebiede

In September 1985 was daar veertien geproklameerde stede in Lebowa. Hierdie stede is goed ontwikkel en van al die nodige dienste en infrastruktuur voorsien (Grové & Meintjies, 1986:xiii, 26). Die meeste van die inwoners volg egter steeds tradisionele ekonomiese gebruike en hou dus steeds skape, bokke en beeste in die stedelike gebiede aan. Hierdie gebruike, tesame met 'n basiese bestaansekonomie wat ook in stede beoefen word, gee aanleiding daartoe dat die bodem in en rondom die stedelike gebiede ook duidelike kenmerke van bodemdegradasie toon.

#### 2.6.2.2 Gevolgtrekking

Lebowa kan beskou word as 'n semi-ariëde klimaatsgebied met 'n groter plattelandse bevolking as stedelike bevolking, waarvan die grootste getal inwoners steeds 'n bestaansekonomie volg. Die fisiese eienskappe van dié omgewing en die lewenswyses van die inwoners toon 'n verband met die voorkoms van bodemdegradasie in die gebied. Die fisiese eienskappe van die omgewing en die lewenswyse van die inwoners word gevolglik bespreek.

Langbein en Schumm (1958:1076-1084) wys daarop dat daar 'n verband bestaan tussen bodemdegradasie en klimaat. Degradasie kom maksimaal voor in gebiede met 'n gemiddelde jaarlikse reënval van ongeveer 300 mm. In gebiede met gemiddelde jaarlikse reënvalsyfers laer as 300 mm, vind bodemdegradasie maklik plaas met genoegsame effektiewe reënval (effektiewe reënval verwys na die hoeveelheid reënval wat benodig word om afloop te laat plaasvind). Indien daar egter 'n toename in reënval (meer as 300 mm gemiddeld) voorkom, sal die plantegroei met die toename in reënval vermeerder sodat die bodemoppervlak eindelijk beter bedek en beskerm word. Gemiddelde reënvalsyfers van meer as 300 mm het tot gevolg dat die beskerming van plantegroei die degradasiekrag van die afloop teëwerk en die bodemdegradasie sal begin afneem. Semi-ariëde gebiede, met gemiddelde reënvalsyfers van ongeveer 300 mm, het dus die hoogste degradasiesyfers (Morgan, 1986:4).

Uit Tabel 2.2 kan daar afgelei word dat die gemiddelde jaarlikse reënvalsyfer in die meeste gevalle nie veel hoër as 300 mm is nie. Ernstige bodemdegradasie kan dus volgens Langbein en Schumm plaasvind indien die gebied nie met die nodige sorg bestuur word nie.

Die hoë gemiddelde temperatuur veroorsaak ook warm en droë omstandighede en vereis spesifieke boerderymetodes. In Lebowa kom die boerderymetodes meestal ooreen met dié van ontwikkelende lande met 'n bestaans ekonomie.

Oorbenuiting van die bodem kom voor wanneer die biomassa van die bodem verwyder word deur die afkap van bome, oorbeweiding van die veld deur vee, die verwydering van alle ou hout vir vuurmaak, 'n hoë digtheid van voetpaaie en die vertrapping van die oppervlak deur mens en dier (Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie, 1993:19). Die beginsel van weidingsrotasie en afkamping word ook selde in landbou in ontwikkelende lande toegepas. Feitlik alle moontlike bewerkbare grond word geploeg terwyl geen oorweging aan die noodsaaklikheid van droëland bewerkingsmetodes gegee word nie. Volgens Grové en Meintjies (1986:37) kan slegs 15 % van die oppervlakte van Lebowa beskou word as potensieël

bewerkbaar. Hiervan behoort 97 % met droëland boerderymetodes bewerk te word en het slegs 3 % besproeiingsmoontlikhede.

Die hoë degradasiesyfers hou dus ook verband met die tipe ekonomie wat die inwoners van die gebied beoefen. In veral die bestaanseconomieë van ontwikkelende streke soos Lebowa word uitputting van die bodem as hulpbron ondervind.

Bogenoemde probleme het daartoe aanleiding gegee dat die Suid-Afrikaanse Ontwikkelingstrust Korporasie (SAOTK) deur die voormalige Departement van Landbou en Omgewingsake van Lebowa genader is om 'n studie oor bodemdegradasie in Lebowa van stapel te stuur. Die verkryging van bodemdegradasiedata deur konvensionele metodes sou baie duur wees en te veel tyd in beslag neem. Dit is dus binne hierdie konteks dat SAT aangewend word om bodemdegradasie te lokaliseer. Hierdie studie evalueer dan ook die effektiwiteit van SAT om die data in te samel.

## 2.7 SAMEVATTING

Versnelde bodemdegradasie kan ernstige nadelige gevolge inhou indien dit nie betyds geïdentifiseer en die gedegradeerde bodem gerehabiliteer word nie. Bodemdegradasiedata op streekskaal verskaf 'n sinoptiese beeld van die degradasie wat in 'n gebied voorkom sodat prioriteitsgebiede vir rehabilitasie en bestuur geïdentifiseer kan word. 'n Metode waarmee hierdie streekskaaldata ingesamel kan word is met behulp van satellietafstandwaarnemingstechnologie (SAT). Die teoretiese agtergrond van afstandwaarneming en die tegniek van beeldverwerking word in hoofstuk 3 bespreek.

## HOOFSTUK 3

# SATELLIETAFSTANDWAARNEMINGSTEGNOLOGIE

### 3.1 INLEIDING

Satellietafstandwaarnemingstegnologie (SAT) is in hierdie studie aangewend vir die insameling van bodemdegradasiedata op streekskaal. SAT word omskryf as die tegnologie van data-insameling met 'n satelliet as platform, die gebruik van sensors aan boord van die platform vir waarneming, die verwerking van die satellietdata deur middel van rekenaartegnologie, asook die interpretasie en evaluasie van die resulterende tematiese data. Die voordele van hierdie tegniek, naamlik versnelde data-insameling, die relatiewe bekostigbaarheid daarvan en die rekenaarmatige uitsette, maak hierdie metode 'n sinvolle keuse vir data-insameling.

Die teoretiese agtergrond van hierdie tegnologie, asook die tegniek van beeldverwerking waarmee die finale bodemdegradasiedata verkry is, sal vervolgens bespreek word.

### 3.2 AFSTANDWAARNEMING

#### 3.2.1 Definisie

Afstandwaarneming is die insameling van inligting oor 'n voorwerp sonder dat fisiese kontak met die voorwerp gemaak word (Sabins, 1978:1). Afstandwaarnemingsensors uit die alledaagse lewe is byvoorbeeld die oog of 'n kamera. In die geval van satellietegnologie is die sensors aan boord van 'n satelliet die afstandwaarnemingsensor terwyl die satelliet-vaartuig sêlf slegs die platform is vanwaar die waarneming gedoen word. Die gebruik van satellietegnologie as afstandwaarneming (vanuit die ruimte) kan gedefinieer word as: *"the science of deriving information about the earth's land and water areas from images acquired at a distance. It usually relies upon measurement of electro-magnetic energy reflected by or emitted from the features of interest"* (Campbell, 1987:2).

Daar word onderskei tussen twee vorms van afstandwaarneming naamlik passiewe en aktiewe afstandwaarneming. Passiewe afstandwaarneming vind plaas wanneer die sensor (byvoorbeeld die oog) die elektromagnetiese straling waarneem gedurende die radiasie vanaf die voorwerp of die aardoppervlakte. Die bron van energie hiervoor is die son (Clayton, 1995:200). Aktiewe afstandwaarneming vind plaas wanneer die energie kunsmatig deur die sensor (anders as die natuurlike energie van die son of aardstraling) opgewek word (byvoorbeeld deur die gebruik van radar)<sup>12</sup> en die weerkaatsende straling dan deur die sensor waargeneem word (Barrett & Curtis, 1978:13). Hierdie studie maak van passiewe afstandwaarneming gebruik.

### **3.2.2 Satellietafstandwaarneming**

Die gebruik van satellietdata (as tipe afstandwaarneming) hou groot voordele in vir die waarneming en bestuur van hulpbronne op aarde. Satellietbeelde verskaf nie net 'n sinoptiese beeld van die aardoppervlak nie, maar verskaf ook deurlopende en gedetailleerde data wat vir die monitering van 'n gebied aangewend kan word (Campbell, 1987:118).

### **3.2.3 Samestelling van 'n satellietbeeld**

Dit is belangrik om te verstaan hoe elektromagnetiese straling in die verskillende golflengtes van die spektrum bydra tot die samestelling van die satellietbeeld.

'n Satellietbeeld is die eindproduk van die aftasting van weerkaatsende straling vanaf die aarde deur die sensors op die satelliet. Hierdie straling word in verskeie golflengtes van die spektrum, byvoorbeeld rooi, blou en groen, afgetas. Die satellietbeeld verteenwoordig dus die aardoppervlak wat afgetas is in spesifieke golflengtes. Elke golflengte vertoon die aardoppervlak in 'n matriks wat bestaan uit "blokkies" of pixels (Figuur 3.1).

---

<sup>12</sup> RADAR staan vir Radio Direcion and Ranging.

Figuur 3.1 'n Skematiese voorstelling van die pixels en spektrale bande van 'n multispektrale satellietbeeld (Bron: Jensen, 1986:176)

'n Pixel verteenwoordig 'n vasgestelde gedeelte (byvoorbeeld 'n oppervlakte van 30m x 30m) van die afgetaste aardoppervlak. Die pixelwaarde verteenwoordig die spektrale waarde vir daardie spesifieke gedeelte van die aardoppervlak. Verskillende bande se pixelwaardes van dieselfde deel van die aardoppervlak word die "spektrale handtekening" genoem. Dit toon dus die unieke aard van elke deel van die aardoppervlak.

'n Enkelvoudige satellietbeeld (die pixels gemeet in net een spektrale golflengte) word verteenwoordig deur 'n enkelvlakmatriks van pixels. 'n Multispektrale satellietbeeld word afgetas in meer as een golflengte (byvoorbeeld rooi, blou en groen). Indien die bande gelyktydig (dit wil sê multispektraal) vertoon word, word die afgetaste aardoppervlak dus gelyktydig in verskillende golflengtes waargeneem.

### 3.2.4 Afstandwaarneming en resoluëie

Die resoluëie van 'n satellietbeeld omskryf die vermoë van die afstandwaarnemingsensor om 'n skerp gedefinieerde beeld weer te gee. Jensen (1986:4) beskryf dit as volg: "*Resolution is a measure of the ability of an optical system to distinguish between signals that are spatially near or very similar.*" Daar is vier tipes resoluëie ter sprake naamlik temporele, spektrale, ruimtelike en radiometriese resoluëie. Daar word vervolgens kortliks verwys na die verskillende betekenis van elk (Curran, 1986:23).

#### 3.2.4.1 Spektrale resoluëie

Spektrale resoluëie beskryf die vermoë van die sensor om stralingsintensiteit in die verskillende golflengtes in die elektromagnetiese spektrum te meet.

#### 3.2.4.2 Temporele resoluëie

Temporele resoluëie toon hoe dikwels 'n bepaalde satelliet data van 'n spesifieke gebied insamel.

#### 3.2.4.3 Ruimtelike resoluëie

Ruimtelike resoluëie beskryf die ruimtelike dimensie waarin daar afgetas word.

#### 3.2.4.4 Radiometriese resoluëie

Radiometriese resoluëie verteenwoordig die sensitiwiteit van 'n sensor om te kan onderskei tussen die verskillende vlakke van helderheid van die weerkaatste en uitgestraalde straling vanaf die aardoppervlak.

### 3.2.5 Landsat 5 Tematiese Karteerder (TK)<sup>13</sup>

In hierdie studie word daar gebruik gemaak van die data van Landsat 5 (gelanseer op 1 Maart

---

<sup>13</sup> Vir meer inligting oor die Landsat-reëks en Landsat 5 kan die volgende bronne geraadpleeg word: Barrett en Curtis (1978:126), Campbell (1987:122-149), Lillesand en Kiefer (1987:561-570) en Jensen (1986:24-36).

1984) as die vyfde satelliet in die reeks "*land satellites*", wat sedert 1971 deur die Verenigde State van Amerika gelanseer is. Die doel met Landsat is om hoë resolusie multispektrale data op 'n deurlopende basis te voorsien aan enige instansie of persoon wat dit wil gebruik om die aardoppervlak te ondersoek.

Landsat 5 is in 'n sirkelvormige, naby-polêre wentelbaan geplaas op 'n hoogte van 705 km (Figuur 3.2). Elke omwenteling neem ongeveer 99 minute om sodoende 'n totaal van ongeveer 14,4 omwentelings per dag te voltooi. Die herhalingsiklus van die satelliet is 16 dae (Lillesand & Kiefer, 1987:561-562). Daar word 233 omwentelings gedurende hierdie 16 dae voltooi. Hierdie omwentelinge word met 'n indekssisteem, deur middel van baan en ry, aangetoon. 'n Baan verteenwoordig 'n enkele omwenteling. Elke baan en ry kry 'n spesifieke nommer en word aangetoon deur die afkorting *WRS*<sup>14</sup> vooraan. 'n Landsat TK indekssisteem het 233 bane en 248 rye, met ry 60 geïndeksieer op die ewenaar. Indien die beeld van 'n spesifieke plek benodig word, word die posisie aangetoon met behulp van kruisverwysing byvoorbeeld baan 100 ry 20 (*WRS 100-20*).

Aan boord van Landsat 5 is daar drie sensorstelsels naamlik: 'n *RBV*<sup>15</sup> kamera, wat beelde verskaf wat baie na televisiebeelde lyk, 'n multispektrale lynafaster en 'n tematiese karteerder (Campbell, 1987:127).

Die tematiese karteerder (*TK*<sup>16</sup>) is 'n opties-meganiese sensor wat gereflekteerde en uitgestraalde energie in die sigbare, infrarooi, middel-infrarooi en termiese infrarooi dele van die elektromagnetiese spektrum meet (Jensen, 1986:30).

Die tematiese karteerder tas gelyktydig in sewe verskillende golflengtes of bande af. Die meeste

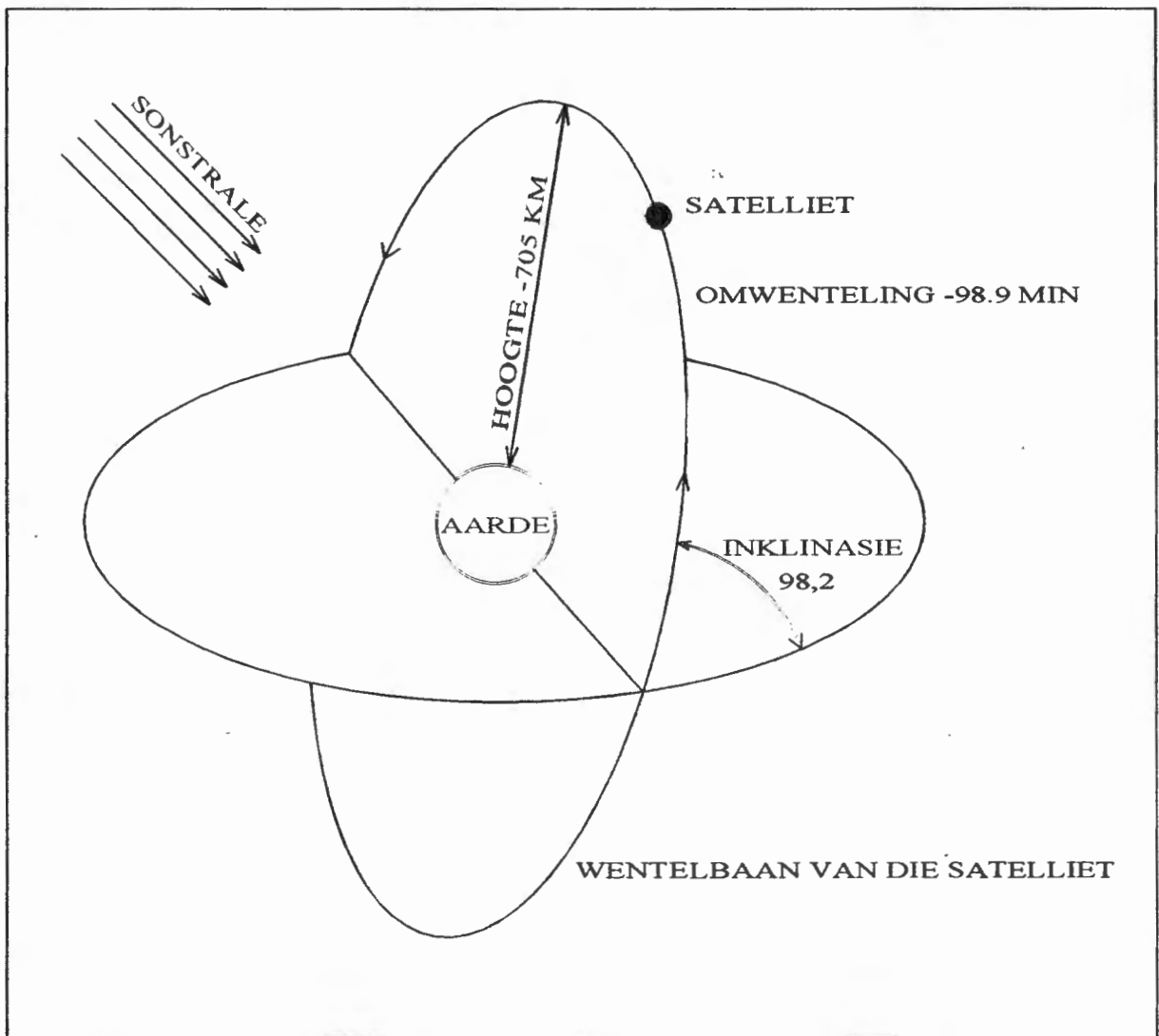
---

<sup>14</sup> *Worldwide Reference System*

<sup>15</sup> *Return Beam Vidicon*

<sup>16</sup> Engels: *TM* - "Thematic Mapper"

van die bande is gekies op grond van die algemene plantegroei kenmerke en geologiese kenmerke wat daarin vervat is (Jensen, 1986:30) (kyk Tabel 3.1, p.43).



Figuur 3.2 Wentelbaan van Landsat 5 TK  
(Bron: Campbell, 1987:122)

Die sewe bande in so 'n beeld verskaf meer detail van die oppervlak wat afgetas word. Die verskillende resolusies van Landsat TK data word vervolgens aangetoon (Curran, 1986:148-149).

### 3.2.5.1 Spektrale resolusie

Landsat TK meet in die volgende sewe spektrale bande:

BAND	SPEKTRALE	KLEUR	TOEPASSING
1	0,45-0,52 $\mu$ m	BLOU-GROEN	water, grond/ plantegroei, woudkartering
2	0,52-0,60 $\mu$ m	GROEN	veral plantegroei
3	0,63-0,69 $\mu$ m	ROOI	plantspesie onderskeiding en kulturele patrone
4	0,76-0,90 $\mu$ m	NABY-INFRAROOI	Plantegroei, water, grond
5	1,55-1,75 $\mu$ m	NABY/MIDDEL-INFRAROOI	plantegroei en grondvog
6	10,4-12,5 $\mu$ m	TERMIESE INFRAROOI	termiese kartering
7	2,08-2,35 $\mu$ m	MIDDEL-INFRAROOI	minerale en grond onderskeiding

Tabel 3.1 Spektrale resolusie waarin Landsat 5 TK meet (Campbell, 1987:138)

### 3.2.5.2 Temporele resolusie

Die temporele resolusie van Landsat 5 TK is 16 dae.

### 3.2.5.3 Ruimtelike resolusie

Landsat 5 TK tas die aardoppervlak af in oppervlaktes of pixels van 30 m x 30 m vir bande 1-5 en 7. Band 6 word in pixels van 120 m x 120 m afgetas.

### 3.2.5.4 Radiometriese resolusie

Landsat TK onderskei 0 tot 255 stralingsvlakke in band 1-5 en band 7 (Prinsloo, 1992:22). Maksimum weerkaatsing, byvoorbeeld dié van 'n spieël, sal 'n maksimum waarde van 255 kry, terwyl aan 'n pikswart voorwerp, met geen weerkaatsing, die waarde van 0 toegeken sal word.

Enige afstandwaarnemingsdata kan met behulp van beeldverwerking geïnterpreteer word. In hierdie studie word beeldverwerking op satellietdata toegepas en dus word die beeldverwerking van satellietdata vervolgens bespreek.

Daar is twee hoofgroepe van beeldverwerkingsmetodes naamlik, kwalitatiewe beeldverwerking en kwantitatiewe beeldverwerking. Kwalitatiewe beeldverwerking vind plaas wanneer daar slegs 'n visuele interpretasie van die satellietbeeld gedoen word. Volgens Jensen (1986:5) kan die menslike oog net tussen 8 tot 16 vlakke van grys onderskei terwyl daar met rekenaarmatige digitale beeldverwerking (kwantitatiewe beeldverwerking) tot 255 moontlike vlakke van grys geïdentifiseer kan word. Die oog se onderskeidingsvermoë met betrekking tot kleur is goed en redelike interpretasie kan so verkry word, maar nie so gedetailleerd soos met kwantitatiewe analise van digitale data nie. Subjektiwiteit kan ook voorkom in kwalitatiewe beeldverwerking byvoorbeeld wanneer sekere kleure helderder vertoon as ander en die oog mislei om nie die dowwer kleure waar te neem nie. Detail kan dus met kwalitatiewe beeldverwerking verlore gaan (Curran, 1986:208).

Kwantitatiewe beeldverwerking vind plaas deur die rekenaarmatige verwerking van 'n digitale satellietbeeld. Dit kan, onder andere, plaasvind deur 'n klassifiseringsproses waartydens pixels, met behulp van 'n algoritme, aan verskillende klasse toegeken word (Campbell, 1987:294). Twee klassifikasiebenaderings, naamlik gerigte en nie-gerigte klassifikasie, word algemeen gebruik.

In gerigte klassifikasie ("supervised classification") is die identiteit en ligging van sommige tipes oppervlakbedekking (soos stede, landbou, vleie en woude), bekende inligting wat ingesamel is deur 'n kombinasie van veldwerk, lugfoto- en kaartbestudering. Die bekende data word dan gebruik as "voorbeeld" vir die rekenaar om sodoende die res van die digitale data in die satellietbeeld aan die bekende inligting te meet en dit daarvolgens te groepeer.

In nie-gerigte klassifikasie ("*unsupervised classification*") is daar geen bekende inligting met betrekking tot die oppervlak-bedekking nie en word dit aan die rekenaar oorgelaat om die data in groepe te versamel met behulp van statistiese groeperingstegnieke soos byvoorbeeld trosanalise (Jensen, 1986:177-178).

Beeldverwerking in dié studie behels die herkenning van bodemdegradasie op 'n satellietbeeld deur die rekenarmatige verwerking van digitale beelddata met behulp van gerigte klassifikasieprosedures. Dit is egter nodig om eers deeglike agtergrondkennis van die studiegebied te verkry, voordat gerigte klassifikasie gedoen kan word.

### **3.3.1 Data-insameling**

#### **3.3.1.1 Kontroledata**

Data oor die studiegebied moet vooraf ingesamel word, ten einde gebruik te kan maak van gerigte klassifikasie. Deeglike kennis van die gebied is nodig sodat die oppervlakverskynsels op die satellietbeeld herken kan word. Hierdie voorafversamelde data word as opleidings- en toetsdata (kyk paragraaf 3.4.1.2, p.47) in die klassifikasieproses gebruik.

Die insameling van kontroledata vind plaas tydens veldbesoeke aan die gebied en deur die kartering van die data wat deur die veldbesoek ingesamel is.

#### **3.3.1.2 Keuse van beeldmateriaal**

Dit is noodsaaklik om geskikte satellietbeelde volgens die doelwit van die studie te kies voordat enige beeldverwerking gedoen kan word. Die keuse word beïnvloed deur faktore soos die seisoen van die jaar, die wolkbedekking op die beeld en die datum waarop die satelliet die gebied afgetas het. In hierdie studie was daar behoefte aan wolklose beelde, ten einde die doel van hierdie studie - naamlik die lokalisering van bodemdegradasie - te bereik. Beelde wat gedurende die reënlose tydperk van die jaar geneem is, is gekies. Die rede hiervoor is dat daar die minste wolkbedekking oor die gebied sou wees vir onbelemmerde sig op die oppervlak,

terwyl met 'n minimum plantbedekking bodemdegradasie die beste waargeneem sal kan word. Die besonderhede van die gekose beelde verskyn in Tabel 4.1 (p. 56) en Figuur 4.2 (p. 57) toon die liggings van die verskillende beelde.

### **3.4 KLASSIFIKASIEPROSES**

Die klassifikasieproses in beeldverwerking kan in vier fases verdeel word, naamlik:

- \* die opleidingsfase;
- \* die voor-klassifikasiefase;
- \* die klassifikasiefase; en
- \* die uitsetfase.

Hierdie fases skep slegs 'n struktuur vir die klassifikasieproses en hoef nie noodwendig in dieselfde volgorde plaas te vind nie. Die fases soos dit in Figuur 3.3 voorgestel word sal vervolgens bespreek word.

#### **3.4.1. Opleidingsfase**

Die opleidingsfase is die deel van gerigte klassifikasie wat eerste uitgevoer word. Die opleidingsfase word in twee afdelings verdeel naamlik, die afbakening van subtonele en die keuse van opleidingspixels.

##### **3.4.1.1 Afbakening van subtonele**

'n Volledige Landsat TK satellietbeeld bestaan uit 5857 lyne met 7020 pixels elk. Hierdie beeld kan op die IBM 7350-beeldverwerker se 1024 x 1024-resolusie kleurskerm vertoon word deur elke sewende lyn en sewende pixel te gebruik. Die beelde word eers in subtonele verdeel ten einde die verwerking van die groot hoeveelheid data te vergemaklik.

Om die data van die beeld op die rekenaarskerm met volle resolusie te vertoon,<sup>17</sup> word ongeveer 'n 42 ste van die beeld op 'n keer vertoon.

#### 3.4.1.2 Keuse van kontroledata

Kontroledata word gedurende veldbesoeke ingesamel. Hierdie kontroledata word tweeledig aangewend, eerstens as opleidingsdata en, tweedens as toetsdata. Opleidingsdata word in die opleidingsproses gebruik terwyl toetsdata in die klassifikasiefase gebruik word.

Die analis poog om die liggings wat as opleidingsdata gebruik word, visueel as pixels op die satellietdata te herken. Hierdie liggings behoort homogene voorbeelde (klasse) van die bekende oppervlakbedekking soos bome, water, en huise te wees. Die pixels word dan in 'n groep op die beeld afgebaken. Die statistiese gemiddeld en standaardafwyking van die spektrale waardes van elke groep word deur die rekenaaralgoritme bereken sodat die unieke spektrale "handtekening" vasgestel kan word. Elke groep word verder na verwys as 'n klas. Hierdie klasse word nou gebruik om die klassifikasie algoritme op te lei ten einde die oorblywende data van die beeld te klassifiseer (Jensen, 1986:177).

### 3.4.2 Voor-klassifikasiefase

#### 3.4.2.1 Keuse van die beeldverwerkingsstelsel

Die klassifikasie van satellietbeelde kan met behulp van enige beeldverwerkingsstelsel<sup>18</sup> uitgevoer word, afhangende van die tegnologie wat vir die beeldverwerkingsdoeleindes beskikbaar is.

---

<sup>17</sup> Voordat opleiding van die data gedoen kan word, moet die pixels visueel interpreteerbaar wees. Daar moet dus 'n visuele "verbetering" van die data wees. Dit beteken in effek dat 'n beter resolusie van die data waargeneem kan word omdat data in volle detail, dit wil sê alle moontlike data, pixel vir pixel vertoon word.

<sup>18</sup> Bekende beeldverwerkingsstelsels is onder andere:

- \* *HLIPS - High Level Image Processing System*
- \* *MIPS - Map and Image Processing System*

### 3.4.2.2 Keuse van bandkombinasies

Die keuse van bandkombinasies is tweeledig van belang. Eerstens om 'n visuele onderskeiding vir opleidingsliggings te verkry en tweedens vir die klassifikasieproses van die rekenaaralgoritme.

Om opleidingsliggings te verkry word die satellietdata in 'n valskeurbeeld vertoon. Die vertoning van 'n valskeurbeeld van die satellietdata word saamgestel uit 'n kombinasie van spektrale bande. Slegs drie bande kan gelyktydig vertoon word. Die beste bandkombinasie kan geselekteer word deur verskeie kombinasies te toets, om vas te stel watter kombinasie die beste visuele onderskeiding ten opsigte van opleidingspixels aantoon .

Die bandkombinasiekeuse hang tweedens af van die spesifieke eienskappe wat deur elkeen van die spektrale bande verteenwoordig word. Hierdie eienskappe is belangrik vir die klassifikasie van die satellietdata. Die eienskappe van die bande (kyk ook Tabel 3.1, p.43) toon reeds 'n mate van diskriminasie tussen verskillende verskynsels (Colwell, 1983:1047).

Gedurende die klassifikasie self kan die rekenaaralgoritme 'n kombinasie van drie of meer bande gebruik, afhangende van die aantal bande wat vir die klassifikasieproses gekies word.

### 3.4.3 Klassifikasiefase

#### 3.4.3.1 Klassifikasie

'n Maksimum waarskynlikheidsalgoritme met 'n Bayes-besluitnemingsreël is vir die klassifikasie gebruik. Dit beteken dat die pixels wat nie in die afbakening van opleidingspixels gebruik is nie, deur die klassifikasie-algoritme gevoeg sal word by dié klas waarmee dit spektraal die beste ooreenstem en wat dus die grootste waarskynlikheid het dat die pixel aan dié klas sal behoort.



Figuur 3.3 Verskillende fases van die klassifikasieproses

Die Bayes-reël maak egter ook voorsiening vir die beperking van die waarskynlikheid dat 'n pixel aan 'n klas toegeken sal word. Dit beteken dat daar 'n beperking bestaan op die moontlikheid dat 'n pixel aan 'n klas toegeken kan word. Die beperking kan eerstens toegepas word deur 'n groot verskeidenheid klasse in die opleidingsproses. Hoe meer klasse daar is, hoe kleiner word die waarskynlikheid dat 'n pixel deur die maksimum waarskynlikheidsalgoritme aan 'n ander klas toegeken kan word.

Die beperking van waarskynlikheid kan tweedens plaasvind deur diskriminantfunksies wat bepaal dat daar 'n besluitnemingsgrens en 'n besluitnemingsruimte is. Figuur 3.4 toon die besluitnemingsgrens in een dimensie. Die besluitnemingsgrens kan verskuif word om die pixel binne óf buite 'n sekere klas te laat val (Schowengerdt, 1983:39,40) wanneer die *a-priori* of drempelwaardes (kyk paragraaf 3.4.3.2 en 3.4.3.3, p.51) verstel word.

Die klassifikasieproses word as volg beïnvloed deur die toekenning van *a-priori* en drempelwaardes aan elke klas.

#### 3.4.3.2 *A-priori* waardes

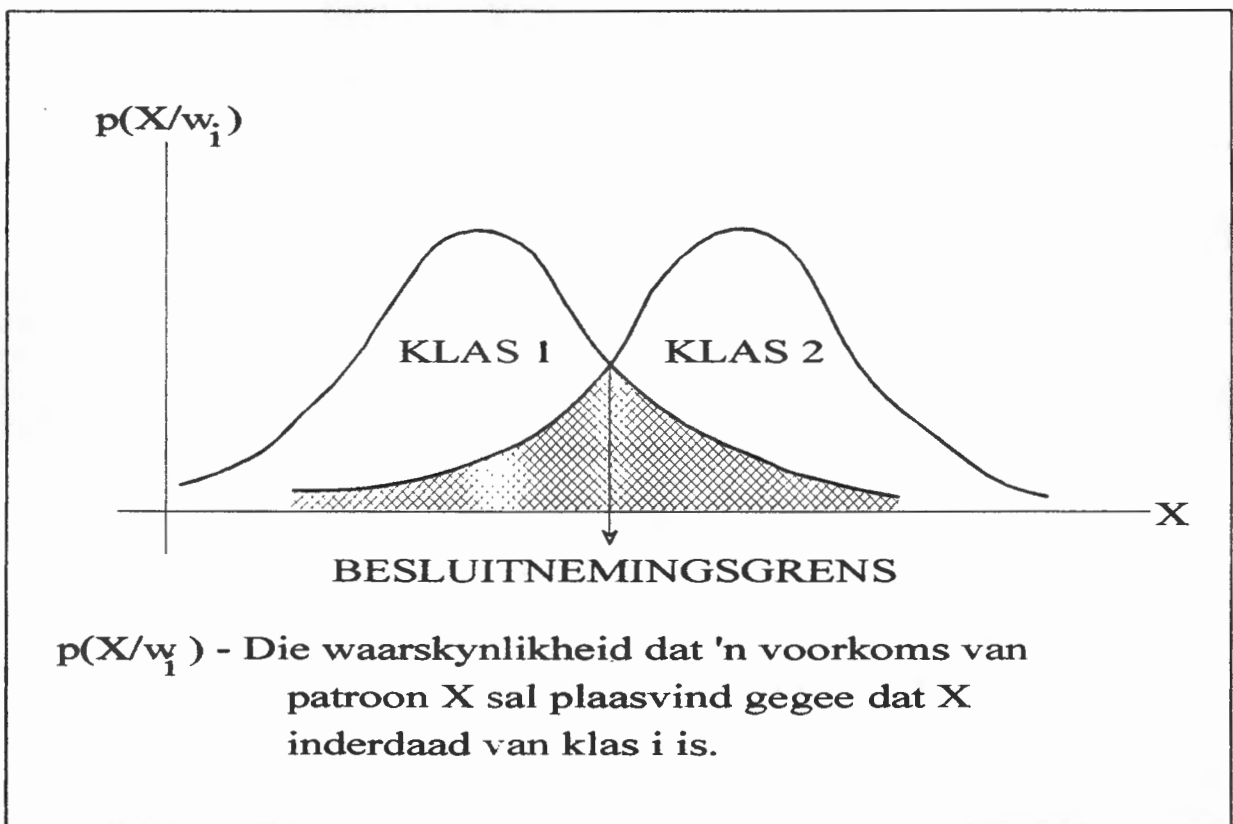
*A-priori* waardes toon aan wat die verwagte voorkoms van 'n verskynsel binne 'n spesifieke gebied sal wees (Schowengerdt, 1983:38). In afstandwaarneming kan die *a-priori* waardes bereken word vanaf eksterne bronne soos historiese data, veldwerkdata en bestaande kaarte. Daar kan dus self bepaal word wat die verwagte waarskynlikheid is dat 'n klas in 'n gebied sal voorkom. Bodemdegradasie kan byvoorbeeld 60 %, bome en bosse 30 % en bewerkte lande 10 % van 'n studieterrrein beslaan. Voor die klassifikasieproses sal *a-priori* waardes aan die onderskeie klasse toegeken word.

Met die toekenning van *a-priori* waardes kan klasse doelbewus "bevoordeel" (waarskynlikheid van plasing van die pixel in die betrokke klas word vergroot), óf doelbewus "benadeel" (waarskynlikheid dat die pixel nie in die klas geplaas gaan word nie) word. 'n "Bevoordeling" of "benadeling" word gedoen deur die diskriminantfunksie van die pixel vanaf een klas te

verskuif na 'n ander (Schowengerdt, 1983:43). Die verstelling van *a-priori waardes* moet met groot omsigtigheid gedoen word sodat die diskriminantfunksie nie heeltemal van die oorspronklike vervreem word nie.

### 3.4.3.3 Drempelwaardes

Drempelwaardes stel 'n grens vir 'n spesifieke klas binne 'n spektrale ruimte. Daar bestaan altyd die potensiaal tot meer klasse in 'n studiegebied as wat die navorser oplei, omdat die navorser onmoontlik alle verskynsels op die aardoppervlak tot in die fynste besonderheid kan dek. Gedurende klassifikasie ken die Bayes-reël alle pixels van die satellietbeeld aan die verskeie moontlike opleidingsklasse toe. Die pixels wat nie volgens die besluitnemingsreël aan een van die opleidingsklasse behoort nie, sal saam gegroepeer word in 'n "nul" klas.



Figuur 3.4 Digtheidsfunksies waar die snypunt die besluitnemingsvlak van drempelwaardes aandui (Bron: Van Rensburg, 1979:120)

Die moontlikheid dat 'n pixel in die "nul" klas eerder aan 'n spesifieke opgeleide klas moes behoort het is skraal, maar moontlik. Indien lae of geen drempelwaardes toegeken word, word daar dus "begroot" vir die moontlikheid dat 'n belangrike pixel nie in die "nul" klas sal hoort nie (Schowengerdt, 1983:68-70), maar eerder aan 'n toegekende klas. Die teenoorgestelde kan in dieselfde mate ook waar wees en 'n streng gestelde drempelwaarde kan die kanse verlaag dat 'n pixel wat aan die "nul" klas behoort, foutiewelik in 'n gekose klas geplaas word (kyk Figuur 3.4).

'n Drempelwaarde van 0 vir 'n klas beteken dat die laagste vlak van strengheid as 'n grens aan die klas toegeken word. 'n Hoë waarde (HLIPS-drempelwaardes strek van 0-100) toon dat die eksklusiwiteit van 'n klas as belangrik beskou word en dat die klas streng afgebaken binne 'n besluitnemingsgrens geplaas kan word. Dit kan deur die volgende praktiese voorbeeld verduidelik word:

Bodemdegradasie kom wydverspreid in Lebowa voor. Drempelwaardes van die bodemdegradasielas kan dus eerder versterk word, sodat die nedersettings wat soortgelyke spektrale radiasie as gedegradeerde dele besit, nie in die klassifikasiekaart van bodemdegradasie ingesluit word nie.

#### 3.4.4 Uitsetfase

Nadat 'n gebied geklassifiseer is, word die resultaat van klassifikasie in 'n klassifikasiekaart aangedui. Elke klas word deur 'n vooraf gekose kleur op die kaart aangedui.

Hierdie klassifikasiekaart word met die oorspronklike valskleurbeeld, die kontroledata en 1:50 000 kaarte vergelyk. Indien die resultate nie bevredigend volgens die kontroledata is nie, word die proses herhaal, met byvoeging van opleidingspixels en die verstelling van *a-priori* en drempelwaardes, tot 'n bevredigende resultaat verkry word. 'n Bevredigende resultaat sal 'n goeie visuele korrelasie tussen die kontrolekaart en die klassifikasiekaart aantoon.

### **3.5 SAMEVATTING**

In hierdie hoofstuk is die relevante satellietafstandwaarnemingstechnologie beskryf. Beeldverwerking is bespreek deur te verwys na data-insameling sowel as die klassifikasieproses. In die volgende hoofstuk word die praktiese toepassing van data-insameling en beeldverwerking, met die spesifieke doel om die bodemdegradasie in Lebowa te lokaliseer, meer volledig bespreek.

## **HOOFSTUK 4**

### **DATA-INSAMELING EN VERWERKING**

#### **4.1 INLEIDING**

Die praktiese toepassing van wat in hoofstuk 3 bepreek is, naamlik die teoretiese agtergrond ten opsigte van satellietdata en die rekenaarmatige verwerking daarvan, word in hierdie hoofstuk beskryf. Die insameling van data sal eerstens beskryf word, terwyl die verwerking daarvan beskryf sal word volgens die struktuur wat in Hoofstuk 3 aangedui is.

#### **4.2 DATA-INSAMELING**

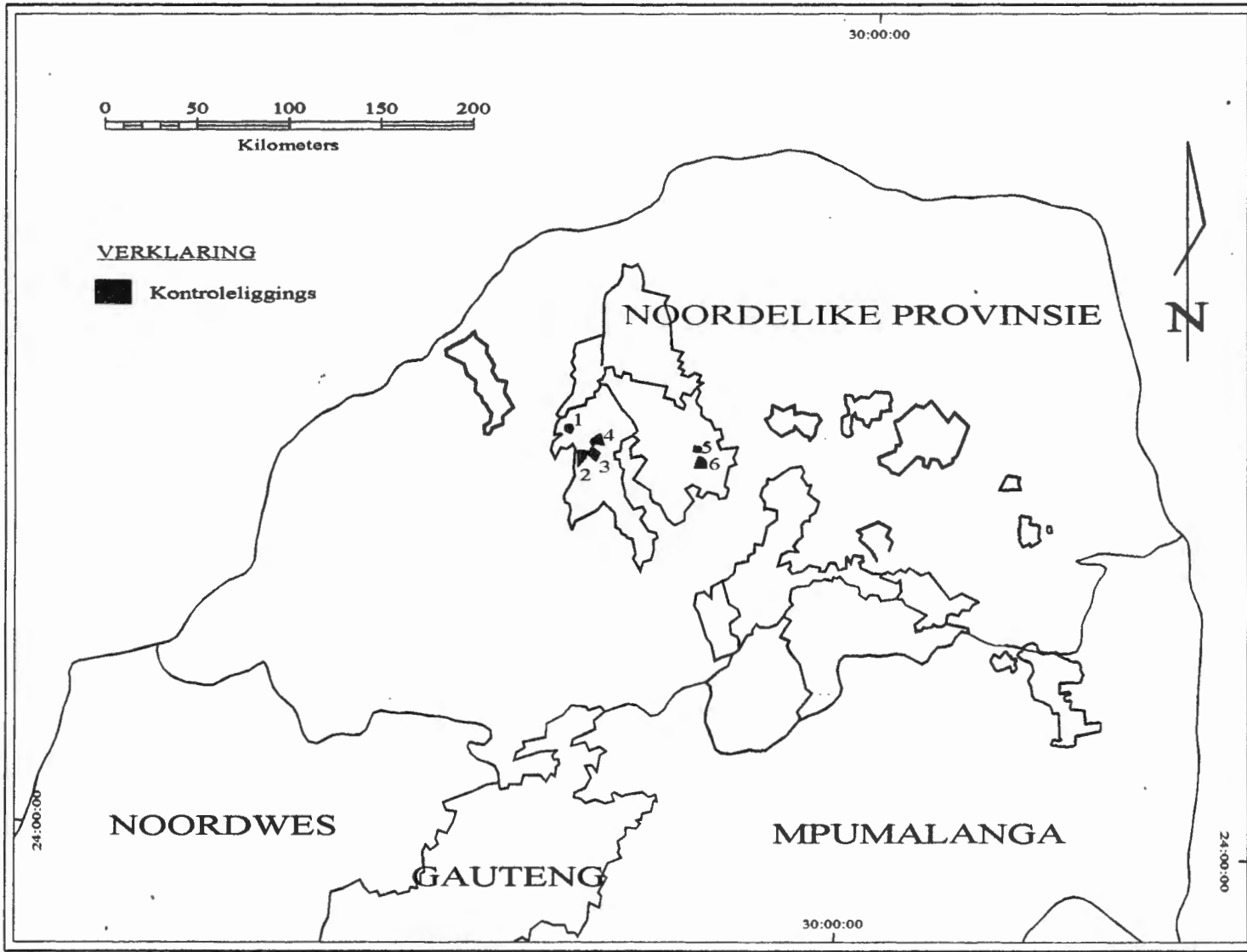
##### **4.2.1 Kontroledata**

Gedurende veldbesoeke is voorkomste van bodemdegradasie en ander oppervlakverskynsels op 1:50 000 topografiese kaarte aangestip. Homogene kontroleliggings moet verkry word. Die studiegebied strek oor 'n baie groot en ruwe oppervlakte en die gebied wat die maklikste bereikbaar en die mees toeganklike is, word gekies as die kontrolegebied. Figuur 4.1 toon die ses liggings wat gekies is vir die insameling en toetsing van kontroledata.

##### **4.2.2 Landsatdata**

###### **4.2.2.1 Landsatbeelde**

Die data vir hierdie studie is verkry van die Satelliettoepassingsentrum (STS) van die WNNR te Hartbeeshoek in Transvaal. Die vier beelde is gekorrigeer op prosesvlak 5 om op die Suid-Afrikaanse 1:50 000 topografiese kaarte ooreen te stem.



Figuur 4.1 Liggings van die ses kontrolegebiede

Tabel 4.1 toon die datums en nommers van die vier satellietbeelde wat in hierdie studie gebruik is.

BEELDNAAM**	DATUM	BEELDNOMMER
Nylstroom	1991-07-12	*WRS 170-77
Sibasa	1991-09-23	*WRS 169-76
Bewaarkloof	1989-08-16	*WRS 169-77
Alldays	1991-07-12	*WRS 170-76

\* *Worldwide Reference System*

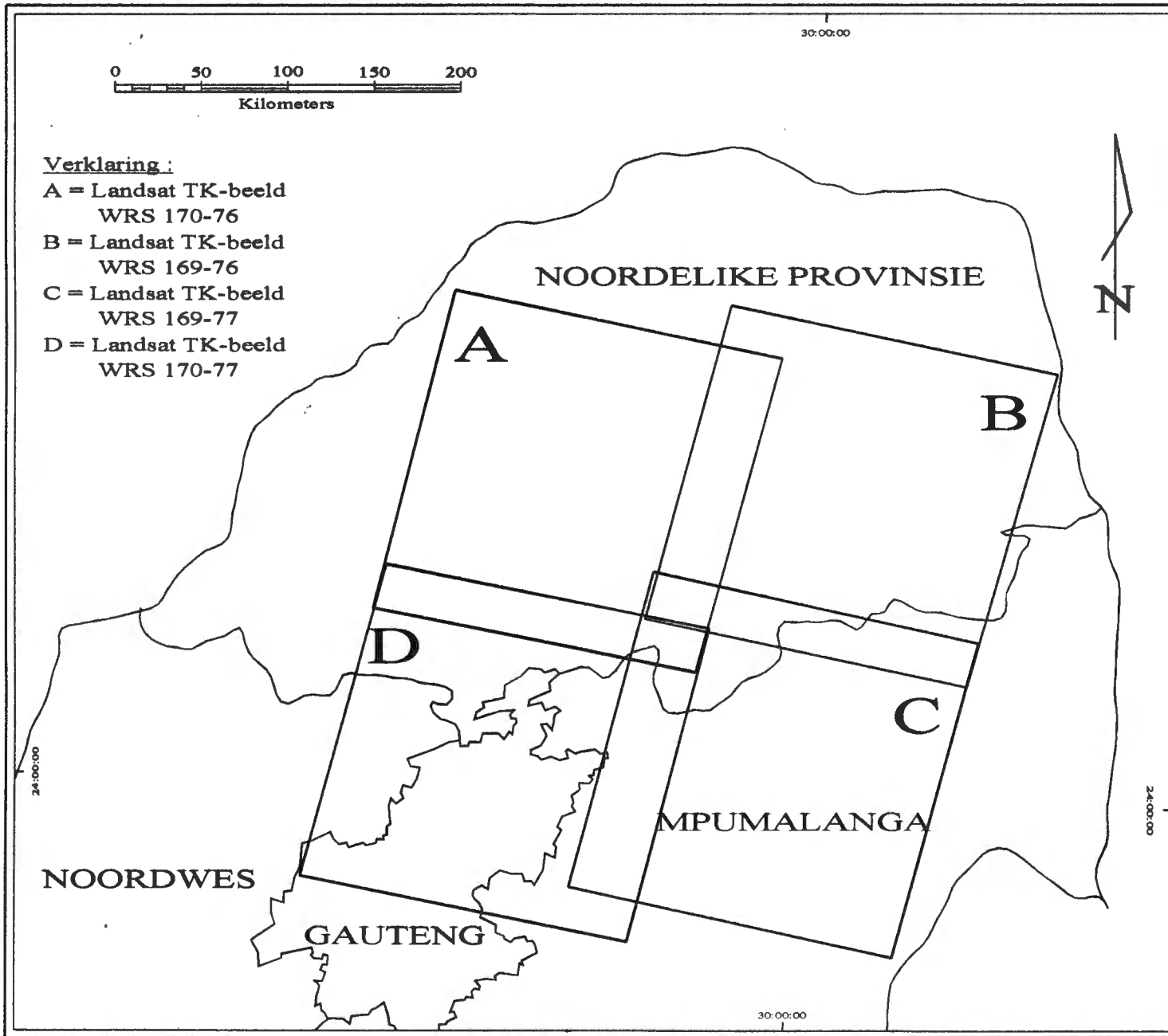
\*\* Beeldname is toegeken vir gerieflike verwysing in die studie, volgens dorpe of belangrike gebiede in die beeld.

Tabel 4.1 Besonderhede van die onderskeie LANDSAT TK-beelde wat in die studie gebruik is.

#### 4.2.2.2. Keuse van die beelde

Wolklose beelde gedurende die droë seisoene van die gebied, is aangeskaf. Tabel 4.1 toon dat die Nylstroom-, Sibasa- en Alldays-beelde meer reser is as die Bewaarkloof-beeld (ongeveer 25 maande). Nadat van die gedegradeerde gebiede in die Bewaarkloofgebied besoek was is daar gevind dat die gebiede relatief min verskil in bodemdegradasie soos vertoon word op die vroeër beeld. Gedurende visuele evaluasie is waargeneem dat die twee jaar tydsverskil nie 'n wesenlike impak op die resultate het nie, veral gesien in die lig van die behoefte aan streekskaaldata.

In Figuur 4.2 word die liggings van die verskillende Landsat TK beelde op die gebied aangetoon.



Figuur 4.2 Liggings van Landsat 5 TK-beelde

## 4.3 DATAVERWERKING

### 4.3.1 Opleidingsfase

#### 4.3.1.1 Afbakening van subtonele

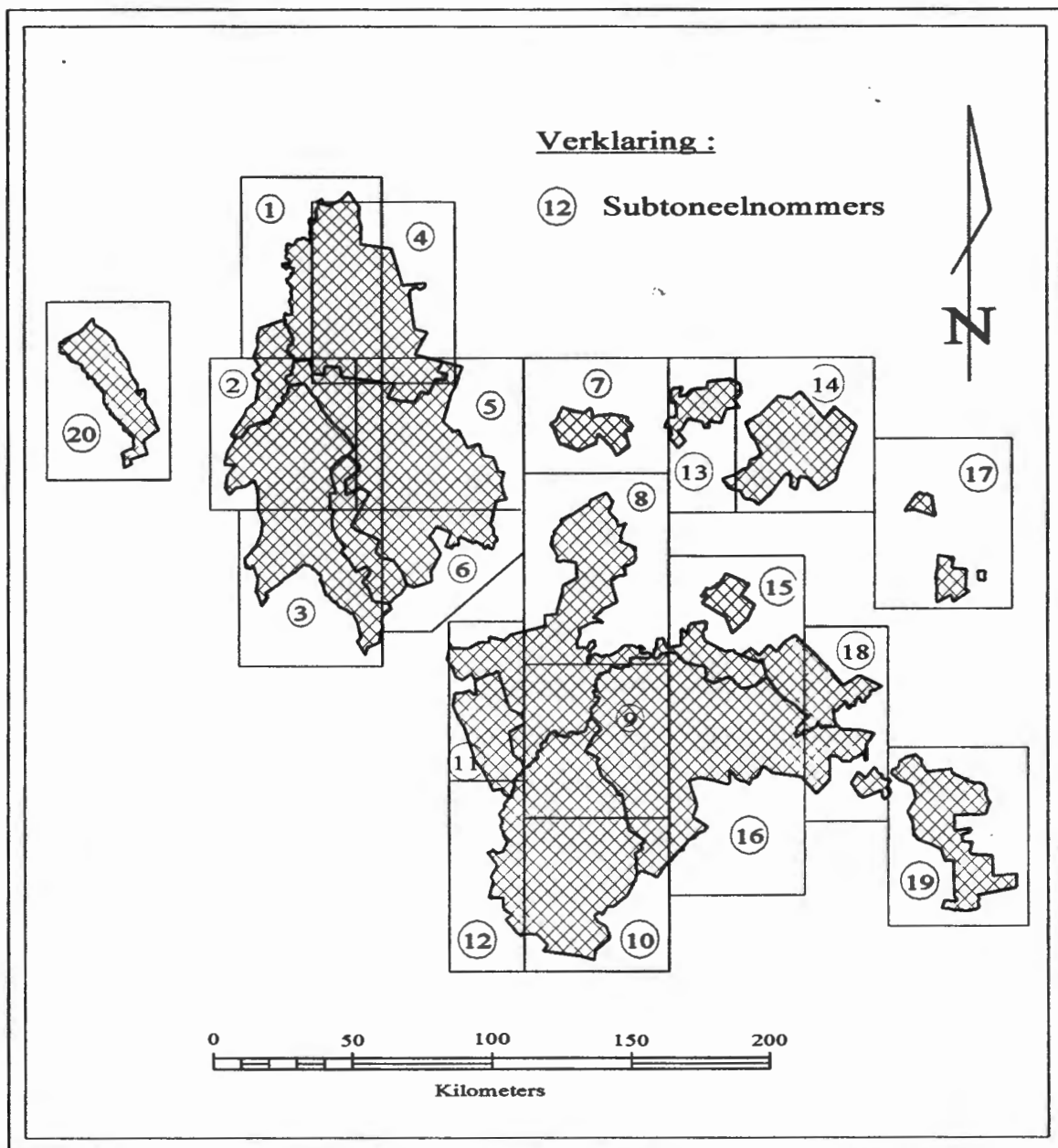
Subtonele met 'n growwer resolusie (elke tweede lyn en tweede pixel) is onttrek, om te bepaal wat die resultate vir die lokalisering van bodemdegradasie op so 'n growwe skaal sou wees. Dit beteken dat die subtonele 'n oppervlak van ongeveer 60 km X 60 km dek<sup>19</sup>. Daar is gevind dat die growwer skaal nie 'n beduidende verskil toon met die resultate van subtoneelonttrekking waar daar van elke lyn en pixel gebruik gemaak is nie. Die afbakening van subtonele op bogenoemde growwer skaal het twee voordele. Die eerste voordeel is dat die tydsduur van die proses van dataverwerking versnel deurdat die resultate nou in 'n kwart van die tyd verkry word. Die tweede voordeel voldoen aan die behoefte van data-insameling op 'n streekskaal<sup>20</sup>.

In Figuur 4.3 word al die subtonele van die vier verskillende beelde aangetoon. Daar kan gesien word dat die subtonele in die Alldaysbeeld mekaar met groot dele oorvleuel. Die rede hiervoor is dat oorvleueling van die subtonele gedurende die eerste pogings van klassifikasie benut is om seker te maak dat die klassifikasie-resultate (toetsdata) van twee verskillende klassifikasierondtes, waar gebruik gemaak is van dieselfde opleidingsdata, ooreenstem.

---

<sup>19</sup> Die 7350 beeldverwerker wat in die studie gebruik is, het 'n skerm met 'n 1024 x 1024 resolusie. In 'n subtoneel, wat uit 1024 lyne en 1024 pixels bestaan waarvan elke tweede lyn en tweede pixel vertoon word, verteenwoordig een pixel nie meer 'n oppervlakte van 30m x 30m nie, maar 'n oppervlakte van 60m x 60m. Die totale oppervlak van die subtoneel word soos volg bereken:  
(60m x 1024 lyne) x (60m x 1024 pixels)  
= 61,44km x 61,44km

<sup>20</sup> Die doel van die streekskaal van die studie is om 'n growwe inventaris van bodemdegradasie in die gebied saam te stel, ten einde beplanning vir rehabilitasie en bestuur op plaaslike vlak te bevorder. (Kyk ook paragraaf 1.1 en 2.6)



Figuur 4.3 Subtonele onttrek uit die vier Landsat-beelde

#### 4.3.1.2 Keuse van kontroledata

Kontroledata is verdeel in opleidingsdata en toetsdata. Die keuses tussen die verdeling van data is objektief<sup>21</sup> en sonder enige voorafbepaling gedoen. Die gebruik van die twee tipes data sal verder gedurende die klassifikasieproses aan die lig kom.

#### 4.3.2 Voor-klassifikasiefase

##### 4.3.2.1 Beeldverwerkingsstelsel

Die klassifikasie van satellietbeelde is in hierdie studie uitgevoer met behulp van die IBM Hoëvlak Beeldverwerkingsstelsel, HLIPS<sup>22</sup>, wat gebruik maak van 'n IBM 7350-verwerker, met die IBM 4381-hoofraam van die PU vir CHO as gasheerrekenaar.

##### 4.3.2.2 Keuse van bandkombinasies

Die keuse van bandkombinasies word voorafgegaan deur die keuse van die bande self. Landsat bied 'n keuse uit 7 verskillende spektrale bande. Die bande wat gekies is, is TM2, TM4, TM5 en TM7. Die keuse van dié vier bande word gegrond op die potensiaal tot diskriminasie tussen plante en grond as die twee sterkste onderskeibare klasse vir opleiding. Volgens Lillesand en Kiefer (1987:567) word plantegroei die sterkste in bande 2 en 4 onderskei terwyl band 5 veral plant- en grondvogtigheid meet. Band 7 word gewoonlik gebruik om minerale en rotstipes te onderskei. Drie van hierdie bande naamlik TM 2, TM 4 en TM 5 is ook deur Raina *et al.* (1993:47-52) en Price (1993:233) gebruik as die beste onderskeiders vir bodemdegradasie<sup>23</sup>. Band 7 word in hierdie studie aangewend as 'n vierde band vir klassifikasie, anders as band 3 wat deur Raina *et al.* (1993:47-52) as vierde band vir klassifikasie aangewend word. Die rede hiervoor kan gevind word in die spesifieke toepassing van elke band. Tabel 3.1 toon dat bande 3 en 7 onderskeidelik vir plantegroeionderskeiding en vir grondonderskeiding aangewend word.

---

<sup>21</sup> Van die totale hoeveelheid kontroledata is daar telkens vier liggings ewekansig gekies om as opleidingsdata te dien. Die oorblywende kontroledata is as toetsdata aangewend.

<sup>22</sup> *High Level Image Processing System*

<sup>23</sup> Kyk ook Tabel 3.1 vir die tipes onderskeiding in elke Landsat band.

Lebowa is 'n semi-ariëde klimaatsgebied met min plantegroei en daarom word band 7 eerder as band 3 aangewend.

Die keuse van die bandkombinasie is belangrik, aangesien 'n groot deel van die opleidingsproses gebed is in visuele onderskeiding op die valskleurbeeld. Daar is ook gesoek na die beste visuele diskriminasie tussen plantegroei en kaal grond. Die kombinasie van bande 2, 4 en 7 is na visuele toetsing van verskeie bandkombinasies as die beste kombinasie vir die vertoning van die satellietdata gekies. Die toetsing het soos volg verloop:

1. 'n Spesifieke bandkombinasie is vertoon. Die bodemdegradasie, plantegroei, of enige ander klas wat gedurende veldwerk gekarteer was, is op die satellietbeeld gesoek en vergelyk met die kontroledata.
2. Die bandkombinasie wat op die satellietdata die beste sigbare onderskeiding aangetoon het tussen klasse wat gedurende veldwerk gekarteer is, is as kombinasie vir vertoning gekies.

Vir die klassifikasie-algoritme self, is egter gebruik gemaak van al vier gekose bande.

### 4.3.3 Klassifikasiefase

Die klassifikasiefase word verdeel in die klassifikasie self en die verstelling van *a-priori* waardes en drempelwaardes.

#### 4.3.3.1 Klassifikasie

Die klassifikasieproses word begin deur die opleiding van die rekenaaralgoritme. Gedurende opleiding word gepoog om soveel as moontlik verskillende homogene klasse van degradasie op te lei, sodat daar seker gemaak kan word dat alle moontlike voorbeelde van bodemdegradasie as opleidingsklasse voorkom.

Opleidingsdata van bodemdegradasie het egter nie altyd op die valskleur satellietbeeld visueel dieselfde vertoon nie. Die data het visueel verskil deur, onder andere, in skakerings van wit, liggeel en geel te vertoon. Verskeie oorsake vir hierdie verskille is deur verifikasie tydens veldbesoeke verkry. Die eerste oorsaak is die feit dat die grondkleur van die drie liggings moontlik kan verskil. Grondtekstuur en grondtipe kan ook 'n verskil in die voorkoms van bodemdegradasie op die valskleurbeeld teweeg bring. Tweedens is van die liggings in 'n skadu geleë en verskil gevolglik ook van kleur. Derdens kan daar 'n ander verskynsel op die ligging voorkom soos, byvoorbeeld, 'n sinkhuis wat die refleksie van die oppervlak verhoog.

Omdat die liggings visueel verskil het, is daar besluit om 'n degradasieklas vir elk van hierdie liggings op te lei, met die gevolg dat drie verskillende klasse geïdentifiseer is. Die statistiek van die drie klasse is na 'n klassifikasie onttrek en kan in Tabel 4.2 gesien word.

	DEGR KLAS 1		DEGR KLAS 2		DEGR KLAS 3	
	GEM*	SA**	GEM*	SA**	GEM*	SA**
TM 7	64	8,5	59	4	48	1,7
TM 5	118	13	115	5	101	2,79
TM 4	50	6	53	3	46	0,99
TM 2	37	5	33	1,5	28	0,5

\* Gemiddeld

\*\* Standaard afwyking

Degr Degradasie

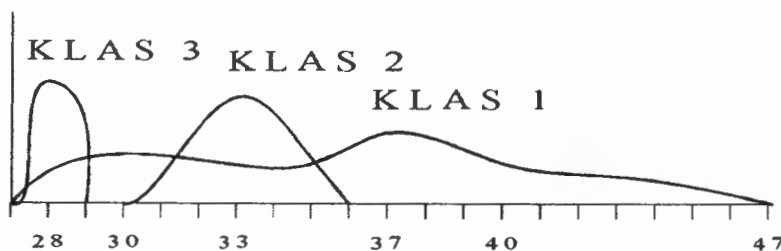
Tabel 4.2 Statistiek om die refleksiewaardes van die drie verskillende degradasieklasse aan te toon.

Die standaardafwykings (+ en -) van die data uit Tabel 4.2 word in Tabel 4.3 aangetoon met die vertrouensinterval gestel op 95 %.

	DEGR KLAS 1 95% vertrouensinterval		DEGR KLAS 2 95% vertrouensinterval		DEGR KLAS 3 95% vertrouensinterval	
	-	+	-	+	-	+
TM 7	47,34	80,66	51,16	66,48	44,67	51,33
TM 5	92,52	143,48	105,2	124,8	95,53	106,47
TM 4	38,24	61,76	47,12	58,88	44,06	47,94
TM 2	27,2	46,8	30,06	35,94	27,02	28,98

Tabel 4.3 Standaardafwykings van die drie klasse van bodemdegradasie met 'n vertrouensinterval van 95%

Tabel 4.3 toon aan dat met 'n vertrouensinterval van 95 % die spektrale waardes van klas 2 en klas 3 baie min oorvleuel (kyk ook Figuur 4.4). Daar is dus 'n besliste verskil tussen die twee klasse en daarom moet die twee klasse steeds afsonderlik geklassifiseer word. Uit Tabel 4.2 kan daar gesien word dat die standaardafwykings vanaf die gemiddeldes in klas 1 relatief groot is in vergelyking met dié van klasse 2 en 3. Dit beteken dat die visuele onderskeiding tussen die pixels op die valskleurbeeld in die geval van klas 1 nie homogeen uniek was nie. Klas 1 se berekende waardes vanaf die standaardafwyking (Tabel 4.3) oorvleuel ook met klasse 2 en 3. Figuur 4.4 toon die oorvleueling in band TM 2 van klas 1 teenoor die onderskeidings in klasse 2 en 3 duidelik aan.



Figuur 4.4 Normaalkurwe om die verspreiding van bodemdegradasie in TM 2 klas 1 tot 3 aan te toon

Die drie klasse is egter behou en is steeds afsonderlik geklassifiseer om die interne homogeniteit van die klasse so hoog as moontlik te hou. Hierdie klasse is egter nie gedurende interpretasie as tweede of derde klasse van degradasie beskou nie, maar saam as die enigste bodemdegradasieklas aangedui. Die rede vir die enkel bodem-degradasieklas is dat die vereiste vir die studie nie die opsporing van *verskillende* klasse van degradasie was nie, maar slegs om die *ruimtelike verspreiding* van degradasie op streeksvlak aan te toon.

Gedurende die insameling van kontroledata is ook ander oppervlakverskynsels se liggings op 1:50 000 kaarte aangetoon. Hierdie liggings is ook as opleidingsdata gebruik ten einde soveel as moontlik verskynsels op die aardoppervlak aan te dui. Sodoende word die waarskynlikheid van plasing van pixels by verkeerde klasse verminder. Die addisionele klasse wat opgelei is, is soos volg gekies:

### **Plantegroei**

Om as sterk onderskeiding tussen kaal, gedegradeerde bodem en plantegroiebedekte bodem te dien.

### **Paaie**

Die meeste paaie in die gebied is grondpaaie en kan maklik met gedegradeerde bodem verwar word. Dit vorm egter ook duidelike lyne en kan gebruik word as kontroledata gedurende veldwerk en evaluering.

### **Nedersettings**

Die nedersettings vertoon gewoonlik 'n hoë refleksie as gevolg van die sinkdakke wat vir die geboue gebruik word.

### **Groen landerye (met besproeiing)**

Dit word as sterk onderskeid tussen gedegradeerde bodem en groen plantegroei aangewend. Hierdie klas word apart van gewone plantegroei gebruik, omdat dit 'n visueel maklik

onderskeibare vorm het en dus as verwysing vir toetsing gebruik kan word.

### **Berge**

'n Groot oppervlakte van die gebied word deur berge beslaan en daarom is dit as 'n opleidingsklas gekies. Uit veldwerk blyk dit dat in die meeste van die bergagtige gebiede daar min plantegroei, min menslike aktiwiteite en dus feitlik geen menslik veroorsaakte bodemdegradasie voorkom nie. Moontlike rotsdegradasie mag voorkom, maar is nie in hierdie studie spesifiek opgespoor nie.

### **Rivier**

Die riviere vorm 'n belangrike deel van die omgewing en die sterk lynvorm daarvan kan as verwysing gedurende evaluering en veldwerk gebruik word. Die meeste van die riviere in die gebied is egter nie standhoudend nie en slegs die vorm daarvan (droë loop) kan herken word.

Deur 'n breë spektrum van klasse verskillend van bodemdegradasie daar te stel, word die klassifikasie-algoritme verbeter, omdat die besluitnemingsgrens (kyk paragraaf 3.4.3, p.50 en Figuur 3.4, p.51) dus vir die degradasieklas nouer gestel word deur aan die maksimumwaarskynlikheidsalgoritme 'n groter aantal moontlike alternatiewe keuses van klasse te stel.

#### **4.3.3.2 *A priori*-waardes**

In die aanvanklike klassifikasieroetines is *a priori*-waarde verstelling getoets. Met verstelling is 'n baie klein verskil in die resultate teweeggebring. Die *a priori*-waardes is dus gelaat soos dit normaalweg (met 'n verstekwaarde gelyk aan 1) in HLIPS is.

#### **4.3.3.3 Drempelwaardes**

Daar is op die ses kontrolegebiede (kyk Figuur 4.1, p. 55) drempelwaardes van 0, 10, 20, 30 en 40 toegepas. Gedurende veldwerk is hierdie gebiede geëvalueer ten opsigte van die voorkoms van bodemdegradasie. Klassifikasies met drempelwaardes van 0-30 het oppervlaktes ingesluit

wat nie degradasiekenmerke besit nie. 'n Drempelwaarde van 40 het die beste visuele resultate gelewer en is dus gebruik in al die daaropvolgende klassifikasies.

#### 4.3.4 Uitsetfase

##### 4.3.4.1 Agtergrond tot die interpretasie van die klassifikasie resultate

'n Streekskaal inventaris van bodemdegradasie vereis nie die onderskeiding tussen verskillende tipes degradasie nie, alhoewel daar tóg in sommige gevalle tussen plaat-degradasie en donga-degradasie onderskei kon word. Omdat kaal grond en (reeds) gedegradeerde oppervlaktes dieselfde refleksiewaardes besit, was dit ook nie moontlik om tussen die twee voorkomstes te onderskei nie. Die vraag ontstaan egter oor 'n moontlike verskil tussen die twee oppervlaktes en of kaal grond nie reeds degradasie is of tot degradasie gaan lei nie. Volgens Odendaal (1988:139) beteken die woord degradasie dat iets in gehalte agteruitgaan of dat dit in graad verlaag word. Volgens Morgan (1986:11) lei enige degradasie van die bodem tot versnelde bodemverlies, wat dan ernstiger degradasie tot gevolg het. Aangesien die doel met die inventaris is om "alle" moontlike liggings van degradasie of "potensiële" degradasie op te spoor, word kaal grond dus ook in die klassifikasie van gedegradeerde oppervlakte ingesluit.

Ten einde rehabilitasie*beplanning* op streekskaal te kan doen (kyk paragraaf 1.3, p.1), word vier klasse van degradasie onderskei. Hierdie klasse toon nie 'n spesifieke graad of tipe degradasie aan nie, maar wel die ruimtelike frekwensie van die voorkoms van degradasie in 'n spesifieke gebied. Die volgende vier klasse is onderskei:

- Klas 0: Daar is 'n 0 % tot 9 % voorkoms van degradasie in die gebied, maar vir rehabilitasie- en bestuursdoeleindes word dit as 'n gebied met geen bodemdegradasie aangetoon.
- Klas 1: 10 % - 40 % van die gebied is gedegradeer, in 'n ongelyke verspreidingspatroon.
- Klas 2: 41 % - 70 % van die gebied is gedegradeer. Die degradasie kom meer aaneenlopend voor.

Klas 3: 71 % - 100 %. Meer as 70 % van die gebied is gedegradeer en die degradasie is aaneenlopend verspreid.

Die waardes kan ook geïnterpreteer word as die waarskynlikheid dat degradasie (klas 0-3) by enige ewekansig-gekoose punt in die studiegebied, sal voorkom.

#### 4.3.3.2 Klassifikasie resultate

Tabel 4.4 toon alle gedegradeerde oppervlakte soos dit per/per gedeelte van subtoneel met Landsat opgespoor is. Figuur 4.3 toon die liggings van die onderskeie subtonele aan.

Alle degradasie-oppervlaktes is op 'n klassifikasiokaart met behulp van HLIPS afgebaken. Die aantal pixels wat tot die degradasielas behoort is rekenaarmatig vasgestel. Die oppervlakte<sup>24</sup> van 'n pixel (3600 m<sup>2</sup>) word aan die rekenaar verskaf en die totale oppervlakte (in hektaar) van die degradasieliggings per subtoneel word dan bereken.

Die vyf subtonele Glensuid, Blou-suid, Blou-oos, All2XT en Boberg val in die Alldays beeld wat as die kontrolegebied gebruik was (kyk Figuur 4.2, p.57 en Figuur 4.3, p.59). Nadat die mees bevredigende klassifikasie-algoritme gevind is, is die algoritme op die ander drie beelde toegepas.

Daar moet gelet word daarop dat sommige van die gebiede in die subtonele, veral in die Alldaysbeeld oorvleuel en dat die syfers van Tabel 4.4 (p. 68) nie as die totale oppervlaktes van degradasie bereken kan word nie. Die finale berekende oppervlaktes, wat vanaf die kaart-eindproduk met behulp van 'n planimeter bereken is, word in Tabel 4.5 aangetoon. Figuur 4.5 (p.70) toon die liggings van die verskillende distrikte aan.

---

<sup>24</sup> Die oppervlakte van die pixels het vergroot aangesien subtonele van elke tweede ry en elke tweede pixel gebruik is vir klassifikasie. Een pixel verteenwoordig dus nou nie meer 'n oppervlakte van 30m x 30m nie maar 'n oppervlakte van 60m x 60m.

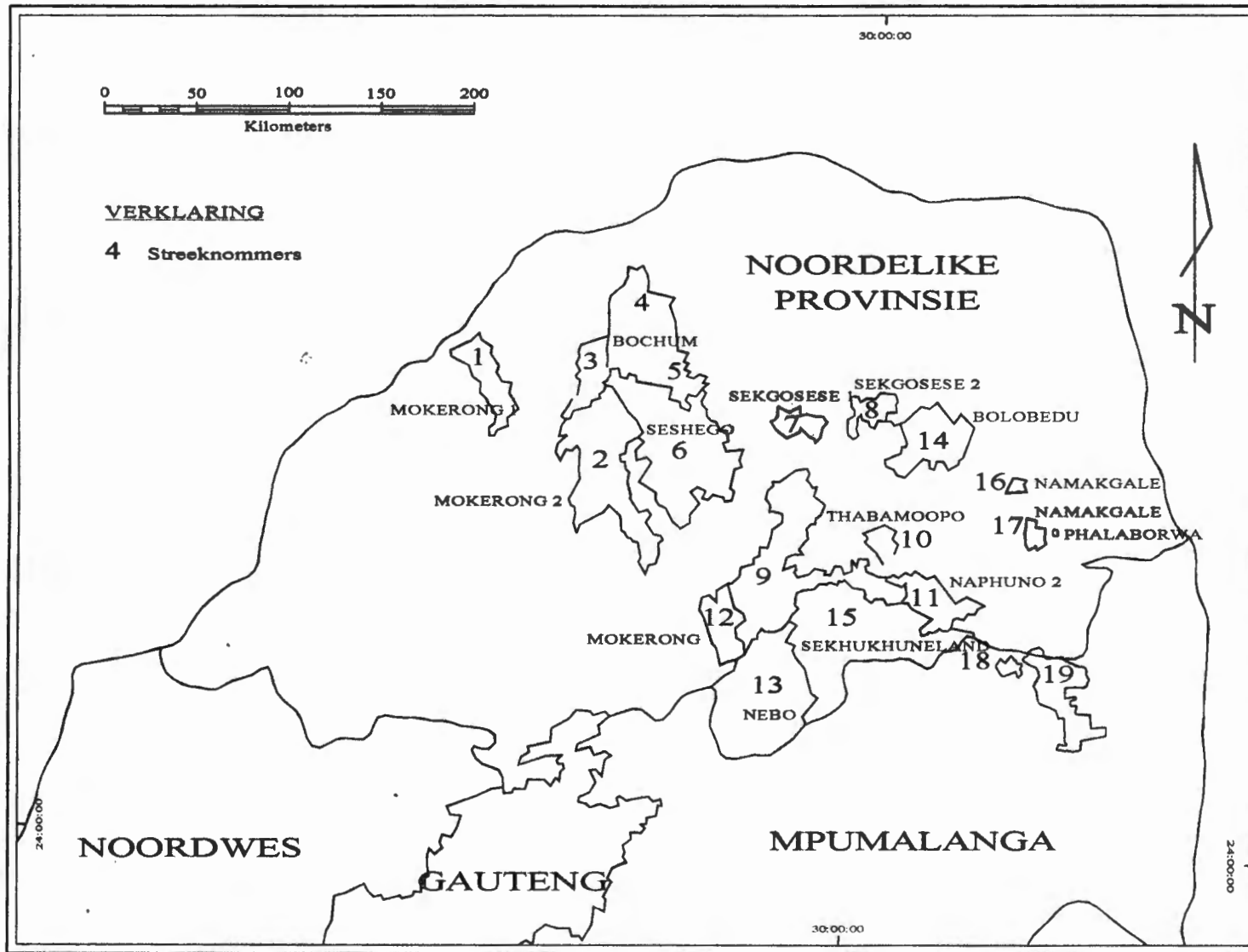
SUBTONEEL (SUBTONEELNOMMER)	OPPERVLAK (ha)
GLENSUID (2)	170 700
BLOU-SUID (noordelike gedeelte van 5)	74 800
BLOU-OOS (4)	182 800
ALL 2XT (suidelike gedeelte van 5)	587 700
BOBERG (1)	32 900
NYL (3)	86 500
NYL 2 (6)	69 200
NYL 3 (11)	107 900
NYL 4 (12)	14 700
SIBAS 1 (7)	140 200
SIBAS 2 (13)	161 200
SIBAS 3 (14)	5 700
KLOOF 1 (8)	59 100
KLOOF 2 (los gedeelte van 15)	2 500
KLOOF 3 (vaste gedeelte van 15)	27 900
KLOOF 4 (17)	26 300
KLOOF 5 (10)	113 200
KLOOF 6 (18)	26 300
KLOOF 7 (9)	247 400
KLOOF 8 (18)	1 200
KLOOF 9 (19)	800
TOTAAL	2 139 000

Tabel 4.4 Oppervlak van degradasie in hektaar, soos gelokaliseer per subtoneel met behulp van Landsatdata.

DIS* TRIK	TOT OPP KM <sup>2</sup>	KLAS 0 0-9% KM <sup>2</sup>	KLAS 1 10-40% KM <sup>2</sup>	KLAS 2 40-70% KM <sup>2</sup>	KLAS 3 71%+ KM <sup>2</sup>	TOT DEGR KM <sup>2</sup>	% DEGR VAN TOT OPP
1	669,38	669,38	-	-	-	-	-
2	2401,9	1856,2	266,1	210,1	69,5	545,7	22,7
3	438,8	401,6	7,7	24,8	4,6	37,1	8,5
4	2486,3	2475,9	497,8	152,5	50,8	706,2	28,4
5	556,9	336,7	208,0	4,3	7,9	220,2	39,5
6	3034,1	1416,9	332,4	585,5	699,3	1617,2	53,3
7	326,25	8,25	20,2	-	297,8	318,0	97,5
8	320,7	261,4	10,0	49,2	-	59,2	18,5
9	2851,9	1989,6	225,2	353,3	283,8	862,3	30,2
10	208,1	208,1	-	-	-	-	-
11	397,5	649,1	-	-	48,4	48,4	6,9
12	652,5	437,5	124,0	75,2	15,8	215,0	33,0
13	29886	28456	380,0	833,7	216,6	1430,3	4,8
14	1063,1	587,8	126,0	171,4	186,9	484,3	45,6
15	3909,3	2980,1	789,7	41,5	98,0	929,2	23,8
16	135,0	25,6	24,1	-	85,3	109,4	81,0
17	45,0	31,8	-	-	13,2	13,2	29,3
18	90,0	75,1	14,9	-	-	14,9	16,6
19	990,0	784,9	95,6	65,0	44,5	205,1	20,7
T	23864	16083	3121,7	2566,5	2092,4	7708,6	32,6
T%	100	67,4	13,1	10,8	8,8	32,6	

\* Ligings van distrikte word in Figuur 4.5 aangetoon

Tabel 4.5 Voorkoms van degradasie in Lebowa in die vier klasse van degradasie met die totale oppervlakte van degradasie in persentasie (soos verwerk uit Suid-Afrikaanse Trust Korporasie, 1993:19).



Figuur 4.5 Ligging van die verskillende distrikte in Lebowa soos verwy in Tabel 4.5

In Tabel 4.5 kan gesien word dat sowat 32,6 % van die totale oppervlakte van Lebowa gedegradeer is. Klas 1 degradasie beslaan 13,1 % van die oppervlakte, klas 2 beslaan 10,8 % en klas 3 beslaan 8,8 %.

'n Groot deel van die oppervlakte wat nie degradasie toon nie (klas 0), is onder andere bergagtige gebiede, waar daar nie bewoning of bewerking van die oppervlakte is nie en waar die negatiewe invloed van die mens die omgewing minder benadeel.

Volgens die resultate van die klassifikasie blyk dit ook dat daar in hierdie gebiede feitlik geen degradasie voorkom nie. Die resultate van die studie kan dus veel meer ingrypende implikasies hê as wat aanvanklik voorkom, aangesien dit die syfer van totale gedegradeerde oppervlak verhoudingsgewys vergroot.

#### **4.4 GEVOLGTREKKING**

In Hoofstuk 4 is die praktiese proses van die lokalisering van bodemdegradasie deur die rekenaarmatige beeldverwerking van die satellietdata bespreek. Die resultate van die rekenaarmatige klassifikasieproses toon dat 'n groot hoeveelheid potensiële en werklike bodemdegradasie, wat 32,6 % van die totale oppervlakte van Lebowa beslaan, gelokaliseer is. Die akkuraatheid van die lokalisering van bodemdegradasie moet statisties geverifieer word en sal vervolgens in Hoofstuk 5 bespreek word.

## HOOFSTUK 5

### AKKURAAATHEIDSBEPALING

#### 5.1 INLEIDING

Die doelwit van die studie was om vas te stel tot watter graad van akkuraatheid bodemdegradasie in Lebowa met behulp van Landsat TK-data gelokaliseer kan word. In die vorige hoofstuk is daar vasgestel dat bodemdegradasie wel op streekskaal in Lebowa gelokaliseer kan word. In hierdie hoofstuk word die akkuraatheidsgraad van die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal geëvalueer.

#### 5.2 DOEL VAN AKKURAAATHEIDSBEPALING

##### 5.2.1 Inleiding

Die akkuraatheid van die klassifikasie van die aardoppervlakte met behulp van satellietdata word gewoonlik deur middel van kontroledata visueel geëvalueer en daarna statisties geverifieer. Die resultate in hierdie studie kan slegs aanvaar word indien bewys kan word dat die lokalisering van die bodemdegradasie (Hoofstuk 4) akkuraat en betekenisvol was.

Volgens Lillesand en Kiefer (1987:692) is daar nog nie een spesifieke, algemeen aanvaarbare metodologie vir akkuraatheidsbepaling in afstandwaarneming nie. Die vergelyking van die kontroledata met die satellietdata, met behulp van 'n foutmatriks of gebeurlikheidstabel (Tabel 5.1, p.74), is die mees algemene metode wat gebruik word<sup>25</sup>. Die Chi-kwadraattoets word ook as 'n objektiewe evaluasiemetode beskou. Die Kappa-koëffisiënt word as 'n verdere betroubare metode beskou om akkuraatheid en betekenisvolheid in afstandwaarneming te bereken. Die data

---

<sup>25</sup> Toepassings hiervan kan ook in die volgende bronne gevind word: Congalton en Biging (1992:1670), Aronoff (1982:1304), Janssen en van der Wel (1994:422), Franklin (1991:156), Conese en Maselli (1991:192-193), Congalton en Mead (1983:69-74), Congalton en Green (1993:641-644).

vir die Chi-kwadraattoets en dié vir die Kappa-koëffisiënt word vanuit 'n gebeurlikheidstabel verkry (Conese & Maselli, 1991:191; Hudson & Ramm, 1987:421; Maselli *et al.*, 1990:157; Congalton & Green, 1993:641; Franklin, 1991:154).

Tegnieke vir die berekening van die totale akkuraatheidsvlak, die trefwaarskynlikheid, die valsalarmerhouding en die kritieke suksesindeks word ook aangewend.

Die volgende toetse vir akkuraatheid is op die klassifikasie resultate toegepas:

- Chi-kwadraattoets;
- die gebeurlikheidskoëffisiënt (om die sterkte van verband in die Chi-kwadraattoets aan te dui);
- Kappa-koëffisiënt;
- die totale akkuraatheidsvlak (TAV);
- die trefwaarskynlikheid (TW);
- die valsalarmerhouding (VAV);
- die uitsluitingsfoute (UF) en
- die kritieke suksesindeks (KSI).

### 5.2.2 Samestelling van 'n gebeurlikheidstabel

Die twee datastelle (kontroledata en satellietdata) is met behulp van 'n roosterorleg met mekaar vergelyk. Die resultaat van die vergelyking tussen die twee datastelle (kontroledata en satellietdata) kan in 'n binêre gebeurlikheidstabel voorgestel word. 'n Sel in die gebeurlikheidstabel kan een van vier betekenis dra naamlik:

a1 = bodemdegradasie word aangetref op albei datastelle

a2 = bodemdegradasie is teenwoordig op die satellietdata maar nie op die kontroledata nie

b1 = bodemdegradasie is nie teenwoordig op die satellietdata nie, maar wel op die kontroledata

b2 = bodemdegradasie is afwesig op satellietdata asook kontroledata

Die gebeurlikheidstabel word voorgestel in Tabel 5.1.

		KONTROLEDATA		
		DEGR	NIE-DEGR	TOTAAL
LANDSAT DATA	DEGR	a1	a2	Na
	NIE-DEGR	b1	b2	Nb
	TOTAAL	N1	N2	N

waar: *degr* = degradasie  
*nie-degr* = nie degradasie

Tabel 5.1 Gebeurlikheidstabel

Uit Tabel 5.1 kan die volgende afleidings gemaak word wat die akkuraatheid van die lokalisering aandui:

- a1 = korrek geklassifiseerde degradasieliggings
- a2 = insluitingsfoute
- b1 = uitsluitingsfoute
- b2 = korrek geklassifiseerde nie-degradasieliggings

Om 'n gebeurlikheidstabel saam te stel is 'n steekproefrooster opgestel met 'n roosterdigtheid van 5 mm X 5 mm. Hierdie roosterdigtheid is gekies op grond van die streekskaal van die studie. Dit verteenwoordig 'n ligging met 'n oppervlakte van 50 m X 50 m (2500 m<sup>2</sup>) op die 1:50 000 topografiese kaart (kontroleliggings). Die klassifikasiekaart is vergroot tot dieselfde skaal (1:50 000) en die rooster is op albei die datastelle geplaas. Die sel word getel as degradasie wanneer meer as die helfte van die sel as bodemdegradasie geklassifiseer is. Daar

is besluit<sup>26</sup> om die liggings deurgaans in die noordelike en oostelike selle te tel waar geklassifiseerde bodemdegradasieliggings op 'n grens val (Sandham, 1984:36).

Die doel van die gebeurlikheidstabel is dus om die akkuraatheid van die klassifikasie te bepaal en te kwantifiseer. Volgens Campbell (1987:342) kan daar aangeneem word dat al die verskille tussen die klassifikasie resultate en die kontroledata toegeskryf kan word aan foute gedurende klassifikasie of gedurende die afbakening van die opleidingspixels. Congalton en Green (1993: 641-644) bevind egter dat daar ook verskeie ander oorsake vir verwarring tussen die afstandwaarnemingsdata en die kontroledata kan wees. Hierdie oorsake sluit die volgende in:

- \* registrasieverskille tussen die kontroledata en die klassifikasiekaart;
- \* afbakeningsfoute met die vasstelling van liggings vir akkuraatheidstoetsing;
- \* foute wanneer die syfers van die kontroledata oorgeskryf word in die tabelle vir kwantitatiewe akkuraatheidstoetsing;
- \* foute gedurende afbakening en interpretasie van die kontroledata vanaf byvoorbeeld lugfoto's;
- \* verandering van die gedegreerde oppervlakte tussen die datums waarop satellietdata en kontroledata verkry is (byvoorbeeld stedelike ontwikkeling); en
- \* variasie in die klassifikasiedata en die afbakening van kontroledata as gevolg van menslike interpretasie-verskille asook heterogene plantegroei.

Daar moet dus gedurende akkuraatheidstoetsing in ag geneem word dat bogenoemde faktore die akkuraatheid van die gebeurlikheidstabel, en dus in effek die akkuraatheid van die ondersoek, laer of hoër kan laat voorkom as wat dit in werklikheid is. In Hoofstuk 4 (paragraaf 4.3.3.1, p. 62) is daar verwys na moontlike faktore wat in hierdie studie die akkuraatheid van lokalisering kon beïnvloed het.

---

<sup>26</sup> Hierdie besluit word gegrond op 'n konvensionele gebruik om objektiwiteit en akkuraatheid te bevorder (Berry & Baker, 1968:95).

'n Aanvanklike syfer van 51 % is gekies as mikpunt vir 'n totale akkuraatheidvlak. 'n Syfer van 51 % en meer sou as 'n bevredigende resultaat beskou word aangesien dit die eerste keer is wat 'n studie oor data-insameling op streekskaal met behulp van SAT in Suid-Afrika aangepak word.

### **5.3 NIE-LIGGINGSPE-SIFIEKE EN LIGGINGSPE-SIFIEKE AKKURAA- THEIDSBEPALING**

Akkuraatheidsbepaling kan met verwysing na een van die volgende twee kriteria gedoen word, naamlik:

- \* nie-liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (N-LAB) en
- \* liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (LAB) (Campbell, 1987:340).

#### **5.3.1 Nie-liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (N-LAB)**

Nie-liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (N-LAB), bepaal die akkuraatheid van 'n klassifikasie, sonder dat die akkuraatheid aan spesifieke liggings gekoppel is. Dit word verkry deur 'n vergelyking van die totale oppervlakte volgens die kontroledata en die satellietdata, wat deur die verskynsel van belang binne 'n bepaalde kontrolegebied beslaan word. N-LAB word gewoonlik gebruik wanneer die kontroledata net syfers vir totale oppervlakte is.

Dit beteken dus dat die twee datastelle (die klassifikasiokaart en die kontrolekaart) getoets word ten opsigte van die oppervlakte wat die verskynsel beslaan (Campbell, 1987:340). Dit is egter nie wenslik om net N-LAB as akkuraatheidsbepaling te gebruik nie, omdat die totale oppervlakte van 'n verskynsel kan ooreenstem, terwyl die spesifieke liggings daarvan totaal verskil.

Aangesien die kontroledata in hierdie studie liggingspesifiek is, is die nie-liggingspesifieke toets nie aangewend vir akkuraatheidsbepaling nie.

### 5.3.2 Liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (LAB)

Liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (LAB) is gebaseer op die ooreenkoms tussen die kontroledata en verwerkte satellietdata by spesifieke lokaliteite.

Volgens Campbell (1987:341) kan LAB op drie maniere uitgevoer word. Die eerste metode behels die vergelyking van die geklassifiseerde data met die opleidingsdata wat vir die gerigte klassifikasie gebruik is. Hierdie metode kan egter nie alleen as akkuraatheidsbepaling gebruik word nie, aangesien daar verwag kan word dat die opleidingsdata, wat reeds as deel van die klassifikasie-algoritme aan die rekenaar bekend is, 'n 100 % akkuratheid in die klassifikasie sal toon. Die opleidingsdata is ook min in vergelyking met die res van die data wat geklassifiseer moet word. Die tweede metode vergelyk liggings van die kontroledata wat nie as opleidingsdata gebruik is nie en dus slegs as toetsdata aangewend word. Die toetsdata is dus bekende degradasieliggings wat ná die klassifikasie gebruik word om te sien of die toetsdata se liggings wel gedurende klassifikasie opgespoor is. Dit is in sulke gevalle nie altyd nodig om die liggings deur fisiese veldlokaliserings te verifieer nie. Die laaste metode is gebaseer op 'n gewone steekproef waarin enige 2 % tot 5 % van die pixels in die studiegebied as toetsdata aangewend word. Hierdie pixels word dan alleenlik in die akkuraatheidsbepaling gebruik (dus glad nie vir opleidingsdoeleindes nie). Hierdie metode bied sy eie probleme, aangesien die insameling van die 2 % tot 5 % pixels vir die steekproef ekstra tyd neem en die insameling daarvan moeilik kan wees, soos in die geval van verafgeleë en moeilik bereikbare plekke. Daar kan ook navorsingsvrae wees soos die rede vir die keuse van die spesifieke steekproef wat gebruik word.

Die metode van LAB wat in hierdie studie gebruik word, word beskryf deur die tweede metode wat Campbell voorhou. Die hele beginsel van LAB word gebaseer op 'n gebeurlikheidstabel (Tabel 5.1). Daar is van ses kontrolegebiede (kyk Figuur 4.1, p. 55) gebruik gemaak ten einde die akkuraatheidsbepaling te doen. Die data vir elk van die ses gebiede is ingesamel deur die metode wat in paragraaf 5.2.2 beskryf word en verskyn in Tabel 5.2.

Die Chi-kwadraattoets saam met die gebeurlikheidskoëffisiënt, word as objektiewe akkuraatheidstoets vir LAB gebruik, aangesien hierdie studie groot oppervlaktes bestudeer en spesifieke liggings getoets word. Die Kappa-koëffisiënt is as 'n verdere objektiewe toets vir akkuraatheid aangewend. Die resultate van hierdie toets sal in die bespreking van die resultate (paragraaf 5.4, p.90) aangespreek word.

#### 5.3.2.1 Die Chi-kwadraattoets

Hierdie toets is uitgevoer aan die hand van 'n steekproef. Die steekproefrooster wat gebruik word, is reeds in paragraaf 5.2.2 (p.73) bespreek. Die resultate wat verkry is deur die rooster oor die twee datastelle (kontroledata en die satellietdata) se kaarte te lê, is in 'n gebeurlikheidstabel (kyk Tabel 5.2) aangetoon.

Die Chi-kwadraattoets bepaal of daar 'n verband bestaan tussen die gekontroleerde en Landsat liggings vir degradasie. In die Chi-kwadraattoets word die volgende hipoteses gestel:

- \* 'n Nulhipotese ( $H_0$ ) wat bepaal dat daar geen verband tussen die kontroledata (empiriese data) en die Landsatdata (teoretiese data) bestaan nie, en
- \* 'n Alternatiewe hipotese ( $H_1$ ) wat bepaal dat daar wel 'n verband tussen die twee stelle gegewens bestaan.

Die teoretiese data (verwagte waardes) in die nulhipotese kan soos volg vertolk word:

Om die werklike (empiriese) waardes met die verwagte (teoretiese) waardes te vergelyk, moet die verwagte waardes onder sekere aannames bereken word. Die verwagte waardes is dit wat onder die nulhipotese verwag word. Die nulhipotese sal dus aanvaar word indien die verwagte waardes 'n klein of geen verskil met die werklike of empiriese waardes toon. Indien die verwagte waardes en die empiriese waardes 'n groot verskil toon, sal die alternatiewe hipotese aanvaar word (PU vir CHO, 1989:117).

		KONTROLEDATA			
		GEBIED	DEGR	NIE-DEGR	TOTAAL
LANDSAT DATA	DEGR	T 1	<sup>a1</sup> 101	<sup>a2</sup> 3	<sup>Na</sup> 104
		T 2	97	18	115
		T 3	101	82	183
		T 4	46	60	106
		T 5	62	12	74
		T 6	65	13	78
		<i>SUB-TOTAAL</i>	<i>472</i>	<i>188</i>	<i>660</i>
	NIE-DEGR	T 1	<sup>b1</sup> 14	<sup>b2</sup> 85	<sup>Nb</sup> 99
		T 2	18	102	120
		T 3	73	28	101
		T 4	94	121	215
		T 5	27	25	52
T 6		26	43	69	
<i>SUB-TOTAAL</i>		<i>252</i>	<i>404</i>	<i>656</i>	
TOTAAL	T 1	<sup>N1</sup> 115	<sup>N2</sup> 88	<sup>N</sup> 203	
	T 2	115	120	235	
	T 3	174	110	284	
	T 4	140	181	321	
	T 5	89	37	126	
	T 6	91	56	147	
	<i>SUB-TOTAAL</i>	<i>724</i>	<i>592</i>	<i>1316</i>	

Waar:

*degr* = bodemdegradasie

*nie degr* = nie bodemdegradasie

*T* = Kontrolegebied

Tabel 5.2 Foutmatriks met empiriese (werklike) waardes in pixel tellings vir die kontrolegebiede

Volgens die nulhipotese ( $H_0$ ) verskyn die bodemdegradasie toevallig op die liggings waar Landsat dit ook aangetoon het. Die alternatiewe hipotese ( $H_1$ ) stel dat daar 'n verband bestaan tussen die kontroledata en die Landsatafgeleide (SAT) data. Die aanvaarding van die alternatiewe hipotese sou aandui dat die lokalisering van bodemdegradasie deur Landsat nie

toevallig is nie en dat daar wel 'n verband bestaan tussen die SAT-gelokaliseerde bodemdegradasiedata en die kontroledata.

Die Chi-kwadraat formule lyk soos volg:

$$\chi^2 = \sum \frac{(E - T)^2}{T}$$

waar: *E* = werklike (empiriese) waarde

*T* = verwagte (teoretiese) waarde volgens die nulhipotese (PU vir CHO, 1989:110-119).

Die waardes vir T word bereken deur van die empiriese data in Tabel 5.2 gebruik te maak. Die data van gebied T 1 (Tabel 5.3) word nou gebruik as voorbeeld om die berekening van die relevante waardes en Chi-kwadraat te illustreer. Die verwerkte verwagte waardes verskyn in Tabel 5.4 met die Chi-kwadraat waardes van al ses die kontrolegebiede in Tabel 5.5.

		KONTOLEDATA		
		DEGR	NIE-DEGR	TOTAAL
LANDSAT DATA	DEGR	a <sup>1</sup> 101	a <sup>2</sup> 3	N <sup>a</sup> 104
	NIE-DEGR	b <sup>1</sup> 14	b <sup>2</sup> 85	N <sup>b</sup> 99
	TOTAAL	N <sup>1</sup> 115	N <sup>2</sup> 88	N 203

Tabel 5.3 Empiriese waardes van gebied T 1

Die verwagte waarde van 'n sel word soos volg bereken vanaf die empiriese waarde:

$$a1 = \frac{Na}{N} \times N1$$

$$= \frac{104}{203} \times 115$$

$$= 58,9$$

$$\approx 59.$$

Die ander waardes (a2, b1 & b2 ) kan op dieselfde manier bereken word of dit kan deur aftrekking (byvoorbeeld: 104 - 59 = 45) bereken word in 'n 2 X 2 tabel.

		KONTROLEDATA		
		DEGR	NIE-DEGR	TOTAAL
LANDSAT DATA	DEGR	a <sup>1</sup> 59	a <sup>2</sup> 45	N <sub>a</sub> 104
	NIE-DEGR	b <sup>1</sup> 56	b <sup>2</sup> 43	N <sub>b</sub> 99
	TOTAAL	N <sup>1</sup> 115	N <sup>2</sup> 88	N 203

Tabel 5.4 Teoretiese waardes volgens die nulhipotese vir gebied T 1

Die waardes van Tabel 5.3 (E) en Tabel 5.4 (T) word nou deur die Chi-kwadraat formule vergelyk:

$$\chi^2 = \sum \frac{(E-T)^2}{T}$$

$$= \frac{(101 - 59)^2}{59} + \frac{(3 - 45)^2}{45} + \frac{(14 - 56)^2}{56} + \frac{(85 - 43)^2}{43}$$

$$= 141,61.$$

Die Chi-kwadraat waardes is op dié wyse vir al die kontrolegebiede bereken en verskyn in Tabel 5.5.

KONTROLEGEBIED	Chi <sup>2</sup> -WAARDES
1	141,61
2	114,54
3	3,24
4	0
5	15,33
6	33,5
TOTALE GEBIED	145,91

Tabel 5.5 Chi-kwadraat waardes bereken vir al ses die kontrolegebiede asook vir die totale gebied.

Hierdie waardes word nou vergelyk met die kritieke waardes van Chi-kwadraat. Grade van vryheid word bereken as  $(r-1)(k-1)$  waar  $r$  die aantal rye en  $k$  die aantal kolomme van die foutmatriks verteenwoordig. Die grade van vryheid sal in hierdie geval  $(2-1)(2-1) = 1$  wees. Volgens du Toit (1975:63) is die kritieke waarde van Chi-kwadraat in hierdie geval 10,828 teen 'n beduidenheidspeil van 0,999 of 99,9 %. Die kritieke waarde bepaal dat indien die Chi-

kwadraat waarde gelyk of groter as die kritieke waarde is, die nul-hipotese verwerp word met 'n sekerheid van 99,9 %, aangesien dit bewys dat die ooreenkoms tussen die kontroledata en die Landsat-afgeleide data (SAT) nie toevallig is nie. In gevalle waar die Chi-kwadraat waarde dus kleiner as 10,828 is, word die nul-hipotese aanvaar teen 'n beduidenheidspeil van 99,9 %.

Die kritieke waarde van 10,828 word in vier gevalle (T 1, T 2, T 5 en T 6) in Tabel 5.5 oorskry. Die waarskynlikheid is dus minder as 0,1 % dat die ooreenkoms tussen Landsatdata en die kontroledata in hierdie gevalle toevallig is. Die H<sub>0</sub>-hipotese kan dus met 99,9 % sekerheid verwerp word, terwyl die H<sub>1</sub>-hipotese aanvaar word.

Daar is egter twee gevalle (T 3 en T 4) waar die Chi-kwadraat waardes kleiner as die kritieke waarde is en baie naby of gelyk aan 0 is. Die alternatiewe hipotese word dus in hierdie gevalle met 99,9 % verwerp en die nulhipotese aanvaar.

'n Totale Chi-kwadraat waarde (bereken op grond van die data in al die kontrolegebiede gesamentlik, Tabel 5.2 *SUBTOTAAL* waardes) word bereken as 145,91. Die totale berekende Chi-kwadraat waarde toon dus aan dat die ooreenkoms tussen die twee datastelle nié toevallig is nie en dat daar 'n sterk verband tussen die twee datastelle bestaan.

Die resultate toon dus dat 'n verband tussen die SAT-afgeleide data en die kontroledata bestaan. Die waardes wat deur Chi-kwadraat bereken is, toon wel dat daar 'n verband tussen die twee datastelle bestaan, maar gee geen aanduiding van die sterkte van die verband nie. Om die sterkte van die verband vas te stel, word die gebeurlikheids-koëffisiënt bereken.

#### 5.3.2.2 Die gebeurlikheidskoëffisiënt (C)

Vir die berekening van C hoef geen aanvaardings gemaak te word nie, en dit kan direk bereken word as die Chi-kwadraat bekend is. Die formule om die gebeurlikheidskoëffisiënt te bepaal is:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N + \chi^2}}$$

waar:  $\chi^2 = \text{Chi-kwadraat}$   
 $N = \text{sel } N \text{ in Tabel 5.1}$

Sekere beperkings verlaag egter die vertolkingswaarde van C, naamlik:

- \* Die maksimum waarde van C is nie 1 nie, maar wissel na gelang van die aantal vryheidsgrade. In die geval van 1 vryheidsgraad, soos in hierdie studie, is die maksimum waarde 0,707. Waardes van C kan dus deur 0,707 gedeel word om die mate van korrelasie aan te toon.
- \* Die C waarde kan nie probabilisties geïnterpreteer word nie (Sandham, 1984:41). Daar kan dus nie, wanneer 'n afwesigheid van feite voorkom, op die moontlikheid dat iets waar kan wees 'n besluit geneem word nie.

Sandham (1984:41) gebruik ook die korrelasie van attribute (Siegel, 1961:204) waar

$$r = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(k - 1)}}$$

vir 'n k x k gebeurlikheidstabel gebruik word. 'n Soortgelyke waarde as C word deur r bereken. Indien 'n 2 x 2 gebeurlikheidstabel soos in hierdie studie gebruik word, reduceer die formule tot:

$$r = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}}$$

Die C en r waardes (Tabel 5.6) van die ses kontrolegebiede is bereken deur gebruik te maak van die Chi-kwadraat waardes in Tabel 5.5.

KONTROLEGEBIED	CHI <sup>2</sup> WAARDES	C	$\frac{C}{0,707}$	r
T 1	141,61	0,65	0,9	0,84
T 2	114,54	0,57	0,8	0,70
T 3	3,24	0,104	0,2	0,11
T 4	0	0	0	0
T 5	15,33	0,329	0,5	0,34
T 6	33,5	0,43	0,6	0,47

Tabel 5.6 Chi-kwadraat waardes, C-waardes, C / 0,707 -waardes en r-waardes vir die kontrolegebiede

Volgens Sandham (1984:42) word 'n beduidende verwantskap gevind indien die waardes van veral C / 0,707 hoër as 0,5 is. In Tabel 5.6 toon 4 van die 6 kontrolegebiede 'n waarde van 0,5 en meer, terwyl twee waardes (T 3 en T 4) onder 0,5 is. Volgens hierdie waardes kan daar dus in vier gevalle bevind word dat daar 'n verband bestaan tussen die SAT-afgeleide data en die kontroledata.

Die Kappa-koëffisiënt word as verdere objektiewe toets vir akkuraatheid aangewend.

### 5.3.2.3 Kappa-koëffisiënt

Volgens Campbell (1987:349) is die doel van die Kappa-koëffisiënt om die verskil tussen die werklike ooreenkoms tussen twee datastelle en die moontlikheid dat die twee datastelle toevallig ooreenkom, te meet:

*"Kappa is a measure of the difference between the observed agreement between the two maps and the agreement that might be contributed solely by chance matching the two maps. Not all*

*agreement can be attributed to the success of the classification; Kappa attempts to provide a measure of agreement that is adjusted for chance agreement."*

Die gegewens in Tabel 5.2 word weer gebruik om die Kappa- koëffisiënt te bereken. Die koëffisiënt kan in eenvoudige formule as die volgende gesien word (Campbell, 1987:349):

$$\hat{K} = \frac{\text{waargenome waarde} - \text{verwagte waarde}}{1 - \text{verwagte waarde}}$$

Volgens die gebeurlikheidstabel, Tabel 5.1, kan die formule soos volg vir hierdie studie toegepas word:

$$\hat{K} = \frac{[(N \times (a1 + b2))] - [(N1 \times Na) + (N2 \times Nb)]}{N^2 - [(N1 \times Na) + (N2 \times Nb)]}$$

Die Kappa waardes vir die ses kontrolegebiede word in Tabel 5.7 weergegee.

Kontrolegebied	KAPPA-WAARDE	% VAN AKKURAAATHEID
T 1	0,832	83
T 2	0,8315	83
T 3	0,1675	17
T 4	0,003	0,3
T 5	0,3329	33
T 6	0,4615	46
TOTALE GEBIED	0,331	33

Tabel 5.7 Kappa waardes vir die ses kontrolegebiede asook vir die totale gebied, met die persentasie van akkuraatheid

Die Kappa waarde van T 1 kan vertolk word dat 0,832 beteken dat die klassifikasie 'n akkuraatheid toon wat 83 % beter is as wat verwag sou word van 'n toevallige toekenning van pixels aan die klas bodemdegradasie. Hoe nader die Kappa waarde aan een (1) kom hoe meer effektief en perfek word die klassifikasie en hoe nader is die moontlikheid van toeval aan nul (0).

In Tabel 5.7 kan dus gesien word dat die meerderheid waardes ver bo nul is en die afleiding word dus gemaak dat die akkuraatheid van bodemdegradasie klassifikasie suksesvol was (Campbell, 1987:350). Daar is egter twee waardes naby aan nul naamlik die waardes van T 3 en T 4. Hierdie twee gebiede toon deurgaans swak syfers vir akkuraatheid en sal in paragraaf 5.4 volledig bespreek word.

As verdere toetse vir akkuraatheidsbepaling sal die totale akkuraatheidsvlak, die trefwaarskynlikheidsyfer, die valsalarmerhouding, die uitsluitingsfoute en die kritieke sukses indeks vervolgens bespreek word.

#### 5.3.2.4 Die totale akkuraatheidsvlak

Die totale akkuraatheidsvlak (TAV) van die lokalisering van bodemdegradasie bereken die effektiwiteit waarmee SAT die liggings (liggings van bodemdegradasie en liggings waar geen bodemdegradasie voorkom nie in vergelyking met die kontroledata) kon lokaliseer en word soos volg bereken:

$$TAV = [(a1 + b2) / N] \times 100$$

Die ideale syfer sou 100 % ooreenstemming wees (Congalton *et al.*, 1983:1672).

Uit Tabel 5.8 kan gesien word dat die TAV van die kontrolegebiede almal meer as 51 % is. Aangesien die oppervlakte van die kontrolegebiede verskil word 'n algemene TAV vir die totale studie (waardes verkry uit Tabel 5.2, p. 79) bereken.

Die TAV vir die totale gebied word bereken op 67 %. Dit is egter nie voldoende om die totale akkuraatheidsvlak (TAV) te gebruik as die enigste toets om akkuraatheid van opsporing te bewys nie, aangesien die "persentasie korrek" 'n eensydige vertolking van die totale akkuraatheid van 'n foutmatriks is. Die "persentasie korrek" beskryf slegs een klas of die klas van belang en nie die ander klasse wat nie as degradasie geklassifiseer is nie.

#### 5.3.2.5 Die trefwaarskynlikheid

Die trefwaarskynlikheid (TW) van die lokaliseringmetode bepaal die persentasie gevalle waarmee SAT wel bodemdegradasie gelokaliseer het as verhouding tot die totale aantal liggings wat wel as bodemdegradasie (volgens die kontroledata) geklassifiseer is.

$$TW = (a1 / N1) \times 100$$

Hier word 100 % as die ideaal beskou (Tsonis & Isaac, 1985:1215).

Die TW is deurgaans bo 51 % uitsluitend gebied T 4 wat slegs 'n TW van 33% het. Die TW bereken met die subtotaalsyfers vir die hele gebied is 65 % (volgens Tabel 5.2). 'n Redelike hoë syfer van trefwaarskynlikheid kan dus aanvaar word. Hierdie syfer van trefwaarskynlikheid is egter net betekenisvol indien dit gepaard gaan met 'n lae syfer van valsalarms (Tsonis & Isaac, 1985:1215).

#### 5.3.2.6 Die valsalarmverhouding

Die valsalarmverhouding (VAV) word bereken deur:

$$VAV = (a2 / N1) \times 100$$

Die valsalarmverhouding, ook bekend as insluitingsfoute ("errors of comission") (Aronoff, 1982:1303; Conese & Maselli, 1991:191) beskryf die persentasie gevalle wat deur SAT as bodemdegradasie aangetoon is, maar wat volgens die kontroledata nie as bodemdegradasie

geklassifiseer behoort te wees nie. Die ideale syfer van VAV is 0 % (Tsonis & Isaac, 1985:1215).

Uit Tabel 5.8 kan gesien word dat dié verhouding laag is, behalwe in die geval van kontrolegebiede T 3 en T 4. Die VAV bereken deur die gebruik van die subtotaal in Tabel 5.2 vir die hele studiegebied is 32 %. Wanneer die VAV geïntegreerd beskou word met die TW, kan aanvaar word dat die metode wat vir die studie gevolg is, suksesvol was.

#### 5.3.2.7 Uitsluitingsfoute

Uitsluitingsfoute (UF) ("errors of omission") waar die pixel nie deur die klassifiseerder as degradasie uitgewys is nie, maar wel degradasie is, kan as volg bereken word:

$$(b1 / N1) \times 100$$

Die ideale syfer vir UF is 0 % (Story & Congalton, 1986:397-399; Congalton *et al.*, 1983:1672).

Tabel 5.8 bevat al die berekende waardes vir die kontrolegebiede asook 'n waarde vir die totale gebied (35%). Die uitsluitingsfoute is dus relatief laag, behalwe in gebiede T 3 en T 4.

#### 5.3.2.8 Die kritieke suksesindeks

Die kritieke sukses indeks (KSI) dui op die verhouding wat daar bestaan tussen die maksimale opsporing van degradasie liggings en die aantal valsalarms (Bellon & Austin, 1986:1717). Om die KSI vas te stel (Bellon & Austin, 1986:1717) word die volgende bereken:

$$KSI = [a1 / (N1 + a2)] \times 100$$

Die ideale syfer is 100%.

Die korrek geklassifiseerde degradasie pixels word in verhouding tot die valsalarms (liggings wat geklassifiseer is as degradasie, maar wat nie werklik degradasie is nie) beskou. Dit dui op die ware sukses van die klassifikasie. In hierdie geval is dit, gesien uit Tabel 5.8, altyd hoër as 51 % behalwe in kontrolegebiede T 3 en T 4. Die berekening van 'n KSI vir die totale studie (uit Tabel 5.2) is 52 %. Aan die begin van die studie is verwys na 'n syfer van 51 % as 'n bevredigende syfer vir die lokalisering van bodemdegradasie in die studiegebied. Die syfers van KSI vertoon dus 'n bevredigende resultaat.

Die herhaaldelike swak akkuraatheidsyfers vir gebiede T 3 en T 4 word in paragraaf 5.4 bespreek.

GEBIED	TAV maks 100 %	TW maks 100%	VAV maks 0%	UF maks 0%	KSI maks 100%
T 1	92	88	3	2	86
T 2	85	84	16	16	73
T 3	45	58	45	42	39
T 4	52	33	57	67	23
T 5	69	70	16	30	61
T 6	73	71	17	29	63
TOTALE GEBIED	67	65	32	35	52

Tabel 5.8 Totale akkuraatheidsvlak (TAV), trefwaarskynlikheidsyfer (TW), valsalarmverhouding (VAV), uitsluitingsfoute (UF) en kritieke suksesindeks (KSI) bereken vir die ses toetsgebiede

## **5.4            BESPREEKING VAN DIE RESULTATE**

### **5.4.1           Evaluasie ten opsigte van gebiede T 3 en T 4**

Gebiede T 3 en T 4 vertoon deurgaans swak akkuraatheidsyfers. Hierdie syfers kan aan 'n paar oorsake toegeskryf word. Volgens paragraaf 4.3.3.1 (p.61) kan die oorsaak van swak klassifikasieresultate gevind word in die spektrale variasie van oppervlakverskynsels as gevolg van grondkleur, grondtekstuur, grondtipe, skaduwees en verskynsels naby die bodemdegradasie wat 'n sterker spektrale radiasie het en dan die radiasie van die bodemdegradasie beïnvloed. Die resultate kan ook te wyte wees aan die invloed van degradasielas 1 (Tabel 4.2, p. 62; Tabel 4.3, p. 63; en Figuur 4.4, p.68) wat 'n "vuil" klas vir degradasie blyk te wees. Nog 'n oorsaak vir die swak resultate kan gesoek word in die klassifikasie-algoritme wat nie noodwendig in die spesifieke gebied effektief werk nie en sodoende nog verfyning sal verg.

Vir die doel van hierdie studie is egter selfs dié "swak" syfers bruikbaar, aangesien die studie 'n eerste streekskaal inventaris vir beplanning en verdere plaaslike skaal ondersoek is. Vir die behoefte aan streekskaaldata (wat dus 'n ruimtelike verspreiding van bodemdegradasie moet aantoon) is die resultate van die studie, tesame met 'n algehele akkuraatheidsyfer van meer as 51 %, voldoende.

### **5.4.2           Opsomming van die resultate**

Die resultate sal vervolgens bespreek word aan die hand van 'n kort opsomming van elk van die akkuraatheidtoetse wat vir die studie gedoen is.

#### **5.4.2.1        Liggingspesifieke akkuraatheidsbepaling (LAB)**

LAB is gebaseer op die bepaling van die akkuraatheid van lokalisering van bodemdegradasie gemeet aan spesifieke liggings.

\* Chi-kwadraattoets

Volgens die resultate van die Chi-kwadraattoets word die nulhipotese ( $H_0$ ) in twee (T 3 en T 4) van die ses kontrolegebiede aanvaar, terwyl die alternatiewe hipotese ( $H_1$ ) in die res van die toetsliggings aanvaar word. Die ooreenkoms tussen SAT en kontroledata is dus in 66,6 % van die gevalle nie toevallig nie. Wanneer 'n totale syfer vir Chi-kwadraat bereken word, is die resultaat egter baie positief en kan daar met 99,9 % aanvaar word dat die alternatiewe hipotese vir 'n globale studie sal geld.

\* Gebeurlikheidskoëffisiënt

Die gebeurlikheidskoëffisiënt stel die sterkte van die verband, soos bereken in die Chi-kwadraattoets, vas. Volgens hierdie toets bestaan daar in vier van die gevalle 'n sterk verband ('n waarde van meer as 0,5). Die twee gevalle waar daar nie 'n sterk verband bestaan nie, is kontrolegebiede T 3 en T 4.

\* Kappa-koëffisiënt

Die Kappa-koëffisiënt toon in vier van die gevalle 'n hoë waarde (tot 83 %). Hierdie waarde beteken dat die klassifikasie 'n akkuraatheid toon wat byvoorbeeld 83 % beter is as wat verwag sou word van 'n toevallige ooreenkoms tussen die twee datastelle.

\* Verdere toetse vir akkuraatheid

'n Totale syfer vir die totale akkuraatheidsvlak (TAV) word bereken op 67 %, 65 % as 'n totale syfer vir die trefwaarskynlikheid (TW) en 52 % as 'n totale syfer vir die kritieke sukses indeks (KSI). Daar kan gesien word dat die syfers almal meer as 51 % is, wat as die minimum vir 'n suksesvolle klassifikasie dien.

Die akkuraatheidsanalise toon dat die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal in Lebowa in Noord en Oos Transvaal, suksesvol was. Die klassifikasieproses is dus suksesvol afgehandel en die resultate van die klassifikasie in die gebiede buite die kontrolegebiede behoort dieselfde mate van akkuraatheid in die klassifikasie te behaal. Die minimum graad van akkuraatheid wat vir die studie verlang is, naamlik 51 %, is in feitlik alle gevalle oorskry. In hoofstuk 6 word die resultate van die studie bespreek na aanleiding van die doelwitte wat in hoofstuk 1 gestel is.

# HOOFSTUK 6

## SINTESE

### 6.1 INLEIDING

In hierdie studie word die navorsingsvraag naamlik:

*"Tot watter graad van akkuraatheid kan bodemdegradasie in Lebowa op streekskaal met behulp van satellietafstandwaarnemingstechnologie gelokaliseer word?"*

beantwoord aan die hand van die volgende doelwitte:

- \* 'n oorsigtelike beskrywing van die problematiek van bodemdegradasie;
- \* die bespreking van die relevante satellietafstandwaarnemingstechnologie;
- \* 'n beskrywing van die data-insamelingsproses (bodemdegradasie data) en die verwerking van die satellietdata;
- \* die bepaling van die graad van akkuraatheid van bodemdegradasielokalisering op streekskaal; en
- \* die kwalitatiewe evaluasie van die waarde van satellietafstandwaarnemingstechnologie vir betrekking tot omgewingsbestuur op streekskaal.

Kwalitatiewe evaluering word in hierdie hoofstuk gedoen ten opsigte van die bydrae wat die studie lewer in die verwesenliking van die verskillende studiedoelwitte.

### 6.2 EVALUERING VAN DIE STUDIEDOELWITTE

#### 6.2.1 Problematiek van bodemdegradasie

Bodemdegradasie kan ernstige nadelige gevolge hê indien dit nie gerehabiliteer en bestuur word nie. Yeld (1993:29) het bevind dat die beraamde bodemverlies in Suid-Afrika jaarliks ongeveer 3 ton per hektaar beloop. Hierdie groot hoeveelheid bo-grond wat jaarliks verlore gaan, is 'n

goeie aanduiding van die swak bestuur van die menslike aktiwiteite in die omgewing.

Ten einde bodemdegradasie suksesvol te kan rehabiliteer en bestuur, is dit nodig dat die bodemdegradasie gelokaliseer moet word. Die lokalisering moet eers op streekskaal plaasvind sodat belangrike bestuursbesluite aangaande die rehabilitasie geneem kan word.

## **6.2.2 Relevante satellietafstandwaarnemingstegnologie**

Satellietafstandwaarnemingstegnologie (SAT) is as metode gebruik om bodemdegradasie te lokaliseer. Die voordele van SAT vir die waarneming en bestuur van die hulpbronne op aarde, het reeds aangetoon dat dit groot voordele inhou deur onder andere 'n sinoptiese beeld van die gebied te verskaf (met gedetailleerde data) wat op verskeie skale vir die monitering van 'n gebied aangewend kan word.

Die satellietdata wat in hierdie studie gebruik is, is afkomstig van Landsat 5 TK. Die verwerkte (growwe) resolusie van die satellietdata voldoen aan die behoefte vir die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal.

## **6.2.3 Beskrywing van die lokaliseringstegniek**

Die lokaliseringstegniek word beskryf na aanleiding van die volgende drie afdelings:

### **6.2.3.1 Data-insameling**

Data wat benodig is om hierdie studie te kon uitvoer, is satellietdata en kontroledata. Daar is vier wolklose Landsatbeelde van die gebied verkry. Kontroledata is verkry deur veldwerk asook deur die bestudering van kaarte.

### **6.2.3.2 Verwerking van satellietdata**

'n IBM 7350 rekenaarondersteunde beeldverwerker is gebruik om met behulp van HLIPS as

beeldverwerkingsprogram, die satellietdata te verwerk.

Die streekskaalbehoefte vir 'n inventaris van bodemdegradasie gee aanleiding tot die onttrekking van subtonele van elke tweede lyn en tweede pixel. Hierdie growwer resolusie van satellietdata veroorsaak dat die beeldverwerkingsproses in 'n kwart van die tyd, as wat nodig sou wees vir die verwerking van subtonele van elke lyn en elke pixel, voltooi kan word. Die resolusie van dié "growwer" satellietdata is voldoende vir die lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal.

Die klassifiseringsproses is voltooi deur die klassifikasie-algoritme toe te pas op die 20 subtonele wat vanuit die satellietdata vir die gebied onttrek is.

Die resultate van die klassifikasieproses is geïnterpreteer en word vervolgens uiteengesit. Die hele gebied is in vier kategorieë van voorkoms ten opsigte van bodemdegradasie verdeel. Hierdie kategorieë toon die digtheid van die ruimtelike verspreiding van bodemdegradasie in die studiegebied aan.

Die vier kategorieë is:

- Klas 0: Daar is 'n 0 - 9% voorkoms van degradasie in die gebied.
- Klas 1: 10 % - 40 % van die gebied is gedegradeer, in 'n ongelyke verspreidingspatroon.
- Klas 2: 41 % - 70 % van die gebied is gedegradeer. Die bodemdegradasie kom meer aaneenlopend voor.
- Klas 3: Meer as 70 % van die gebied is gedegradeer en die degradasie kom aaneenlopend-verspreid voor.

Die finale uitset is 'n kaart waarop die liggings van hierdie vier kategorieë van bodemdegradasie in Lebowa aangetoon is. Die produk is dus 'n inventaris van die voorkoms van

bodemdegradasie in die studiegebied en nie 'n inventaris van die verskillende tipes bodemdegradasie wat daar gevind kan word nie.

### 6.2.3.3 Akkuraatheidsbepaling

Die statistiese verifiëring van die klassifikasie resultate het aangetoon dat die resultate oor die algemeen op 'n positiewe verband tussen die satellietafgeleide data en die kontroledata wys. Die minimum syfer wat vir suksesvolle akkuraatheid in dié studie verlang is, is 51 %. Die resultate van die verskillende toetse sal vervolgens kortliks aangetoon word.

#### \* Die Chi-kwadraattoets

In vier van die ses kontrolegebiede word daar 'n definitiewe verband tussen die satellietafgeleide data en die kontroledata aangetoon. Twee van die kontrolegebiede, gebiede T 3 en T 4, toon egter swakker resultate. Hierdie swakker resultate kan toegeskryf word aan die volgende oorsake:

- Spektrale variasie van oppervlakverskynsels as gevolg van grondkleur, -tekstuur en -tipe asook aan skaduwee en verskynsels naby die degradasieligging wat sterker uitstraal en sodoende die dominante radiasie vir die pixel vorm.
- Degradasielas 1 vertoon nie baie homogeen volgens die statistiek nie, maar vertoon wel homogeen op die satellietbeeld.
- Verdere verfyning van die klassifikasie-algoritme in dié spesifieke gebiede kan nodig wees.

'n Berekening van Chi-kwadraat vir die totale gebied toon ook 'n sterk verband tussen die satellietafgeleide data en die kontroledata aan.

\* Die gebeurlikheidskoëffisiënt

Volgens die gebeurlikheidskoëffisiënt word die sterkte van die verband, soos dit met die Chi-kwadraattoets bereken is, ook in vier van die ses kontrolegebiede as sterk aangetoon. Die twee gebiede waarin die resultate weer eens swak vertoon in gebiede T 3 en T 4. Die redes hiervoor bly deurgaans soos in die vorige paragraaf aangetoon.

\* Die Kappa-koëffisiënt

Die Kappa-koëffisiënt toon hoë waardes van akkuraatheid in die ses kontrolegebiede, uitsluitend T 3 en T 4.

\* Verdere toetse vir akkuraatheid

'n Totale syfer vir die totale akkuraatheidvlak (TAV) is bereken op 67 %, die trefwaarskynlikheidsyfer as 65 % en die kritieke sukses indeks as 52 %.

Ondanks die swakker resultate van die individuele kontrolegebiede T 3 en T 4, is daar dus (oor die totale gebied, soos bewys deur subtotaal verwerkings) aan die minimum vereiste van 51 % voldoen.

Dit word egter wel aanbeveel dat die metode van klassifikasie wat vir hierdie studie gevolg is, met 'n opvolgstudie verfyn kan word, totdat die resultate van klassifikasie 'n nog beter verband tussen die satellietdata en die kontroledata toon.

#### **6.2.4 Waarde van satellietafstandwaarnemingstechnologie met betrekking tot omgewingsbestuur op streekskaal**

Omgewingsbestuursbeplanning, wat vanuit 'n streekskaal plaasvind, benodig data op hierdie skaal. Moderne tegnologie in die vorm van afstandwaarneming kan aangewend word om sodanige data in te samel.

In hierdie studie is satellietafstandwaarnemingstegnologie (SAT) gebruik as metode vir die insameling van bodemdegradasiedata op streekskaal. Bestuursbeplanning kan op hierdie skaal die prioriteitsgebiede vir rehabilitasie aandui. Hierdie data kan ook aangewend word vir die toekomstige bestuursbeplanning van die gebied. Verdere voordele vir die gebruik van SAT sluit die volgende in:

- \* die herhaalbare gebruik van data,
- \* die aanwending van data vir moniteringsdoeleindes,
- \* die dekking van uitgestrekte oppervlaktes en
- \* die besparing van data-insamelingskoste en tyd in vergelyking met konvensionele insamelingsmetodes soos veldbesoeke per voet, met behulp van vliegtuie, helikopters en ander voertuie.

### **6.3 AANBEVELINGS**

Bodembewaring dra by tot die handhawing van 'n volhoubare omgewing wat bepalend is vir die voortbestaan van die mens. Die lokalisering van bodemdegradasie met behulp van satellietafstandwaarnemingstegnologie in die eertydse Lebowa kan verder verfyn word, sodat beter akkuraatheidsyfers behaal kan word. Die sukses van hierdie studie kan verder as aansporing dien om die totale oppervlakte van Suid-Afrika in 'n soortgelyke studie te ondersoek. Die bodemdegradasiedata kan ook in 'n alfa-numeriese databasis soos 'n GIS (Geografiese Inligtingstelsel) aangewend word, om as data te gebruik in die bestuur van die bodem op streeks- en nasionale vlak.

### **6.4 SLOT**

SAT kan 'n belangrike skakel tussen die dissiplines van Geografie en Omgewingsbestuur vorm en kan 'n interafhanklike verhouding tussen die twee dissiplines skep.

Die suksesvolle lokalisering van bodemdegradasie op streekskaal met behulp van

satellietafstandwaarnemingstechnologie lewer 'n belangrike bydrae tot die insameling van data vir suksesvolle omgewingsbestuursbeplanning. Die waarde van streekskaaldata vir omgewingsbestuursbeplanning, maak satellietafstandwaarnemingstechnologie 'n belangrike tegniek van data-insameling vir die toekoms.

## BRONNELYS

ALLAN, T.D. 1983. Oceanography from space. (In Cracknell, A.P. ed. Remote sensing applications in marine science and technology. Boston: D Reidel. p. 409-433)

ALONSO, F.G., SORIA, S.L. & GOZALO, J.M.C. 1991. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using landsat TM images and ground-gathered data. *Remote sensing of the environment*, 35:29-35.

ANDERSON, D.G. 1981. Roles of satellites in hydrology. (In Deutsch, M., Wiesnet, D.R. & Rango, A. eds. Satellite hydrology. Minneapolis, Minnesota: American Water Resources Association. p. 144-155)

ANON. 1990. Soil conservation planning (In SUID-AFRIKA. Department of Agricultural Development. 1990. Soil conservation planning: chapter 7. (National soil conservation manual.) Pretoria: Staatsdrukker.)

ARONOFF, S. 1982. Classification accuracy: a user approach. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 48(8):1299-1307. Aug.

BARNES, R.C. 1973. Erosion control structures. (In Soil erosion: causes and mechanisms; prevention and control. Proceedings of a conference workshop held on 26 January 1973, Washington DC. Special report 135 (Highway Research Board). p 94- 98.)

BARRETT, E.C. & CURTIS, L.F. 1978. Introduction to environmental remote sensing. London: Chapman & Hall.

BERRY, B.J.L. & BAKER, A.M. 1968. Geographic sampling. (In Berry, B.J.L. & Marble, D.F., eds. Spatial analysis :a reader in statistical geography. New Jersey: Prentice-Hall.)

- BELLON, A. & AUSTIN, G.L.** 1986. On the relative accuracy of satellite and raingage rainfall measurements over middle latitudes during daylight hours. *Journal of climate and applied meteorology*, 25:1712-1724.
- BHATTI, A.U., MULLA, D.J. & FRAZIER, B.E.** 1991. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatics and thematic mapper images. *Remote sensing of the environment*, 27:181-191.
- BURGER, J.C.** 1990. Die plek en rol van die reg. Potchefstroom: PU vir CHO.
- BYRNE, G.F., CRAPPER, P.I. & MAYO, K.K.** 1980. Monitoring landcover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. *Remote sensing of the environment*, 10:175-184.
- CAMPBELL, J.B.** 1987. Introduction to remote sensing. New York: Guilford Press.
- CARLESON, T.N., DODD, J.K., BENJAMIN, S.G. & COPPER, J.N.** 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. *Journal of applied meteorology*, 20:67-87.
- CHITTENDEN, D.B.** 1973. Prevention and control of soil erosion: the state. (In Soil erosion: causes and mechanisms; prevention and control. Proceedings of a conference workshop held 26 January 1973, Washington DC. Special report 135 (Highway Research Board). p 94-98.)
- CLARK, A.N.** 1985. Longman dictionary of geography: human and physical. Great Brittan: Longman.

CLAYTON, K. 1995. The land from space. (In O'Riordan, T. ed. Environmental science for environmental management. Harlow: Longman. p. 199-221)

COCHRAN, D.R. & PYLE, R.L. 1983. Volcanology via satellite. *Monthly weather review*, 106: 1373-1375.

COLWELL, R.N., ed 1983. Manual of remote sensing. 2nd ed, Vol. 1. Virginia: American Society.

CONESE, C. & MASELLI, F. 1991. Use of multitemporal information to improve classification performance of TM scenes in complex terrain. *Journal of photogrammetry and remote sensing*, 46:187-197.

CONGALTON, R.G. & BIGING, G.S. 1992. A pilot study evaluating ground reference data collection efforts for use in forest inventory. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 58(12):1669-1671, Dec.

CONGALTON, R.G. & MEAD, R.A. 1983. A quantitative method to test for consistency and correctness in photo-interpretation. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 49(1):69-74, Jan.

CONGALTON, R.G. & GREEN, K. 1993. A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 59(5):641-644. May.

CONGALTON, R.G., ODERWALD, R.G. & MEAD, R.A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 49(12):1671-1678. Dec.

COOK, R.L. 1962. Soil management for conservation and production. London: Wiley.

- COUILLARD, D.** 1986. Water monitoring networks in cold climate areas. *Journal of environmental systems*, 15(4):327-341.
- CUFF, J & RUDDY, G.** 1994. SEA - evaluating the policies EIA cannot reach. *Town & country planning*, 63(2):42-45.
- CURRAN, P.J.** 1980. Multispectral remote sensing of vegetation amount. *Progress in physical geography*, 4:315-341.
- CURRAN, P.J.** 1986. Principles of remote sensing. New York: Longman.
- CUTTER, S.L., RENWICK, H.L. & RENWICK, W.H.** 1991. Exploitation conservation preservation: a Geographic perspective on natural resource use. New York: Wiley.
- DEVELOPMENT BANK OF SOUTH AFRICA.** 1986. Lebowa: introductory economic and social memorandum. Sandton: Data Bank and Information Services.
- DU TOIT, J.M.** 1975. Statistiese oefeninge en tabelle. Stellenbosch: Kosmo.
- EDGMON, T.D.** 1979. Areawide environmental management or the myth of the region? : Implementing 208. *The environmental professional*, 1: 199-205.
- FRANKLIN, J.** 1991. Landcover stratification using landsat thematic mapper data in Sahelian and Sudanian woodland and wooded grassland. *Journal of arid environments*, 20:141-163.
- ESCAFADAL, R.** 1989. Remote sensing of arid soil surface colour with landsat thematic mapper. (In Salomonson, V.V., Walter, L.S., Mätzler, C. & Rott, H. eds. Advances in space research: remote sensing of the earth's surface: 1988 Proceedings of symposium 2, the topical meeting of the COSPAR interdisciplinary scientific commission A (meeting A3) and

workshop 1 of the COSPAR twenty-seventh plenary meeting held in Espoo, Finland.  
Oxford: Pergamon. p.159-163.)

**FRAZIER, B.E.** 1989. Use of landsat thematic mapper band ratios for soil investigation. (In Salomonson, V.V., Walter, L.S., Mätzler, C. & Rott, H. *eds.* Advances in space research: remote sensing of the earth's surface: 1988 Proceedings of symposium 2, the topical meeting of the COSPAR interdisciplinary scientific commission A (meeting A3) and workshop 1 of the COSPAR twenty-seventh plenary meeting held in Espoo, Finland. Oxford: Pergamon. p.155-158.)

**GHATTO, L.W.** 1990. Monitoring river ice with landsat images. *Remote sensing of the environment*, 32:1-16.

**GLASSON, J.** 1994. EIA - only the tip of the iceberg?. *Town & country planning*, 63(2): 42-44.

**GREYVENSTEIN, F.S. & DE VILLIERS, C.P.M.** 1975a. Fluitjiesriet as herwinningsgewas (In SUID-AFRIKA. *Boerdery in Suid-Afrika*, no E1. Pretoria: Staatsdrukker.)

**GREYVENSTEIN, F.S. & DE VILLIERS, C.P.M.** 1975b. Spaansriet as herwinningsgewas. (In SUID-AFRIKA. *Boerdery in Suid-Afrika*, no E2. Pretoria: Staatsdrukker.)

**GREYVENSTEIN, F.S. & DE VILLIERS, C.P.M.** 1978. Bekamp donga-erosie met paalkruise. (In SUID-AFRIKA. *Boerdery in Suid-Afrika*, no E3. Pretoria: Staatsdrukker.)

**GROVÉ, M.J. & MEINTJIES, C.J.**

kyk

**DEVELOPMENT BANK OF SOUTH AFRICA**

**HARTMAN, J.P., WANIELISTA, M.P. & BARAGONA, G.T.** 1976. Prediction of soil loss in nonpoint source pollution studies. (In Soil Conservation Society of America. The proceedings of a national conference on soil erosion: May 24-26 1976: Purdue University, West Lafayette, Indiana. p. 264-272.)

**HEDLUND, J.D.** 1976. Erosion, sediment and related salt problems and treatment - opportunities in western states. (In Soil Conservation Society of America. The proceedings of a national conference on soil erosion: May 24-26,1976: Purdue University, West Lafayette, Indiana. p. 264-272.)

**HUBER, H.H.** 1973. Penndot's response to erosion control. (In Soil erosion: causes and mechanisms; prevention and control. Proceedings of a conference workshop held 26 January 1973, Washington DC. Special report 135 (Highway Research Board). p 123-128.)

**HUDSON, W.D. & RAMM, C.W.** 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 53(4):421-422. Apr.

**IISAKA, J. & HEGEDUS, E.** 1982. Population estimation from Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 12:259-272.

**JAIN, R.K., URBAN, L.V. & STACEY, G.S.** 1981. Environmental impact analysis: a new dimension in decision making. New York: Van Nostrand Reinhold.

**JANSSEN, L.L.F. & VAN DER WEL, F.J.M.** 1994. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 60(4):419-426, Apr.

**JENSEN, J.R.** 1986. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. London: Prentice-Hall.

**KINNELL, P.A.I.** 1990. Modelling erosion by rain-impacted flow. (In Bryan, R.B., red. Soil erosion - experiments and models. Cremlingen-Destedt: Catena. p. 41-54.)

**LANGBEIN, W.B. & SCHUMM, S.A.** 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Trans American geophysical*, 39:1076-1084.

**LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W.** 1987. Remote sensing and image interpretation. 2nd ed.

**LO, C.P.** 1986. Applied remote sensing. New York: Longman.

**MANNION, A.M.** 1991. Global environmental change: a natural and cultural environmental history. Harlow: Longman.

**MASELLI, F., CONESE, C., ZIPOLI, G. & PITTAU, M.A.** 1990. Use of error probabilities to improve area estimates based on maximum likelihood classifications. *Remote sensing of environment*, 31:155-160.

**MOORE, W.G.** 1981. The penguin dictionary of Geography. New York: Penguin.

**MORGAN, R.P.C.** 1979. Soil erosion. London: Longman.

**MORGAN, R.P.C.** 1986. Soil erosion and conservation. New York: Wiley.

**NEWTON, A.R. & BOYLE, T.P.** 1991. Discriminating rock and surface types with multispectral satellite data in the Richtersveld, NW Cape Province, South Africa. (In EDIS/SAGIS '91, Conference. Pretoria. p1-21.)

**ODENDAAL, F.F.** , red. 1988. 2de uitg. Verklarende handwoordeboek van die Afrikaanse taal. Johannesburg: Perskor.

**PALACIO-PRIETO, J.L. & LOPEZ-BLANCO, J.** 1994. Using video imagery for gully erosion evaluation. *Zeitschrift für geomorphologie*, N.F. Bd. 38, Heft 1:33-43.

**PICKUP, G. & CHEWINGS, V.H.** 1986. Mapping and forecasting soil erosion patterns from Landsat on a microcomputer-based image processing facility. *Australian rangeland journal*. 8(1): 57-62.

**PRINSLOO, H.B.** 1992. Die gebruik van afstandwaarneming vir die opsporing en kartering van asbesmynhope en besoedeling. Potchefstroom: PU vir CHO. (Verhandeling - MA.) 89 p.

**PRICE, K.P.** 1993. Detection of soil erosion within Pinyon-Juniper woodlands using thematic mapper (TM) data. *Remote sensing of the environment*, 45:233-248.

**POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT VIR CHRISTELIKE HOËR ONDERWYS.** 1989. Inleidende statistiek vol 2. Potchefstroom: Wesvalia.

**RABIE, A.** 1990. A new deal for environmental conservation: aspects of the Environmental Conservation Act 73 of 1989. *Tydskrif vir hedendaagse Romeins-Hollandse reg*, 53(1):2-13.

**RAINA, P., JOSHI, D.C. & KOLARKAR, A.S.** 1991. Land degradation mapping by remote sensing in the arid region of India. *Soil use and management*, 7(1):47-52.

**RANDALL, L.** 1991. SPOT the donga. (In EDIS/SAGIS '91, Conference. Pretoria. p1-11.)

**SABINS, F.F.** 1978. Remote sensing: Principles and interpretation. San Francisco: Freeman.

**SANDHAM, L.A.** 1984. Landsat ondersteunde oesskatting as beplanningshulpmiddel vir uitbreidings aan 'n graansilonetwerk in Suidoos-Transvaal. Johannesburg. 68 p. (verhandeling (M.Sc.) - RAU.)

**SCHOWENGERDT, R.A.** 1983. Techniques for image processeing and classification in remote sensing. New York: Academic Press.

**SIEGEL, S.** 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. Tokyo: McGraw-Hill.

**SMITH, M.O., USTIN, S.L., ADAMS, J.B. & GILLESPIE, A.R.** 1990. Vegetation in deserts: 1. a regional measure of abundance from multispectral images. *Remote sensing of the environment*, 31:1-26.

**STORY, M. & CONGALTON, R.G.** 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(3): 397-399, Mar.

**SUID-AFRIKA.** 1944. Landbankwet no. 13 van 1944. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1956. Waterwet no. 50 van 1956. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1970. Wet op Bergopvanggebiede no. 63 van 1970. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1971. Wet op Nasionale Paaie no. 54 van 1971. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1984a. Boswet no. 122 van 1984. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1984b. Departement van Landbou. A primer on soil conservation. Bulletin no 399. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1991a. Mineralewet no. 52 van 1991. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKA.** 1991b. Wet op Bewaring van Landbouhulpbronne no. 43 van 1991. Pretoria: Staatsdrukker.

**SUID-AFRIKAANSE ONTWIKKELINGSTRUST KORPORASIE.** 1993. Occurrence of soil degradation in Lebowa. Verslag. Pretoria: The agricultural division of the South African Trust Corporation Limited.

**THERIVEL, R., WILSON, E., THOMPSON, S., HEANEY, D. & PRITCHARD, D.** 1992. Strategic environmental management. Londen: Earthscan.

**THORNES, J.B. & BRUNSDEN, D.** 1977. Geomorphology and time. Cambridge: Methuen.

**TSONIS, A.A. & ISAAC, G.A.** 1985. On a new approach for instantaneous rain area delineation in the midlatitudes using GOES data. *Journal of climate and applied meteorology*, 24:1208-1218, Nov.

**VAN RENSBURG, P.A.J.** 1979. 'n Gevallestudie met versyferde multispektrale LANDSAT-data. *S.A. Geograaf*, 7(2):117-125, Sept.

**VILJOEN, L. & SMALBERGER, L.J.B.** 1974. Herwinning van kaal kolle en yl bedekte veld deur progressiewe bewerkingsmetodes. (In **SUID-AFRIKA. Boerdery in Suid Afrika**, 8(bladskrif no 108) Pretoria: Staatsdrukker.)

**VON HARMSE, H.J., VAN DER WATT, H.V., VAN ROOYEN, T.H. & BURGER, R.D.U.T.** 1984. Glossary of soil science terms. Pretoria: V & R Printingworks.

**WETTE**

kyk

**SUID-AFRIKA**

**WISE, M.J.** 1985. The future of geography. (*In King, R., red. Geographical futures. Sheffield: Geographical association. p 5-11.*)

**WHITE, K.** 1990. Remote sensing. *Progress in physical geography*, 16(1):90-96.

**YELD, J.** 1993. Caring for the earth: South Africa, a strategy for sustainable living. Stellenbosch: S.A. Nature Foundation.

**YOUNG, R.A., RÖMKENS, M.J.M. & McCOOL, D.K.** 1990. Temporal variations in soil erodibility. (*In Bryan, R.B., red. Soil erosion - experiments and models. Cremlingen-Destedt: Catena. p. 41-54.*)

**ZACHAR, D.** 1982. Soil erosion. Amsterdam: Elsevier.

## BYLAE

### LYS VAN TOPOGRAFIESE KAARTE GEBRUIK

#### KAARTE 1:50 000

2228DB	-	GREGORY
2228DC	-	WATERPOORT
2228DD	-	RADITSHABA
2229CC	-	SKEENSHOEK
2327BB	-	TOM BURKE
2327BD	-	KROMHOEK
2328AA	-	MARNITZ
2328AC	-	ABBOTTSPOORT
2328AD	-	BALTIMORE
2328BA	-	TOLWE
2328BB	-	ADDNEY
2328BC	-	STEILLOOPBRUG
2328BD	-	TREVES
2328CA	-	VILLA NORA
2328CB	-	MARKEN
2328DA	-	SKRIKFORTEIN
2328DB	-	GILEAD
2328DC	-	SUSWE
2328DD	-	LIMBURG
2329AA	-	BLOUBERG
2329AC	-	BOCHUM
2329AD	-	DENDRON
2329BC	-	LEGKRAAL

2329BD	-	BANDELIERKOP
2329CA	-	LONSDALE
2329CB	-	KALKBANK
2329CC	-	GA-MASHASHANE
2329CD	-	PIETERSBURG
2329DA	-	BOSBULT
2329DB	-	MUNNIK
2329DC	-	MANKWENG
2329DD	-	HAENERTSBURG
2330AC	-	DONINGBOOM
2330AD	-	HILDRETH RIDGE
2330BD	-	NSAMA
2330CA	-	DUIWELSKLOOF
2330CB	-	GA-MODJADJI
2330CC	-	TZANEEN
2330CD	-	LESITELE
2330DA	-	LA COTTE
2330DB	-	KA-MAKHUVA
2330DC	-	GRAVELOTTE
2330DD	-	MULATI
2331CC	-	MASORINI
2428BA	-	STERKRIVIER
2428BB	-	TINMYNE
2429AA	-	POTGIETERSRUS
2429AB	-	NUWE SMITSDORP
2429AD	-	ZEBEDIELA
2429BA	-	GA-MAJA
2429BB	-	BEWAARKLOOF
2429BC	-	LEBOWAKGOMO

2429BD	-	GA-MANKOPANE
2429CB	-	GA-MOLAPO
2429CD	-	MARBLE-HALL
2429DA	-	GA-MASEMOLA
2429DC	-	PHOKWANE
2430AA	-	THE DOWNS
2430AB	-	OFCOLACO
2430AC	-	MECKLENBURG
2430AD	-	PENGE
2430BA	-	SELATIRIVIER
2430BB	-	MICA
2430BC	-	STRIJDOMTONNEL
2430BD	-	HOEDSPRUIT
2430CA	-	STEELPOORT
2430CB	-	BURGERSFORT
2430CC	-	KENNEDY'S VALE
2430DA	-	MOGABA
2430DB	-	BOURKE'S LUCK
2430DD	-	GRASKOP
2431CA	-	ACORNHOEK
2431CC	-	BOSBOKRAND
2431CD	-	NEWINGTON
2529AB	-	GROBLERSDAL
2529BA	-	MPUDULLE
2529BB	-	ROOSSENEKAL
2531AA	-	KIEPERSOL