

**`n MORFOMETRIESE ONDERSOEK NA LANDSKAPONTWIKKELING  
IN DIE SENTRAAL-VRYSTAAT.**

**`n Toepassing met behulp van `n Geografiese Inligtingstelsel**

Charles Henry Barker

Pr. Sci. Nat., MSc (PU vir CHO), DTO (UOVS)

Hierdie proefskrif word voorgelê om te voldoen aan die vereistes vir die graad  
*Philosophiae Doctor* in die Fakulteit Natuur- en Landbouwetenskappe,  
Departement Geografie aan die Universiteit van die Vrystaat.

Julie 2002

Promotor: Prof. G. du T. de Villiers

Opgedra aan Elma

## Ontkenning

Die gebruik van enige produknaam in hierdie studie impliseer nie noodwendig die geskiktheid van die betrokke produk met uitsluiting van ander produkte nie. Handelsmerke en produkname word gebruik met die oog op feitelike akkuraatheid.

## Erkenning

*ArcView GIS*, *3D Analyst* en *Spatial Analyst* is geregistreerde handelsmerke van Environmental Systems Research Institute, Redlands; California.

*Image Analysis* is 'n geregistreerde handelsmerk van Environmental Systems Research Institute, Redlands; California en van ERDAS Inc. Atlanta; Georgia.

*dBase III* en *dBase IV* is geregistreerde handelsmerke van Borland Development Corporation.

*Excel* is 'n geregistreerde handelsmerk van die Microsoft Corporation, Redmond; Washington.

*CSS-Statistica* is 'n geregistreerde handelsmerk van StatSoft Inc. Tulsa, Oklahoma.

*CrimeStat* is die intellektuele eiendom van Ned Levine and Associates; Annandale, Virginia en word deur kopiereg beskerm.

Die skrywer aanvaar dat die verskillende derdepartyroetines wat in die studie gebruik is, die tersaaklike verwerkings korrek gedoen het en plaas geen blaam op ESRI of derdepartyontwikkelaars indien dit nie die geval was nie. Die skrywer erken steeds die eienaarskap van die oorspronklike ontwikkelaar in die gevalle waar van die roetines aangepas is.

## Inhoudsopgawe

Opsomming.....	xii
Abstract.....	xiv
Voorwoord.....	xv
HOOFTUK 1 Inleidend .....	1
1.1 Inleidend.....	1
1.2 Motivering.....	1
1.2.1 Wetenskapsfilosofie .....	1
1.2.2 Toegepaste navorsing .....	3
1.2.3 Metodologies.....	4
1.3 Probleemformulering.....	4
1.3.1 Vraagstukke .....	4
1.3.2 Probleemstelling .....	5
1.4 Hipotese .....	6
1.5 Navorsingsprosedure .....	6
1.5.1 Navorsingstrategie .....	7
1.5.2 Navorsingsmetodologie.....	8
1.6 Navorsingsmetodes .....	9
1.6.1 Morfometrie .....	9
1.6.2 Prosesse .....	10
1.6.3 Kartering .....	10
1.6.4 Modellerings .....	10
1.7 Doelstellings vir die studie.....	10
1.8 Perspektief .....	11
1.9 Die studiegebied .....	12
1.10 Slotopmerking .....	12
HOOFTUK 2 Die Modderrivieropvanggebied .....	13
2.1 Inleidend.....	13

2.2	Ligging.....	13
2.3	Dreineringsring.....	15
2.4	Reliëf.....	20
2.5	Die ontwikkeling van die makrolandskap in Suider-Afrika.....	22
2.5.1	Geologiese agtergrond .....	22
2.5.2	Geologiese struktuur .....	23
2.5.3	Geomorfologiese agtergrond .....	25
2.5.4	Die ontwikkeling van die Oranjerivier-dreineringsbekken .....	27
2.6	Geologie.....	32
2.6.1	Stratigrafie en litologie .....	32
2.7	Grond .....	40
2.7.1	Die Suid-Afrikaanse grondklassifikasiesistelsel.....	40
2.7.2	Grondgroepe.....	40
2.7.3	Pedologiese klasse .....	41
2.7.4	Landtipes in die Modderrivieropvanggebied .....	44
2.8	Plantegroei.....	46
2.8.1	Beskrywing van plantegroeitipes.....	46
2.8.2	Biome en plantgemeenskappe in die Modderrivieropvanggebied .....	46
2.9	Klimaat .....	55
2.10	Grondgebruik en infrastruktuur .....	58
2.10.1	Grondgebruik .....	58
2.10.2	Infrastruktuur.....	58
HOOFSTUK 3 Landskapontwikkeling en bekkenmorfometrie .....		63
3.1	Inleidend.....	63
3.2	Landskapontwikkeling .....	63
3.2.1	Die oorsprong en doel van landskapontwikkelingstudies.....	63
3.2.2	Beginsels van landskapontwikkeling.....	64
3.2.3	Landskapontwikkeling in perspektief vir die studie .....	67
3.3	Proses .....	67
3.3.1	Prosesmodelle .....	68
3.3.2	Erosiemodelle .....	71
3.4	Dreineringsbekkenmorfometrie .....	81

3.4.1	Bekkenparameters (Bb) .....	83
3.4.2	Stroomparameters (Bs).....	84
3.4.3	Bekkenvormparameters (Bv) .....	85
3.4.4	Erosieparameters (P1).....	86
3.4.5	Vervoerparameters (P2).....	86
3.5	Slotopmerkings .....	88
HOOFSTUK 4 Metodologiese agtergrond .....		89
4.1	Inleidend.....	89
4.2	GIS as `n geografiese hulpmiddel.....	90
4.2.1	Die aard van GIS.....	90
4.2.2	Definisie .....	90
4.2.3	GIS in geomorfologie .....	92
4.3	Data en data-analise in `n geografiese inligtingstelsel.....	93
4.3.1	Ligging .....	93
4.3.2	Verskynsels.....	94
4.3.3	Datakwaliteit.....	95
4.3.4	Tyd-ruimtelike analise met GIS .....	96
4.4	GIS en kartografie .....	98
4.5	Stelselontwerp.....	99
4.5.1	Sagteware.....	99
4.5.2	Datastrukture en ruimtelike datamodelle.....	100
4.5.3	ArcView se programstruktuur.....	106
4.6	Digitale terreinmodelle en interpolasie .....	108
4.6.1	Digitale terreinmodelle .....	108
4.6.2	Databronne vir digitale terreinmodelle .....	109
4.6.3	Konstruksiemetodes vir digitale terreinmodelle.....	113
4.6.4	Interpolasie .....	116
4.7	Data vir die Modderrivieropvanggebied .....	122
4.7.1	Databronne .....	122
4.7.2	Redigering van data .....	124
4.7.3	Kaartprojeksies .....	126
4.7.4	Sagte- en hardeware vir hierdie studie .....	126
4.8	Slotopmerking .....	126

HOOFSUK 5	DTM-konstruksie en parameteronttrekking.....	127
5.1	Inleidend.....	127
5.2	DTM-konstruksie .....	127
5.2.1	Voorafverwerking .....	127
5.2.2	Ruitgrootte .....	128
5.2.3	Evaluering van interpolasietegnieke .....	130
5.2.4	Konstruksie van die primêre DTM.....	134
5.2.5	Konstruksie van die sekondêre DTM .....	138
5.2.6	Afbakening van vloeylyne en dreineringsbekkens .....	144
5.3	Onttrekking van bekkenparameters .....	157
5.3.1	Vektorgebaseerde parameters.....	157
5.3.2	Rastergebaseerde parameters .....	158
5.4	Slotopmerking .....	159
HOOFSUK 6	Data-analise en resultate .....	160
6.1	Inleidend.....	160
6.2	Data-analise en resultate .....	161
6.2.1	Faktoranalise .....	161
6.2.2	Trosanalise .....	163
6.2.3	Ruimtelike statistiese analise .....	169
6.3	Verwantskappe tussen parameters.....	170
6.4	’n Ontwikkelingsmodel vir die Modderrivieropvanggebied.....	173
6.4.1	Statistiese verwantskappe .....	173
6.5	Slotopmerking .....	178
HOOFSUK 7	Samevatting en gevolgtrekking.....	182
7.1	Inleidend.....	182
7.2	Resultate .....	182
7.3	Betekenis van die studie .....	183
7.3.1	Geomorfologiese prosesse, bewaring en bestuur.....	184
7.3.2	Geomorfologiese kartering.....	184
7.3.3	Metodologie .....	184
7.4	Doelstellings van die studie.....	184
7.4.1	Die verband tussen die landskap en proses .....	185

7.4.2	Geografiese inligtingstechnologie .....	185
7.5	Verifiëring van die hipotese .....	185
7.6	Verdere navorsing .....	186
	Bronnelys .....	187
	Bylae .....	211
	Bylae A Grondvorms .....	212
	Bylae B Tweede-orde bekkenparameters.....	214
	Bylae C Metadata .....	229
	Bylae D Kaarte soos vir die studie gebruik .....	232

## Lys van Figure

Figuur 1.1 `n Navorsingsmetodologie vir die studie .....	9
Figuur 1.2 `n Perspektief op die studie .....	11
Figuur 2.1 Ligging van die Modderrivieropvanggebied .....	14
Figuur 2.2 Kwaternêre opvanggebiede in die Modderrivierdreineringsbekken .....	15
Figuur 2.3 Die ligging van vyfde-ordestrome in die Modderrivieropvanggebied .....	16
Figuur 2.4 Die verspreiding van panne en strome .....	17
Figuur 2.5 Die verspreiding van damme in die studiegebied .....	18
Figuur 2.6 Endoreïese en eksoreïese dreinerings .....	19
Figuur 2.7 Uittreksels uit die digitale terreinmodel van die studiegebied .....	21
Figuur 2.8 Epeïrogeniese asse en primêre dreineringsbekkens in Suider-Afrika .....	25
Figuur 2.9 Die dreineringsstelsels van Suid-Afrika .....	28
Figuur 2.10 Die moontlike ontwikkeling van die Modderrivier gedurende die Mioseen-Plioseen.....	31
Figuur 2.11a Stratigrafie van die Modderrivieropvanggebied.....	38
Figuur 2.11b Litologie van die Modderrivieropvanggebied.....	39
Figuur 2.12 Kaarteenhede vir landtipes .....	45
Figuur 2.13 Plantegroei .....	54
Figuur 2.14 Gemiddelde temperatuur en reënval.....	56
Figuur 2.15 Grondgebruik .....	60
Figuur 2.16 Infrastruktuur in die Modderrivieropvanggebied.....	62
Figuur 3.1 Reënvalintensiteit.....	73
Figuur 4.1 Komponente van `n geografiese inligtingstelsel. ....	92
Figuur 4.2 `n Skematiese voorstelling van ruimtelike analitiese funksies .....	97
Figuur 4.3 `n Konseptuele model van die Modderrivieropvanggebied .....	101
Figuur 4.4 ArcView se data- en programstruktuur .....	107
Figuur 4.5 Voorstelling van die aardoppervlak.....	110
Figuur 4.6 `n Eenvoudige variogram.....	120

Figuur 5.1 Eksperimentele variogramme vir kaartvel 2824DD.....	132
Figuur 5.2 `n Profiel deur Thaba Nchu.....	133
Figuur 5.3 Konstruksie van die primêre DTM vir die Modderrivieropvanggebied.....	134
Figuur 5.4 Waardes van die verwerkingsel vir vloei rigting .....	136
Figuur 5.5 Vloei rigting en vloeiakkumulasie in die Modderrivieropvanggebied.....	137
Figuur 5.6 Gemodelleerde stroomlyne in die weste van die studiegebied.....	139
Figuur 5.7 Konstruksie van die sekondêre DTM vir die Modderrivieropvanggebied .....	141
Figuur 5.8 Prosedure gevolg vir panetsing .....	141
Figuur 5.9 `n Digitale terreinmodel van die Modderrivieropvanggebied.....	143
Figuur 5.10 `n Eksponensiële kromme vir die bepaling van $S_a$ .....	145
Figuur 5.11 Die deliniëring van strome en afbakening van bekkens.....	147
Figuur 5.12 Uitvloeipunte in `n vierde-ordebekken.....	148
Figuur 5.13 Aantal bekkens per orde .....	149
Figuur 5.14a Eerste-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied .....	150
Figuur 5.14b Tweede-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied.....	151
Figuur 5.14c Derde-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied.....	152
Figuur 5.14d Vierde-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied .....	153
Figuur 5.14e Vyfde-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied .....	154
Figuur 5.14f Sesde-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied .....	155
Figuur 5.14g Die sewende-ordedreineringsbekken in die Modderrivieropvanggebied .....	156
Figuur 6.1 Swaartepunte en standaardafwykingsellipse van bekkens in trosse .....	166
Figuur 6.2 Regressiekrommes vir die erosiemodel met vervoerparameters.....	173
Figuur 6.3 Regressiekrommes vir die erosiemodel met twee vormparameters .....	174
Figuur 6.4 Regressiekrommes vir die erosiemodel met erosieparameters.....	175
Figuur 6.5 `n Ontwikkelingsmodel vir die Modderrivieropvanggebied.....	177
Figuur 6.6 Erosiepotensiaal in die Modderrivieropvanggebied .....	179
Figuur 6.7 `n “Normale” dreineringsmodel in vergelyking met eksoreïese dreinerings.....	180
Figuur 6.8 `n Vergelyking met “normale” dreinerings en die ruimtelike verspreiding van bekkens.....	181

Figuur B1	Bekkenoppervlakte vir tweede-ordebekkers .....	215
Figuur B2	Dreineringsdigtheid vir tweede-ordebekkers .....	216
Figuur B3	Stroomlengte vir tweede-ordebekkers .....	217
Figuur B4	Bekkenomtrek .....	218
Figuur B5	Vloeilengte .....	219
Figuur B6	Sirkelvormigheid .....	220
Figuur B7	Bekkenverlenging .....	221
Figuur B8	Vormfaktor .....	222
Figuur B9	Helling .....	223
Figuur B10	Plankromming .....	224
Figuur B11	Profielkromming .....	225
Figuur B12	Stroomkragindeks .....	226
Figuur B13	Benattingsindeks .....	227
Figuur B14	Sedimentvervoerindeks .....	228

## Lys van Tabele

Tabel 2.1	Geomorfologiese ontwikkeling van Suider-Afrika .....	27
Tabel 2.2	Die stratigrafie van die Modderrivieropvanggebied.....	35
Tabel 2.3	Stratigrafie as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied .....	36
Tabel 2.4	Litologie as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied .....	37
Tabel 2.5	Pedologiese klasse van die studiegebied .....	43
Tabel 2.6	Kaarteenhede vir landtipes .....	44
Tabel 2.7	Plantegroei as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied.....	53
Tabel 2.8	Klimaatdata vir die Modderrivieropvanggebied.....	57
Tabel 2.9	Grondgebruik as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied .....	59
Tabel 2.10	Veldbenutting as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied.....	61
Tabel 3.1	Sedimentlewingklasse as persentasie van oppervlakte per kwaternêre opvanggebied .	75
Tabel 3.2	Erodeerbaarheidsindeks volgens tekstuur.....	76
Tabel 3.3	Beswaring van die K-waarde vir 'n landtipe.....	77
Tabel 3.4	Erodeerbaarheidsindeks vir landtipes.....	78
Tabel 3.5	Digtheidwaardes vir plantegroeitipes in die Modderrivieropvanggebied.....	80
Tabel 3.6	Bedekkingswaardes vir plantegroei .....	80
Tabel 3.7	Bedekkingswaarde vir grondgebruik.....	81
Tabel 3.8	Parameters wat in die studie gebruik is .....	83
Tabel 4.1	Besluitnemingsondersteuningsisteme .....	91
Tabel 4.2	Datatipes.....	103
Tabel 4.3	Geheuespasie en beduidende akkuraatheid van datatipes .....	103
Tabel 4.4	Opnamemetodes vir gebruik in digitale terreinmodelle.....	111
Tabel 5.1	Aantal hoogtepunte en oppervlakte per kwaternêre opvanggebied.....	128
Tabel 5.2	Verwerkingstyd teenoor ruitgrootte (latfunksie op dieselfde datastel) .....	130
Tabel 5.3	Foute as gevolg van interpolasietegnieke.....	131
Tabel 5.4	Voorbeelde van die gemiddelde oppervlakte van eerste-ordebekkens .....	144

Tabel 5.5	Dreineringsdigtheid en ondersteuningsoppervlakte in die studiegebied.....	146
Tabel 5.6	Eienskappe van dreineringskomponente in die Modderrivier .....	148
Tabel 5.7	Beskrywende statistiek vir enkele tweede-ordebekkenparameters .....	158
Tabel 5.8	Rastergebaseerde parameters .....	159
Tabel 6.1	Faktorbelading vir tweede-ordebekkenparameters.....	163
Tabel 6.2	Gemiddelde parameterwaardes vir 12 trosse .....	165
Tabel 6.3	Rangskikking van bekkens binne trosse .....	169
Tabel 6.4	Korrelasiekoëffisiënte tussen bekkenparameters .....	171
Tabel 6.5	Korrelasiekoëffisiënte tussen bekken- en prosesparameters .....	171
Tabel 6.6	Korrelasiekoëffisiënte tussen bekken- en erosieparameters .....	172
Tabel 6.7	Korrelasiekoëffisiënte tussen proses- en erosieparameters .....	172
Tabel A1	Diagnostiese horisonte vir enkele grondvorme .....	213
Tabel C1	Kontoerdata .....	230
Tabel C2	Digitale terreinmodel .....	231
Tabel D1	1:50 000 Topografiese kaart .....	232
Tabel D2	1:250 000 Topokadastrale, Landtipe en Geologiese kaart .....	232
Tabel D3	Lugfoto's.....	233

## Opsomming

### ’N MORFOMETRIESE ONDERSOEK NA LANDSKAPONTWIKKELING IN DIE SENTRAAL-VRYSTAAT.

#### ’n Toepassing met behulp van ’n Geografiese Inligtingstelsel

**Trefwoorde:** landskapontwikkeling, morfometrie, geomorfologie, geografiese inligtingstelsels, fluviale prosesse, dreineringsstelsels, modellering.

In die proefskrif word van ’n geografiese inligtingstelsel gebruik gemaak om die morfometrie van ’n semi-ariëde dreineringsbekken en die aktiewe geomorfologiese prosesse in die bekken te ondersoek. Die konstruksie van ’n digitale terreinmodel vanaf gepubliseerde bronne en die onttrekking van geomorfologiese parameters word verduidelik. Aan die hand van ’n erosiemodel word die ruimtelike verspreiding van dreineringsbekkens in die studiegebied verklaar.

Die studie is uitgevoer in die Modderrivieropvanggebied in die sentraal-Vrystaat. Die gebied is gekies vanweë tektoniese stabiliteit wat die invloed van endogene prosesse op die huidige vorm van die landskap verminder.

In die eerste gedeelte van die studie is ’n reeks morfometriese parameters gekies om die huidige vorm van die landskap so akkuraat moontlik weer te gee. Saam hiermee is etlike parameters wat die aktiewe erosieprosesse in die gebied kan kwantifiseer, geïdentifiseer. Om die verwantskappe tussen vorm en prosesse in die gebied te verklaar, is van ’n werkbare erosiemodel gebruik gemaak. Hierdie model is gekalibreer deur van huidige omgewingstoestand gebruik te maak.

In die tweede gedeelte van die proefskrif word ’n digitale terreinmodel van die studiegebied gekonstrueer. Verskeie tegnieke vir die konstruksie van ’n DTM is geëvalueer en ’n metode vir stroom- en panetsing word ontwikkel. ’n Geografiese inligtingstelsel word gebruik om datastelle uit verskeie gepubliseerde bronne te versamel en in een databasis te kombineer. Die GIS is ook gebruik om die tersaaklike parameters uit die databasis te onttrek.

Die laaste gedeelte van die studie is gewy aan die analise van die data en die skep van ’n ontwikkelingsmodel vir die opvanggebied. Hier is van verskeie statistiese tegnieke gebruik gemaak om die parameters te klassifiseer en die bekken in groepe te verdeel. Die verwantskappe tussen parameters is ondersoek en gekwantifiseer.

Uit die studie is dit duidelik dat daar `n verband tussen landvorm en proses in die Modderrivieropvanggebied bestaan en dat geografiese inligtingstechnologie met vrug in die bestudering van landvorme gebruik kan word.

Die metodologie wat vir die studie ontwikkel is en die data wat gegenereer is, kan moontlik op verskeie maniere bydra tot die sinvolle bestuur van die opvanggebied.

## **Abstract**

### **A MORPHOMETRIC INVESTIGATION INTO LANDSCAPE DEVELOPMENT IN THE CENTRAL FREE STATE.**

#### **An Application with the aid of a Geographic Information System**

**Key words:** landscape development, morphometry, geomorphology, geographic information systems, fluvial processes, drainage systems, modelling.

In the thesis, a geographic information system is used to investigate the morphometry and active geomorphic processes in a semi-arid catchment area. The construction of a digital terrain model from published sources is elucidated and an erosion model is used to explain the spatial distribution of drainage basins in the study area

The study was conducted in the Modder river catchment in the central Free State. The study area was chosen as the result of tectonic stability which should lessen the impact of endogenic processes in the current form of the landscape

In the first part of the study, a set of morphometric parameters were chosen to represent the current form of the landscape as accurately as possible. Several process parameters were also identified to quantify the active erosion processes in the area. To explain the relationships between form and process, a working erosion model is used. This model was calibrated by using current environmental conditions.

In the second part of the thesis, a digital terrain model of the study area was constructed. Several techniques for the construction were evaluated and a method for stream and pan burning was developed. A geographic information system were used to collect data sets from different published sources and to combine it into a single database. The GIS was also used to extract the applicable parameters from the database.

The last part of the study was devoted to the analysis of the data and the creation of a development model for the catchment. Several statistical techniques were used to classify the parameters and to group the drainage basins. The relationships between the parameters were investigated and quantified.

From the study it was clear that a relationship exists between form and process in the Modder river catchment area and that geographic information technology can be used with success in the study of landforms.

The methodology developed for the study as well as the data generated might be useful for the management of the catchment in various ways.

## Voorwoord

In Job 38:4 vra die HERE vir Job of hy weet hoe die Aarde se fundamente gelê is en daag hom dan: "*Praat as jy die antwoord het*". Die HERE gebruik hier 'n model om te verduidelik hoe Hy die Aarde geskep het en hoe die omgewingsstelsel werk. Hoewel God se doel was om vir Job te laat begryp dat, as hy nie eers die skepping verstaan nie, daar geen kans is dat hy die Here se wil gaan verstaan nie, glo ek dat Hy ons en die Aarde juis so geskep het sodat ons die skepping moet verstaan en dan uitvoering gee aan Sy bestuursopdrag in Genesis 1:28 "...bewoon die aarde en bewerk dit." Deur hierdie studie wil ek probeer om 'n klein bydrae te lewer tot die mens se begrip van sy habitat en deur die tegnologie wat ontwikkel is, en nog ontwikkel gaan word, hopelik die bestuur van die enigste habitat wat ons het, 'n bietjie makliker maak.

Die volume data wat nodig is om 'n akkurate voorstelling van 'n landskap te maak en die tyd en ontkoste verbonde aan die analise en manipulasie van hierdie inligting was vir my die grootste struikelblokke in die weg van landskapstudies op 'n mesoskaal. As gevolg van hierdie problematiese aspekte van geomorfologiese navorsing, het ek besluit om geografiese inligtingstelsels as hulpmiddel in die studie te gebruik. Die toenemende beskikbaarheid van bekostigbare, relatief kragtige rekenars en die gepaardgaande vrystelling van programmatuur om komplekse manipulasie van groot hoeveelhede data in die laboratorium uit te voer, het dan die weg gebaan vir hierdie studie – iets wat tot ongeveer 1997 nie moontlik was nie. In die studie word GIS as 'n tegniek gebruik om geomorfologiese navorsing te vergemaklik. Ek vertrou egter dat die studie 'n bydrae sal lewer tot die ontwikkeling van GIS as wetenskap deur nog 'n belangrike toepassingsveld aan te toon, en programmeerders sal aanspoor om tekortkominge uit te skakel.

Ek wil in die besonder die volgende persone, wat op die een of ander manier by die studie betrokke was, bedank.

Prof. Gawie de Villiers vir sy geduldige leiding en lyding;

My kollegas aan die UV vir hulle ondersteuning, aanmoediging en aanvaarding;

Proff. Japie le Roux, Willem Els, Braam de Villiers en mnr Wim Voordewind vir fundamentele akademiese vorming;

Prof. dr. Gerard Govers van die Laboratorium vir Eksperimentele Geomorfologie aan die Katholieke Universiteit Leuven, België vir die konkrete advies wat aan hierdie studie rigting gegee het;

René du Plessis, Johanna Hall, Ilse Visser, Annamarie Evans en Estie Pretorius van die UOVS-SASOL-biblioteek vir hulp met bronne en soektogte;

Die personeel en studente van die Departement Geografie-Geologie (KUL), ook die departement se biblioteekpersoneel;

Die Navorsingskomitee van die Fakulteit Lettere en Wysbegeerte van die UV vir geldelike ondersteuning;

Ingrid Landman, Charlene Vos en Rudi Posthumus van Geographic Information Management Systems vir tegniese hulp en datavangs;

Derdejaar-, Honneurs- en Meestersgraad studente van die Departement Geografie (UV) wat soms onbewustelik betrokke was;

Nick, Trudy, Johann, Moonyean, Elrí en Charl Claassen. Louis, Elize en Elsa van Wyk. James en Rita van Rensburg. Wynand, Joekie en Wynand Wessels. Johan, Petro, Lomé en Jané Wessels. Christie, Millicent, Van Zyl, Jolene, Christiaan, Magdel en Christiaan Venter;

Ernst en Mattie Bekker vir hulle lewendige belangstelling en argumente wat soms tot na middernag kon aanhou;

Riana de Beer vir die taalversorging;

Dankie ook aan die eksterne eksaminatore vir u geduld; en aan

Charles (†1987) en Elsie (†1996) Barker.

Met dié woorde deur `n naamgenoot van `n beroemde geomorfoloog, begin ek dan hierdie studie.

*“Whatever occurs, occurs in space and time. Therefore our perception of the world is inherently spatial and temporal: objects have a location, and events are embedded in a stream of time. We speak of models when we phrase our perceptions in a way that they can be communicated to others. We use models for communication but also for understanding the world ourselves, and by playing around with the models we discover how they work and how the world they represent may evolve in the future. We may then systematically experiment with the models to find out ways to avoid undesirable and achieve desirable futures.”*

*M. Wegener*

Aan die drie-enige God, Skepper van hemel en aarde, alleen die eer.

Bloemfontein

19 Julie 2002

## HOOFSTUK 1 Inleidend

### 1.1 Inleidend

In hierdie hoofstuk word, naas `n motivering vir die studie, die navorsingsprosedure en -strategie, die probleemstelling, die hipoteses waarvandaan uitgegaan is en die navorsingsmetodologie verduidelik.

### 1.2 Motivering

#### 1.2.1 Wetenskapsfilosofie

Uit verskeie weergawes van die geskiedenis van geomorfologie (Tinkler 1985; Chorley *et al.*, 1964; Chorley *et al.*, 1973 en Walker & Grabau, 1993) blyk dit dat twee metaparadigmas in die vak gebruik word, of anders gestel, het die vak `n tuiste in twee sogenaamde “moederwetenskappe”. In die Verenigde State van Amerika was geologie die oorspronklike tuiste, terwyl die vak in Europa en ook Brittanje grotendeels uit geografie ontwikkel het.

Met die Britse invloed op die vak in Suid-Afrika is dit nie verbasend nie dat, alhoewel verskeie prominente Suid-Afrikaanse geomorfoë ook as geoloë opgelei was, 47% van die lede van die Suid-Afrikaanse Geomorfologiese Vereniging aan geografie departemente verbonde is teenoor 12% aan geologiese instansies (SAAG, 1996). In hierdie studie word die verwantskap tussen geografie (as omgewing-gesentreerde wetenskap) en geomorfologie as `n basiese uitgangspunt aanvaar en word die doel van geomorfologie gesien as die wetenskaplike beskrywing en verklaring vir eerstens, die *oorsprong*, *verspreiding* en *voorkoms* van en tweedens, die *prosesse* verantwoordelik vir landskappe en landvorme op die aardoppervlak. Die beskrywing en verklaring word in terme van *tyd en ruimte* gedoen met die *mens* as sentrale tema. Hierdie aspekte is belangrik in die studie en word gebruik as motivering vir die navorsing.

Sedert die bekendstelling van die “Geografiese Siklus” deur Davis in 1888, het skrywers soos Penck (in 1948), King (in 1953) en andere gepoog om `n funksionele, tydsgebonde teorie ten opsigte van landskapontwikkeling daar te stel. `n Paradigma-verskuiwing na positivistiese kwantifisering sedert die 1950's het a-temporele prosesstudies ten koste van tydafhanklike ontwikkelingstudies laat toeneem. Hierdie tipe studies was, in Strahler (1992:75, 76) se woorde, “reduksionisties” en “tydloos” van

aard. Daar word gepoog om onafhanklike veranderlikes, oorsake, prosesse en die resultaat op die landvorm te isoleer van die totale spektrum van moontlikhede en weer later, deur middel van multiveranderlike vergelykings, die bydraende invloed van elk te probeer vasstel.

Op die oog af lyk dit of ontwikkelingstudies en prosesstudies nie versoenbaar kan wees nie. Met die bekendstelling van die Algemene Stelselteorie in 1950 het 'n meer holistiese benadering in omgewingswetenskappe begin posvat en sedert die verskyning van Chorley se artikel oor geomorfologie en die algemene stelselteorie in 1962, het die term "stelselmodellering" meer dikwels in geomorfologiese werk begin voorkom wat dui op 'n meer interdisiplinêre benadering. Stellings soos die volgende kom in resente literatuur voor:-

*"It becomes apparent that the relationship between climate and landform... can be utilised in studies of environmental change."* (Meadows, 1988:298);

*"... the more we understand landform evolution at almost all temporal and spatial scales, the more can we understand complex soil problems that pedological studies alone have failed to solve."* (McFadden & Kneupfer, 1990:203); en

*"Because many environmental questions require answers to problems regarding watersheds, hydrology and fluvial responses, fluvial geomorphology will become a part of interdisciplinary organizations with associated fields of study."* (Smith, 1993:256).

As gevolg hiervan lyk dit of 'n "goue middeweg" tussen twee skynbaar onversoenbare paradigmas nl. die positivisme en die funksionalisme besig is om in geomorfologie te ontwikkel. 'n Effektiewe manier waarop dit bewerkstellig kan word, is om weg te beweeg van die reduksionistiese metodologie wat algemeen in geomorfologiese navorsing gebruik is en 'n meer generalistiese benadering, ook in navorsing, te probeer volg. Bauer (1996:404) sê dan ook dat 'n wetenskap toegespits op slegs die beskrywing en klassifikasie van landvorme of die studie van prosesse in isolasie van landvorme nie die doel van die vak is nie. Hy stel voor dat integrasie en sintese, tenminste oor die kort termyn, 'n uitdaging vir geomorfologie moet word. Semmel (1996:290) stel dat 'n histories-genetiese benadering wel 'n positiewe bydrae tot toegepaste geomorfologie kan lewer.

Om navorsing op 'n generalistiese wyse te doen, is dit noodsaaklik om 'n duidelike konseptuele raamwerk te hê waarvandaan die projek benader moet word. Sukses is reeds behaal om verskeie gedeeltes van geomorfologiese sisteme te modelleer (vergelyk die geredigeerde volume van Phillips & Renwick, 1992). Pogings is ook aangewend om sosiale en fisiese sisteme te integreer (byvoorbeeld Blaikie, 1985), maar geen van bogenoemde is nog vir die studiegebied probeer nie.

## 1.2.2 Toegepaste navorsing

Verskeie toepassings vir geomorfologiese navorsing word in die literatuur gevind. Schumm (1977:322) noem dat die begrip wat geomorfoloë het vir die belang van tyd in die ontwikkeling van landskappe 'n belangrike bydrae kan lewer in die omgewings-, ingenieurs- en bewaringsaspekte van grondbestuurspraktyk. Twee basiese doelwitte word volgens Ritter (1988:160) in landskapanalise (geomorfologiese navorsing) aangetref, naamlik die ondersoek na tyd en die studie van prosesse. Twee verdere aspekte in geomorfologiese navorsing is belangrik: in die eerste plek die invloed wat die fisiese omgewing op die mens se kulturele aktiwiteite en skeppings het, en tweedens die invloed wat die mens op natuurlike prosesse kan uitoefen. Topografie speel 'n belangrike rol in die vloei en verspreiding van water in die natuurlike omgewing (Garbrecht & Martz, 1999). So kan die potensiaal van 'n gebied nie losstaande van landvorme, prosesse soos erosie of afsetting en waterbeskikbaarheid gesien word nie. Zăvoianu (1985:1) noem dat akkurate kwantitatiewe data rakende landvorme 'n voorvereiste is vir navorsing in die ontwikkeling van reliëf, wiskundige modelle en praktiese toepassings soos die voorspelling van afloop en die regionale modellering van hidrologiese verskynsels.

Montgomery *et al.* (1998:243) stel die doel van dreineringsbekkenanalise as die versoening van bestuursbesluite met die wetlike en etiese vereistes vir die beskerming van ekologiese sisteme deur die wetenskaplike en objektiewe bepaling van die vermoë van 'n landskap om volhoubare grondgebruik te ondersteun.

In Suid-Afrika maak die Nasionale Waterwet (Wet 36 van 1998) voorsiening vir 'n geïntegreerde proses van opvanggebiedbestuur wat by implikasie alle aspekte van die hidrologie, ook die fisiese landskap en geassosieerde prosesse insluit (RSA, 1998b). Hierdie beleidsrigting weerspieël 'n poging om die beperkte waterbronne van die land optimaal te bestuur — iets wat reeds in die doelwitte van die Waternavorsingkommissie (WVK, 1996:7) beslag gekry het. Hier word onder meer gestel dat navorsing in die veld van waterhulpbronbestuur, -ontwikkeling en -bewing, besoedeling, akwatiese ekosisteme, en die bewaring van opvanggebiede van nasionale belang is. Geomorfologie het verder ook 'n toepassing in omgewingsbestuur as die navorsingsresultate in die bestuursproses gebruik word (Cooke & Doornkamp 1990:1). Dit impliseer dat beide geomorfoloë en omgewingsbestuurders 'n duidelike begrip van die funksie van die omgewing behoort te hê. Nir (1983:3) noem dat daar hoewel min, tog enkele bronne in die literatuur beskikbaar was oor die mens se invloed op die geomorfosfeer. Sedertdien het toegepaste geomorfologie begin veld wen en het 'n

groot aantal publikasies reeds die lig gesien (vergelyk onder andere Garland, 1990; Thorne *et al.*, 1997; Knighton, 1998; Lane *et al.*, 1998; en Ahnert, 1998).

### 1.2.3 Metodologies

Met die toenemende beskikbaarheid van en die verbetering in die kwaliteit van digitale data, word die “outomatiese” onttrekking van topografiese parameters vanaf digitale terreinmodelle allerweë beskou as ’n aanvaarbare alternatief vir tradisionele opname- en ekstraksiemetodes (Garbrecht & Martz, 1999). In die proefskrif word daar dan ook gekyk na die toepaslikheid van geografiese inligtingstelsels (GIS) in geomorfologiese navorsing.

## 1.3 Probleemformulering

Die probleemformulering vir die studie word volgens die navorsingsmetodologie ook in twee komponente verdeel. Ten einde ’n probleemstelling vir die studie te formuleer, word enkele vrae uit die werklikheid gevra. In die lig van die komplekse aard van landskapontwikkelingstudies word die vrae in afsonderlike afdelings verdeel.

### 1.3.1 Vraagstukke

#### 1.3.1.1 Prosesstudies

Dat morfologiese prosesse ’n belangrike invloed op die vorm (en ontstaan) van ’n landskap het, kan nie betwyfel word nie. Enkele vrae kan egter in terme van prosesse gevra word:

- Is daar ’n verband tussen morfologiese prosesse en grondbewaring? In hoe ’n mate is hierdie verband kwantitatief bestudeer?
- In hoe ’n mate kan ’n begrip vir geomorfologiese prosesse ’n bydrae lewer tot die effektiewe bestuur van die omgewing?

#### 1.3.1.2 Basiese navorsing

Indien vorm ’n aanduiding gee van proses moet daar ’n direkte verband wees tussen die proses en die gevolglike landvorm (Thorn, 1988:91). Kan statistiese tegnieke gebruik word om die verwantskap tussen vorm en proses op ’n mesoskaal te kwantifiseer?

#### 1.3.1.3 Toegepaste geomorfologie

Thorne (1995:584) maak die volgende stelling: *“Experience show that a sound understanding of the geomorphological processes acting to form and maintain the landscape is essential to the production of successful and sustainable conservation and restoration strategies”*. Ahnert (1998:317) merk op dat `n wetenskap as “`n toegepaste wetenskap” beskou kan word as die kennis en metodes vir ander doeleindes as vir die uitbreiding van die wetenskap self aangewend word.

In hoe `n mate kan geomorfologie (veral `n begrip van water- en winderosie) `n bydrae lewer tot die bewaring, herstel, gebruik en bestuur van `n opvanggebied in die Vrystaat?

#### 1.3.1.4 Geografiese inligtingstelsels en inligtingstechnologie

Kan `n persoonlike rekenaar en beskikbare programmatuur die uitvoering van `n geomorfologiese studie tot voordeel wees?

#### 1.3.1.5 Kartering

Kan `n opvanggebied deur middel van kwantitatiewe parameters sinvol gekarteer word? Kan so `n "kaart" `n bydrae lewer tot opvanggebiedbestuur?

### 1.3.2 Probleemstelling

Uit die voorafgaande en die motivering vir die studie is dit duidelik dat drie aspekte van die geomorfologie hier ter sprake is. In die eerste plek gaan dit oor basiese geomorfologiese beginsels en in die tweede plek oor `n toepassing van hierdie beginsels in die praktyk. Die derde aspek is die aanwending van inligtingstechnologie in geomorfologiese studies.

Die ruimtelike verspreiding en voorkoms van landvorme is die resultaat van `n verskeidenheid prosesse wat met verloop van tyd in `n landskap tot uiting kom. Uit literatuur (onder andere King, 1963; Marshall, 1987b; Partridge & Maud, 1987 en Myburgh, 1997) blyk dit dat daar in heelwat lokaliteite in en om die studiegebied kenmerke bestaan wat kan dui op veranderinge in die aard en intensiteit van prosesse in die verlede. Deur die studiegebied volgens die Algemene Stelselteorie as `n oop sisteem te beskou, is die vraag of `n dinamies-metastabiele ewewig in die gebied bestaan of bestaan het.

Water- en winderosie, sedimentlading in strome en afsetting in damme is van die enkele omgewingsprobleme wat in die studiegebied voorkom. Hierdie geomorfologiese verskynsels word veroorsaak deur 'n verandering in die aard en intensiteit van relevante prosesse wat tans in die studiegebied aktief is. Kan 'n beter begrip vir die aard van die morfologiese sisteem oplossings vir hierdie probleme bied?

Inligtingstechnologie verskaf verskeie moontlikhede vir aanwending in ruimtelike studies. Goodchild en Longley (1999:570) raak aan 'n metodologies belangrike probleem in die keuse van rekenaarprogrammatuur – wanneer is 'n GIS die beste keuse in probleemoplossing in plaas van statistiese pakkette of sigblaai? Van die redes vir keuse van 'n GIS is:-

- die gebruik van geografies verwysde data;
- groot volumes data;
- integrasie van data uit verskeie bronne;
- geografiese studies; en die
- visuele voorstelling van resultate

Kan 'n effektiewe metodologie ontwikkel word om die studie van landskappe te vergemaklik?

#### 1.4 Hipotese

Die primêre hipotese vir die navorsing lui dat die bestaan van 'n dinamies-metastabiele ewewigstoestand in die studiegebied die koppeling van vorm en proses moontlik maak. Deur die landvormeienskappe in die gebied morfometries te karakteriseer en die onderliggende oorsaaklike meganismes as 'n komplekse geheel te beskou, kan 'n model gebruik word om die ontwikkeling, huidige vorm en toekomstige aard van die landskap in die studiegebied te verklaar en te voorspel.

#### 1.5 Navorsingsprosedure

Die navorsingsprosedure wat in die studie gebruik is, word in twee komponente, strategie en metodologie verdeel. Daar is besluit op sisteemanalise as strategie omrede daar op die wyse 'n sinoptiese beeld van die werklikheid verkry kan word. Die metodologie wat gevolg is, is oorwegend induktief van aard hoewel deduktiewe beginsels gebruik is vir hipoteseformulering (vergelyk Harvey, 1973:34).

## 1.5.1 Navorsingstrategie

Sisteemanalise kan op twee maniere vertolk en gebruik word. In die eerste plek kan sisteemanalise beteken dat 'n sisteem bestudeer word en die funksie en struktuur van die elemente in die sisteem verklaar word. In die tweede plek kan sisteemanalise beteken dat 'n verskynsel bestudeer word met die sisteem as verklaringsmeganisme. In die laaste geval is sisteemanalise metodologies van aard en nie 'n tegniek of metode soos in die eersgenoemde geval nie (Walmsley, 1972:24). Uit 'n metodologiese oogpunt is sisteemanalise 'n goeie strategie om die navorsingsproses te rig en leiding te verskaf. Sisteemanalise is gemik op probleemoplossing uit 'n holistiese beskouing wat aan die moderne vereistes soos vir geografie as wetenskap gestel, voldoen. Walmsley (1972:25) onderskei verder drie eienskappe van sisteemanalise, naamlik: waardebeplanning wat 'n integrale deel van die analitiese proses vorm, probleemoplossing gemik op begrip en nie slegs op relasionele verklaring en laastens, 'n sinoptiese (in plaas van analitiese) aard in die sin dat die strategie uitwaarts (van die probleem na die konteks) beweeg en nie inwaarts na dele van die probleem nie. Volgens Hugget (1980:20) bestaan stelselanalise as navorsingstrategie uit vier fases, elk met 'n paar stappe.

### 1.5.1.1 Leksikale fase

Die leksikale of beskrywingsfase behels die herkenning van die komponente waaruit die sisteem bestaan en word in drie stappe uitgevoer:-

- 'n probleemstelling en hipoteseformulering ten opsigte van die sisteem wat ondersoek moet word (hoofstuk 1);
- die afbakening van die sisteemgrense. Hierdie stap behels die skeiding van die sisteem met sy omgewing sodat 'n "geslote sisteem" ondersoek kan word (hoofstuk 2); en
- die keuse van veranderlikes wat die toestand van die sisteemkomponente sal karakteriseer, die sogenaamde toestandsveranderlikes (hoofstuk 3).

### 1.5.1.2 Parsiële fase

Die parsiële of ontledingsfase behels die bepaling van 'n verband tussen die komponente van die sisteem. Hierdie verwantskappe kan in die vorm van teoretiese of empiriese vergelykings of selfs net korrelasies wees (hoofstukke 5 en 6).

### 1.5.1.3 Modelleringsfase

Die modelleringsfase bestaan uit twee stappe:-

- eerstens word die meganismes wat 'n invloed op die toestandsveranderlikes het, en dus die sisteem self kan verander, verklaar. Daar word dus 'n model van die werklikheid gekonstrueer (hoofstuk 6); en
- tweedens word die model gekalibreer deur werklike waardes aan die komponente te gee.

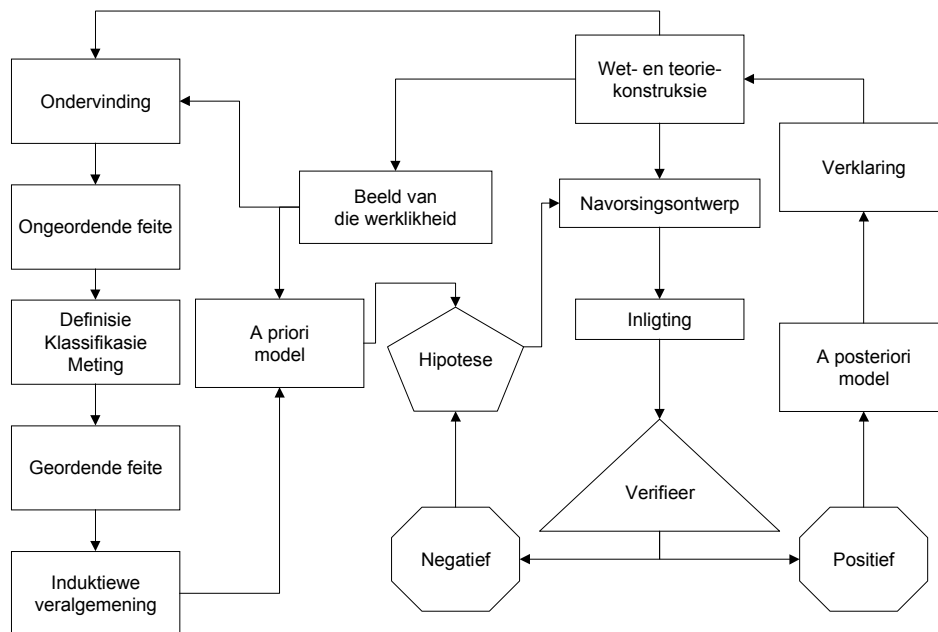
### 1.5.1.4 Analitiese fase

In die analitiese fase word die model gebruik om resultate te lewer wat naby die waargenome waardes vir 'n verandering in die toestand van die sisteem behoort te wees. Indien nie, moet daar veranderinge in die model self aangebring word.

## 1.5.2 Navorsingsmetodologie

Die navorsingsmetodologie wat gevolg is, word skematies in figuur 1.1 voorgestel. Ondervinding en kontak met die werklikheid gee aanleiding tot vrae wat gestel word en die formulering van 'n probleemstelling. Induktiewe veralgemening lei tot die skepping van 'n *a priori*-model wat as hipotese gestel word.

Uit die hipotese volg die navorsingsontwerp en -metodes waardeur data vir die studie versamel is. Die data is verwerk, as inligting aan die hipotese getoets en indien positief geverifieer, is 'n *a posteriori*-model as verklaring vir die probleemstelling aangebied. Die verklaring kan moontlik bydra tot wet en teoriekonstruksie, die beeld van die werklikheid van ander navorsers beïnvloed en aanleiding gee tot opvolgende navorsing.



Figuur 1.1 'n Navorsingsmetodologie vir die studie

## 1.6 Navorsingsmetodes

Ahnert (1998:4) stel drie metodologiese stappe vir sistematiese navorsing op streekskaal voor. **Morfografie** het ten doel om landvorme in terme van geometriese (vorm en grootte) eienskappe, ruimtelike verspreiding en plasing te beskryf, die litologie vas te stel en 'n idee te probeer kry van prosesse. Die identifisering van funksionele en kousale **verwantskappe** om die verwantskap tussen landvorme, gesteentes, grond, prosesse vas te stel. **Morfogenese** poog om die histories-genetiese vorming en die ontwikkeling van landskappe te bepaal. Met hierdie metodologie in gedagte is op die volgende navorsingsmetodes vir hierdie studie besluit.

### 1.6.1 Morfometrie

Karakterisering van vormeienskappe (dreineringsbekkens en strome) met behulp van afstandwaarneming, GIS en kartografie.

## 1.6.2 Prosesse

Funksionele en kousale verwantskappe wat ondersoek kan word, is die volgende (Ahnert, 1998:5):-

- tussen eienskappe van verskillende landvorme;
- tussen verskillende eienskappe van dieselfde landvorm;
- tussen eienskappe van verskillende materiale;
- tussen eienskappe van verskillende prosesse;
- tussen verskillende eienskappe van die dieselfde proses; en
- tussen eienskappe van landvorme en prosesse.

Hierdie aspekte is ondersoek deur literatuurstudies, veldopnames en laboratoriumanalises.

## 1.6.3 Kartering

Analoë en rekenaargesteunde morfologiese kartering is gebruik.

## 1.6.4 Modelling

Modelling word gedoen deur die konstruksie van digitale terreinmodelle en ruimtelike en statistiese analises.

## 1.7 Doelstellings vir die studie

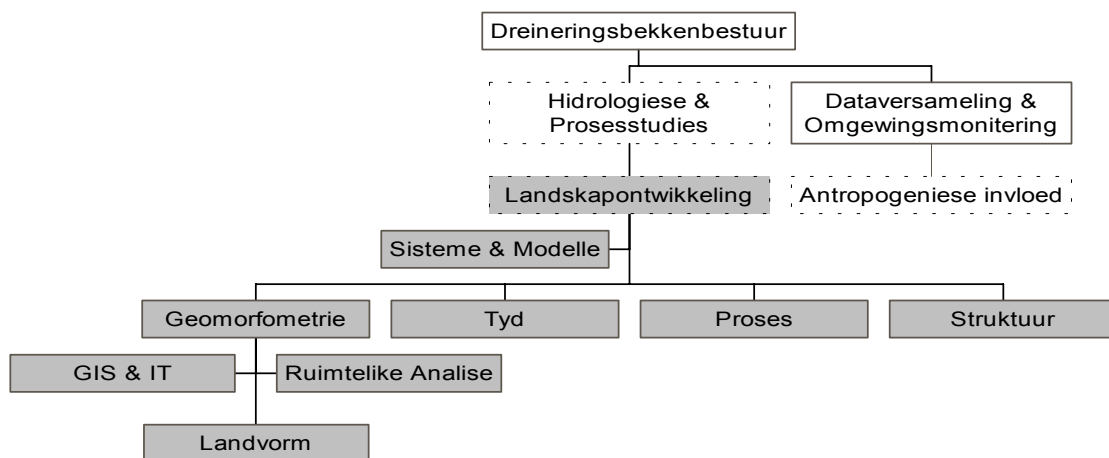
Baker en Pyne (1978:97) formuleer etlike doelstellings vir geomorfologiese navorsing, waaronder die ontdekking van verwantskappe tussen verskynsels deur gebruik van sisteme, modelle en die ontwikkeling van teorieë met die uiteindelijke doel om die interaksie tussen die mens en oppervlakprosesse te voorspel. Pike (1995:221) noem drie doelstellings vir aardwetenskappe naamlik om landskapvormende prosesse te verstaan en sodoende by te dra tot verbeterde toestande vir menslike nedersetting, hoofsaaklik deur beskerming teen natuurrisiko's (natuurrampe) en die bestuur van natuurlike hulpbronne. Thorn (1988:121) gee 'n verdere vereiste vir 'n oorkoepelende gedagterigting vir geomorfologie naamlik die vermoë om beide die verlede sowel as die toekoms te kan verklaar.

Die navorsing vir hierdie proefskrif het ten doel om die verband tussen die landskap en morfologiese prosesse (o.m. erosie en afsetting deur water) te ondersoek om

sodoende `n beter begrip vir komplekse natuurlike sisteme te ontwikkel en `n bydrae te lewer tot die bewaring en bestuur van `n belangrike hulpbron. In die ondersoek sal van verskeie tegnieke gebruik gemaak word. Hierdie tegnieke sal ten opsigte van die sukses daarvan in geomorfologiese studies geëvalueer word.

## 1.8 Perspektief

Figuur 1.2 is `n skematiese voorstelling van die proses wat in die studie gevolg is (gearsaai blokkies) met `n aanduiding van moontlike toekomstige navorsingsterreine (oop blokkies). Die proses begin met die identifikasie van landvorme binne dreineringsbekkens as die primêre sisteemgrense. Met behulp van GIS en inligtingstegnologie word ruimtelike analises op die landvorme uitgevoer om die morfometrie van die landvorme te karakteriseer. Deur die daarstel van `n geomorfologiese sisteem word `n model vir landskapontwikkeling geskep. Toekomstige navorsing in die studiegebied kan gedetailleerde proses- en hidrologiese studies, die skep en instandhouding van `n omgewingsdatabasis, antropogeniese impakstudies en `n uiteindelijke raamwerk vir dreineringsbekkenbestuur insluit.



Figuur 1.2 `n Perspektief op die studie

## 1.9 Die studiegebied

Die Modderrivieropvanggebied, in die Sentraal-Vrystaat, tussen die Oranje- en Vaalriviere, is gekies as die studiegebied (figuur 2.1). Hierdie streek leen hom uitstekend tot landskapontwikkelingsnavorsing omdat:-

- die gebied maklik bereikbaar en toeganklik is;
- daar heelwat gepubliseer is rondom die litologiese aard van die gebied vanweë die ekonomies belangrike minerale afsettings in die gebied. Dieselfde geld ook vir bodemkundige ondersoek wat gedoen is vir landboudoeleindes. Die feit vergemaklik die versameling van data op hierdie terreine;
- die gebied reeds vir `n lang tydperk tektonies relatief stabiel is (Helgren, 1979:462) en die resultaat van endogene prosesse verberg nie die vorming van landskappe deur eksogene prosesse nie. Daarom word ook voorgestel dat hier `n vorm van balans tussen prosesse en vorm kan bestaan; en omdat
- fluviale en eoliese prosesse ook dominant is in aangrensende gebiede. Hierdie feit maak toepassing van die studie ook in ander dele van Suid-Afrika moontlik.

## 1.10 Slotopmerking

In die inleidende gedeelte is die motivering, probleemstelling, doel en navorsingstrategie vir die studie gegee. Die leser word in die volgende hoofstuk aan die studiegebied bekendgestel.

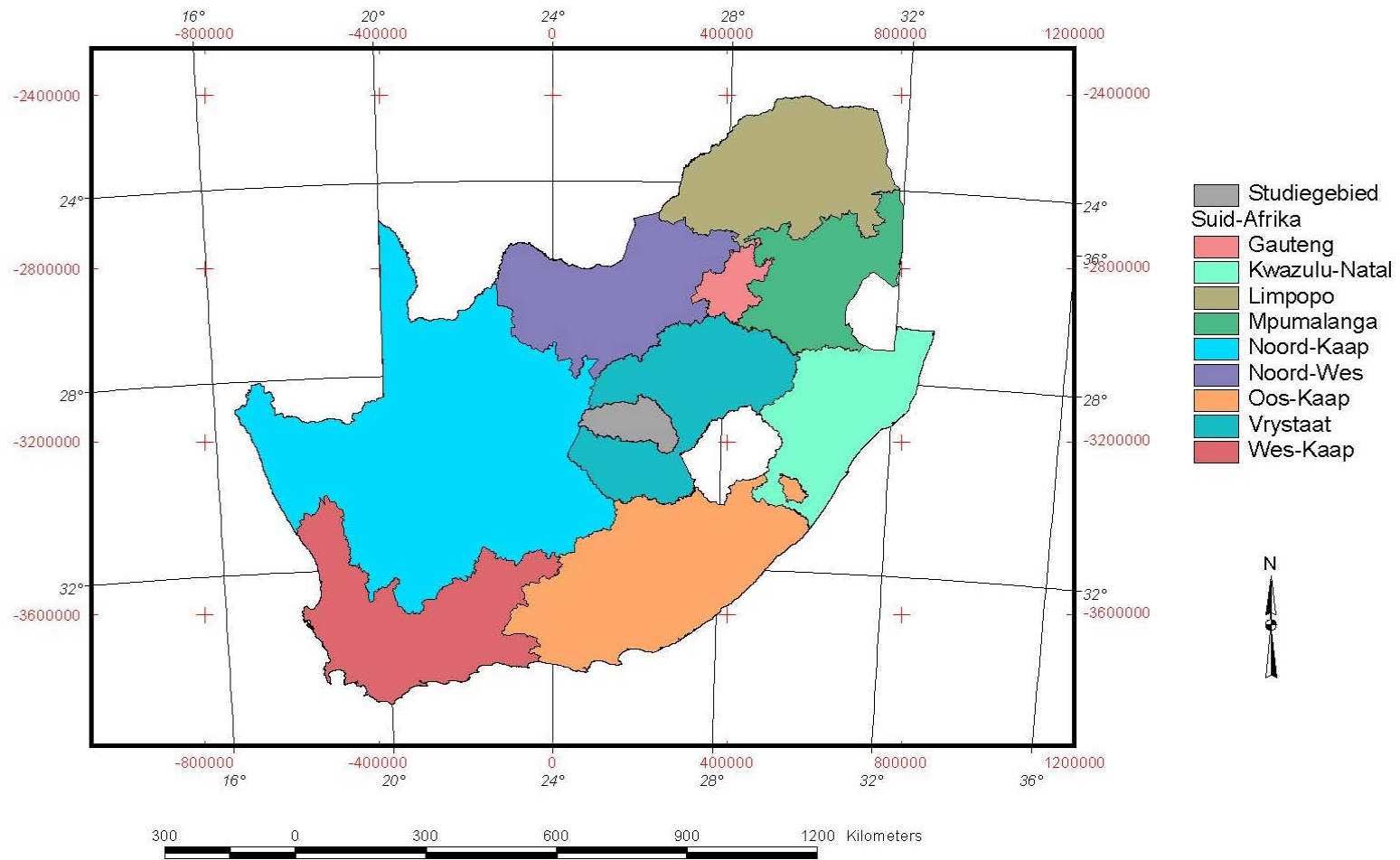
## HOOFSTUK 2 Die Modderrivieropvanggebied

### 2.1 Inleidend

Ten einde 'n beeld van die studiegebied te verskaf, word hierdie hoofstuk aan 'n uitvoerige beskrywing van die fisiese eienskappe gewy. In latere gedeeltes word dan ook dikwels terugverwys na hierdie bespreking. Daar word ook aandag gegee aan die ontwikkeling van sekere van die eienskappe in die gebied.

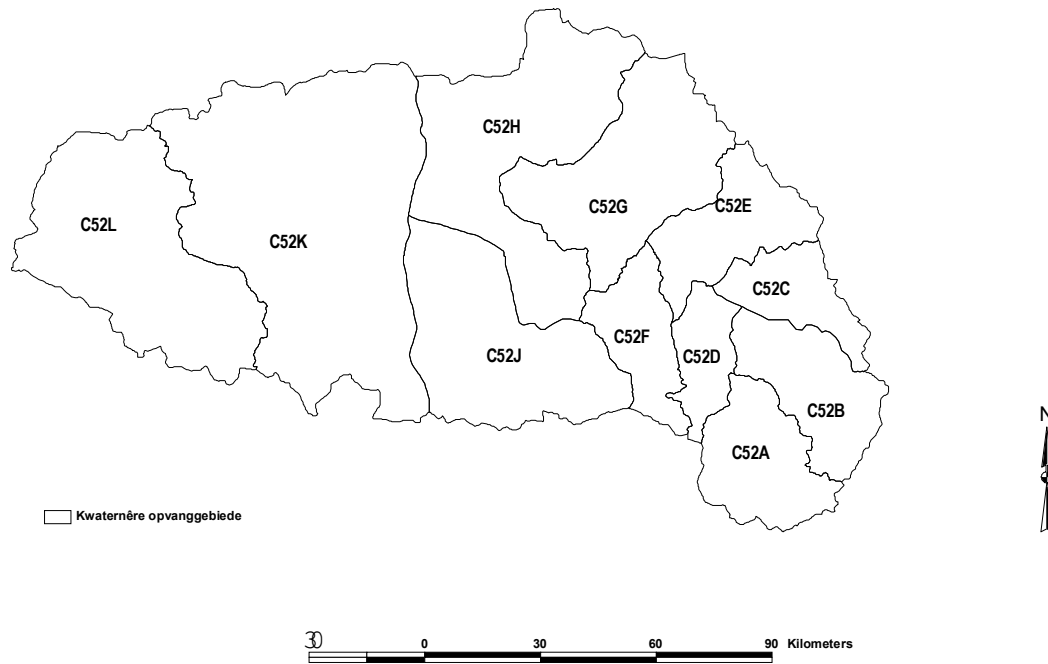
### 2.2 Ligging

Die grootste deel van die Modderrivieropvanggebied is in die suid-sentrale gedeelte van die Vrystaatprovinsie geleë met 'n kleiner deel in die Noord-Kaap. Die studiegebied beslaan 'n oppervlakte van ongeveer 17 360km<sup>2</sup> (Midgley *et al.*, 1994a), tussen 28°15' en 29°45' Suid en 24°30' en 27° 00' Oos. Figuur 2.1 toon die ligging van die studiegebied in Suid-Afrika. Die gebied (tersiêre opvanggebied C52) bestaan uit 11 kwaternêre opvanggebiede (C52A tot C52L) (figuur 2.2) en vorm deel van die Vaalrivier- (primêre opvanggebied C) en die Modder/Rietrivieropvanggebied (sekondêre opvanggebied C5) (WNK, 1990).



Saamgestel uit RSA, 1999

Figuur 2.1 Ligging van die Modderrivieropvanggebied

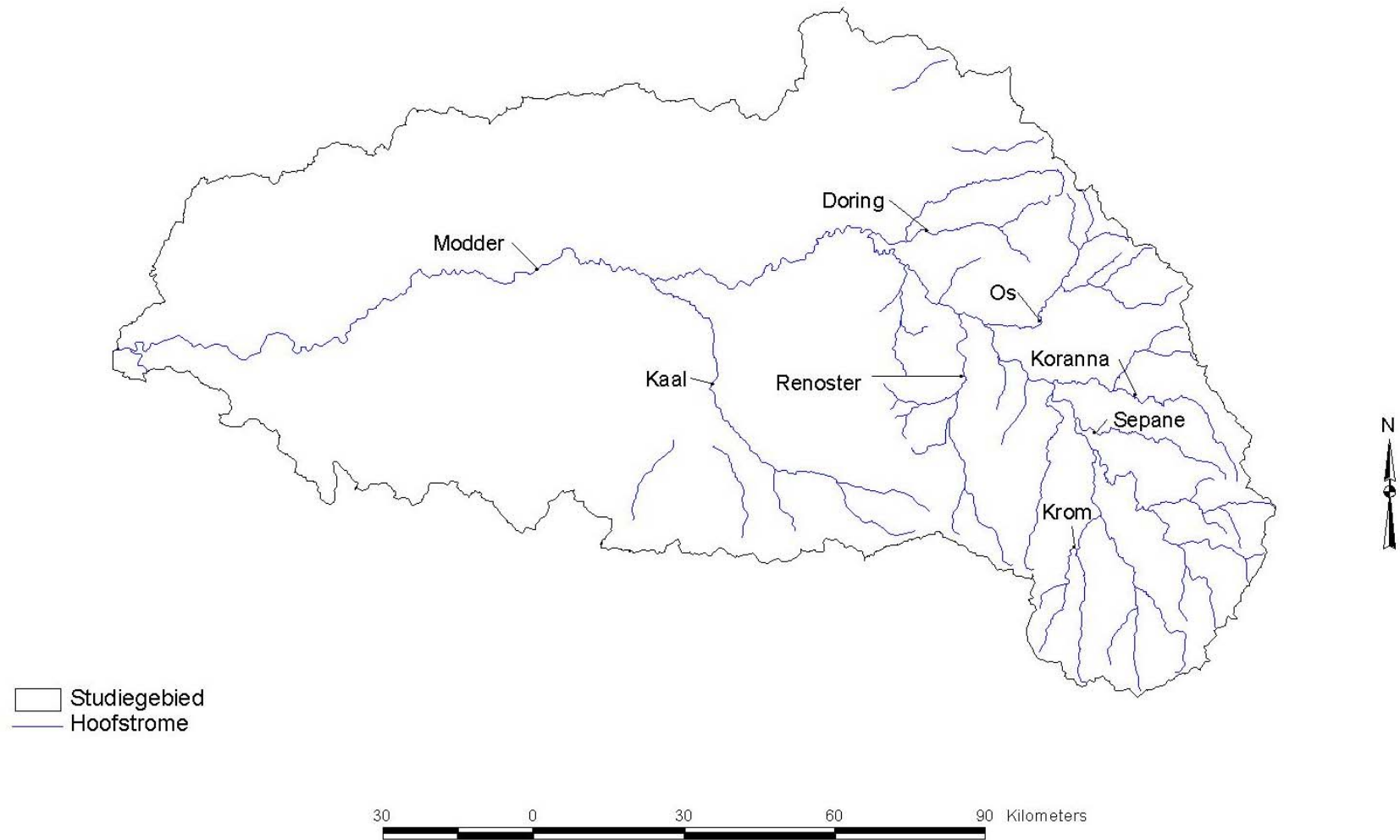


Aangepas uit WNK, 1990

Figuur 2.2 Kwaterne opvanggebiede in die Modderrivierdreineringsbekken

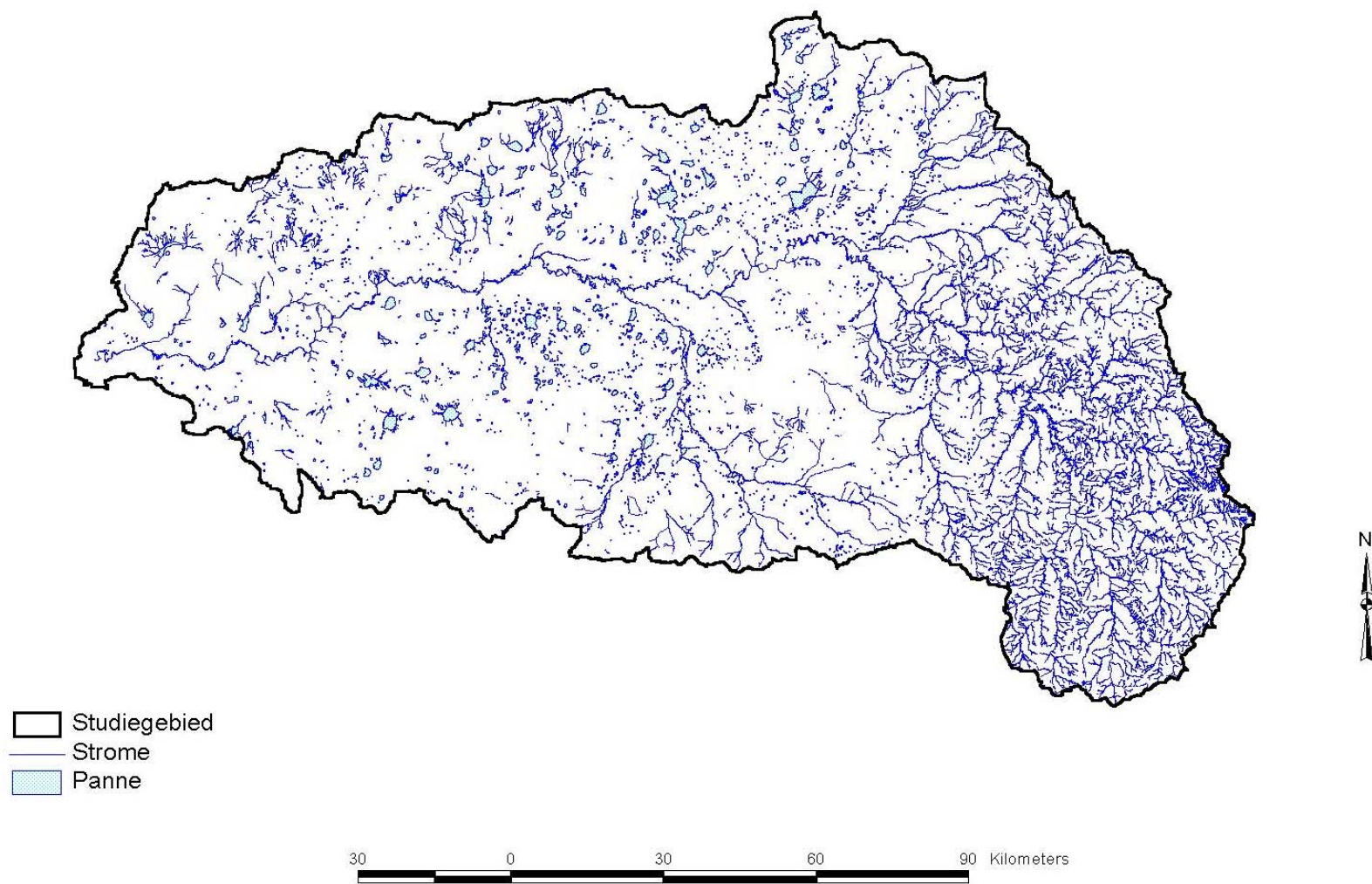
### 2.3 Dreinerling

Die gebied word gedreineer deur die Modderrivier met sy belangrikste sytakke, die Kaal-, Os-, Sepane-, Doring-, Krom-, Renoster- en Korannaspruit (figuur 2.3). Dreinerling in die oostelike gedeelte van die studiegebied toon 'n goedontwikkelde dendritiese patroon met 'n opmerklke sirkulêre patroon om Thaba Nchu (seSotho — "swart berg"), die hoogste punt in die opvanggebied (sien ook figuur 2.7b). Die westelike gedeelte van die studiegebied word gedomineer deur panne wat, volgens Le Roux (1978:175 en 1990a:3), ontstaan het as gevolg van deflasie nadat die normale dreinerling deur tektoniese opheffing onderbreek is (Marshall, 1988:106; Grobler, *et al.*, 1988 en Marshall & Harmse, 1992) (figuur 2.4). Oppervlaktreinerling in hierdie gedeelte is swak ontwikkel en toon selfs met buitengewone hoë reënvalgebeurtenisse (soos in 1988), geen tekens van oorloop tussen panne en na die hoofstrome nie (WNNR, 1988). Vier groot damme, Rustfontein-, Krugersdrift- Groothoek- en Mocke'sdam, sowel as ongeveer 3 900 kleiner damme kom in die gebied voor (figuur 2.5).



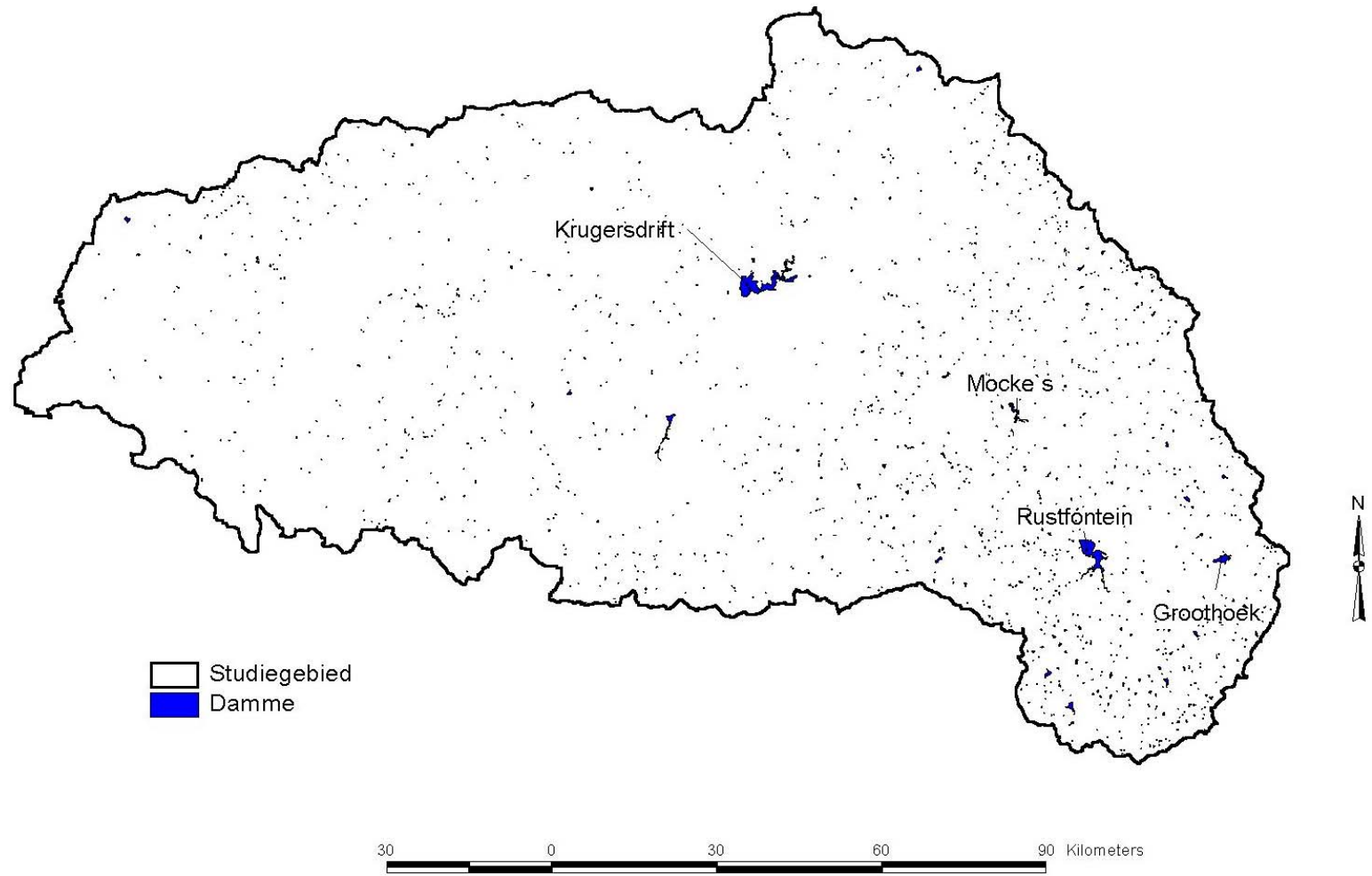
Saamgestel uit RSA, 1999

Figuur 2.3 Die ligging van vyfde-ordestrome in die Modderrivieropvanggebied



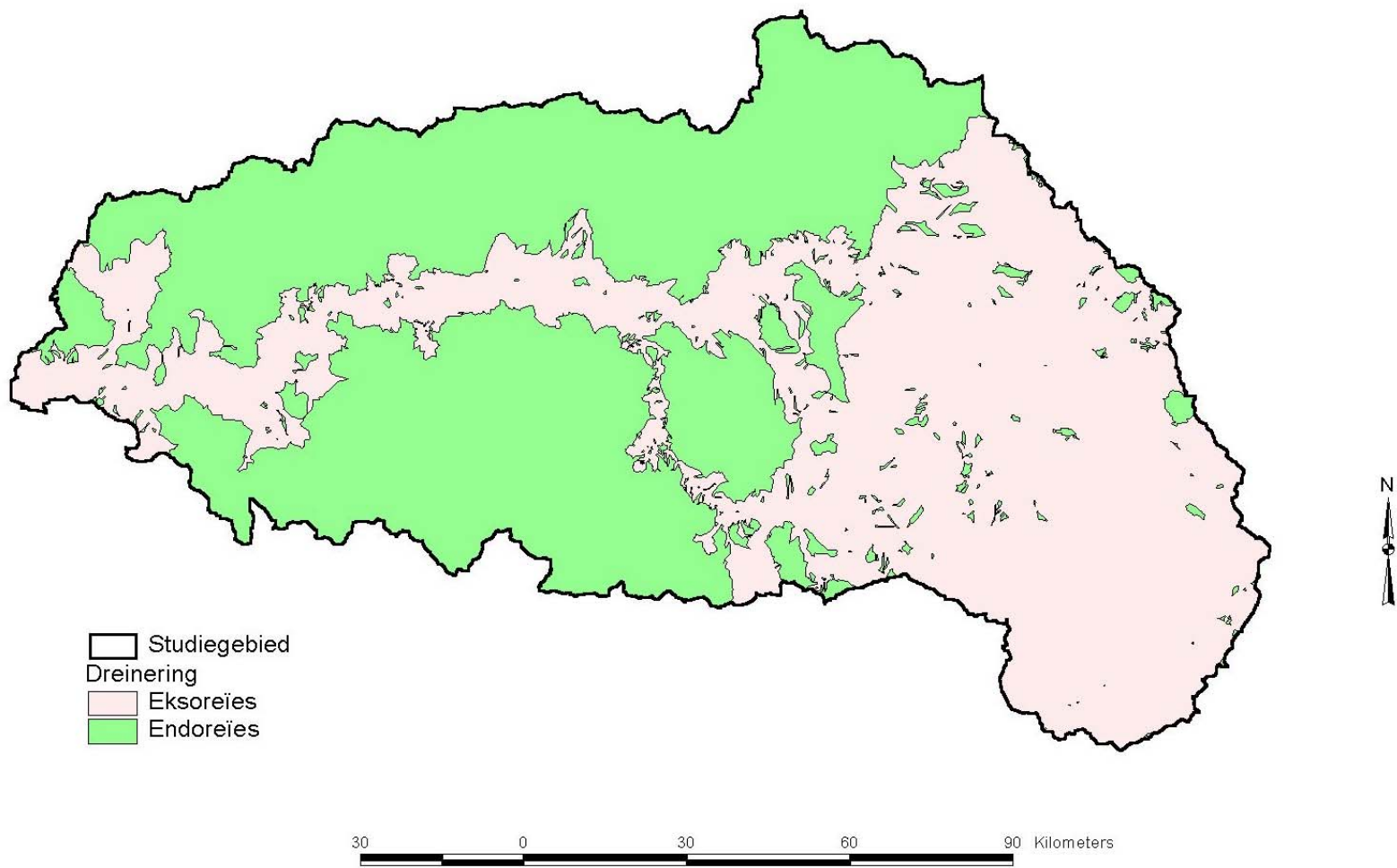
Bron RSA, 1998a

Figuur 2.4 Die verspreiding van panne en strome



Bron: RSA, 1998a

Figuur 2.5 Die verspreiding van damme in die studiegebied

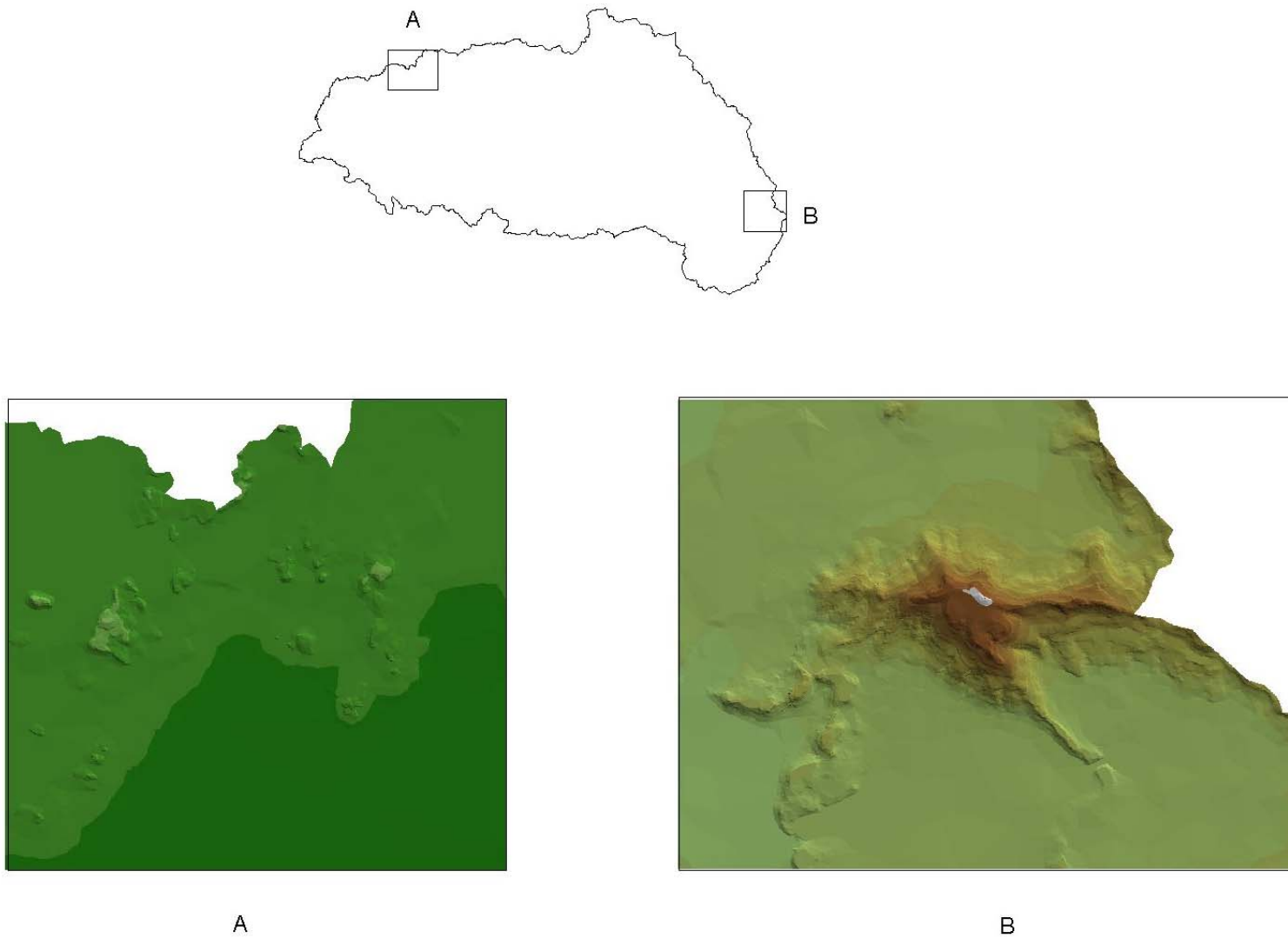


Figuur 2.6 Endoreïese en eksoreïese dreinerings

Die gemodelleerde dreineringsbekkens (hoofstuk 5) van die studiegebied het die endoreïese aard van die westelike deel duidelik aangetoon (figuur 2.6). Fonteine kom wydverspreid in die gebied voor en om water aan die groeiende stedelike gebiede te verskaf, word 'n wateroordragskema tussen die Caledon- en Modderriviere bedryf.

## 2.4 Reliëf

Die hoogte bo seevlak in die gebied wissel van 1 107m by die samevloeiing van die Modder- en Rietriviere tot 2 139,4m op die kruin van Thaba Nchu (figuur 2.7b). In die westelike gedeelte van die studiegebied is daar slegs lokale wisseling in reliëf as gevolg van die voorkoms van enkele dolerietbedekte spitskoppe (figuur 2.7a). Die lokale gradiënt is nêrens meer as ongeveer 1° nie. In die oostelike gedeelte word die reliëf bepaal deur doleriet sowel as sandsteen bedekte kruine op hoë heuwels met 'n gradiënt wat wissel tussen 4° tot 7° (sien ook figuur B9).



Figuur 2.7 Uittreksels uit die digitale terreinmodel van die studiegebied

## 2.5 Die ontwikkeling van die makrolandskap in Suider-Afrika

Ten einde die studiegebied en die doel van die studie in konteks te plaas, word hier 'n kort verduideliking van die ontwikkeling van die landskap uit die literatuur gegee.

Sedert landskapbeskrywings van 19<sup>e</sup> eeuse ontdekkingsreisigers, en werk deur onder andere Passarge, Suess, Davis, en A Penck (Moon & Partridge, 1993:384), het verskeie skrywers navorsing oor uiteenlopende aspekte van landskapontwikkeling in die streek gedoen. 'n Lys van werk oor die geomorfologiese ontwikkeling deur Partridge en Maud (1987:205), omvattende beskrywings oor die geologie en makromorfologiese ontwikkeling van Suider-Afrika deur Tankard *et al.* (1982) en Dingle *et al.* (1983) en 'n kort oorsig deur Moon en Dardis (1988) is gepubliseer. Verdere werk is deur Marshall (1987a & b) en Myburgh (1997) op die geologiese ontwikkeling van landskappe in die Vrystaat gedoen.

### 2.5.1 Geologiese agtergrond

Binne die analitiese raamwerk vir die studie is dit belangrik om kennis te neem van die geologiese geskiedenis van die studiegebied. Die beskouing kan egter nie in isolasie van die res van die geologiese ontwikkeling van Suider-Afrika gedoen word nie. In die volgende gedeelte word 'n kort uiteensetting van die belangrikste endogene faktore wat 'n invloed op die ontwikkeling van die landskap het, gegee.

#### 2.5.1.1 Geologiese ontwikkeling van die Suider-Afrikaanse subkontinent

Tankard *et al.* (1982:5) onderskei vyf stadiums in die ontwikkelingsgeskiedenis van die subkontinent:

**Argeïese korsontwikkeling** (tot 2 600Ma). Die ontwikkeling van die granitiese basis van die subkontinent soos in die strukturele Kaapvaal-, Limpopo- en Zimbabweprovincies gevind word.

**Supra-korsontwikkeling** (tot 1 200Ma). Die bedekking van die granitiese kors deur sedimente (Pongola-, Witwatersrand-, Transvaal- en Griekwaland-Wes-supergroepe) en die vorming van die Bosveldstollingskompleks.

**Proterosoïese orogenese** (tot 500Ma). Die tektoniese herwerking van basisgesteentes, akkumulاسie van geosinklinale afsettings deur verskeie orogene in die suide en weste van die streek en die opening en sluiting van die Proto-Atlantiese Oseaan.

Die **Gondwana-era** (tot 150Ma). Kontinentale vergletsering en sedimentafsetting (Kaap- en Karoo-supergroepe) met Suider-Afrika in die sentrale gedeelte van Gondwana en die vorming van die Kaapse Plooiberge vind plaas.

**Post-Gondwana-era** (vanaf 65Ma). Die tydperk word ingelui deur die opbreek van Gondwana. Skeuringsvulkanisme en die indringing van kimberliete, karbonatiete en ander alkaliese gesteentes vind plaas.

Die laaste twee stadiums is direk van belang vir die studie aangesien die gesteentes in die studiegebied (grotendeels van die Karoo-opeenvolging) gedurende die Gondwana-era afgeset is (Tankard *et al.*, 1982:14) en die Suid-Afrikaanse landskap oorwegend gedurende die Post-Gondwana-era ontwikkel het (Moon & Dardis, 1988:1).

## 2.5.2 Geologiese struktuur

Morfotektoniek word deur Fairbridge (1968:733) beskou as die strukturele fondament van geomorfologie. Saam met litologie vorm geologiese struktuur 'n belangrike faktor in die ontstaan van 'n landskap. In hierdie gedeelte word klem gelê op strukturele eienskappe in en om die studiegebied wat moontlik die ontwikkeling van die landskap sou kon bepaal.

Van die vroegste beskrywings van die geologiese struktuur in die omgewing van die studiegebied dateer volgens Partridge en Maud (1987:205) en Moon en Partridge (1993:384) uit die eerste dekade van die 20<sup>ste</sup> eeu met die werke van Suess en Penck op die strukturele eienskappe van die Drakensberg-eskarp. Sedertdien het uitgebreide werk die lig gesien, waarvan die volumes van Tankard *et al.* (1982) en Dingle *et al.* (1983) seker die bekendstes is.

### 2.5.2.1 Strukturele provinsies

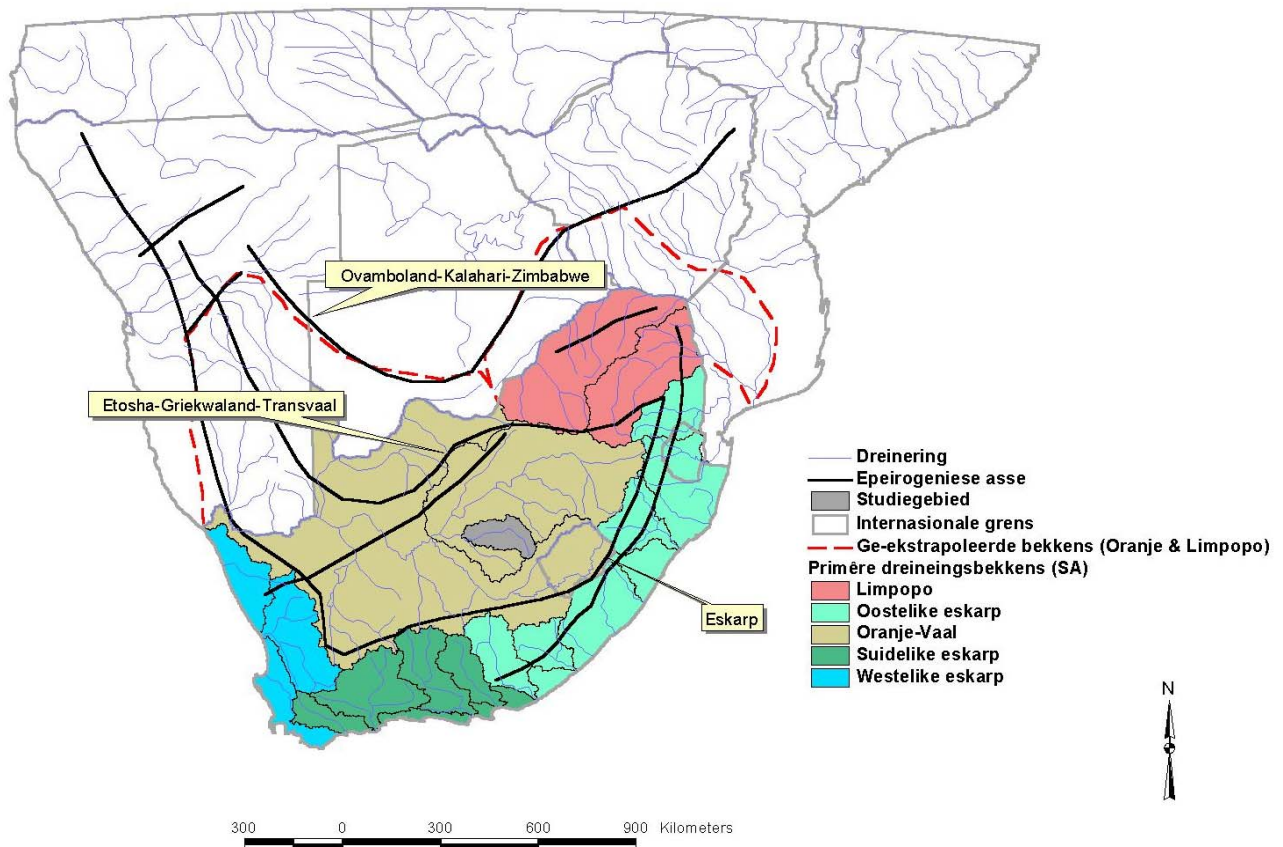
Strahler (1975:386) onderskei twee eerste-orde landvorme: kontinente en oseane en verdeel dan die kontinente struktureel in twee tweede-orde landvorme, naamlik skildgebiede en orgene of mobiele gordels. Die bestaan van "skilde of kratons" in die sentrale gedeelte van Suider-Afrika is reeds lank bekend (vergelyk Du Toit, 1933 en ook King, 1962 en 1963). Truswell (1977:4) onderskei die Richtersveld- en Kaapvaal-kratons, terwyl Summerfield (1996:4) die twee gebiede saamvoeg as die Kalahari-kraton.

'n Nie-generiese term, "strukturele of tektoniese provinsie" ('n geografiese gebied wat gekenmerk word deur 'n kombinasie van parameters soos litologie, struktuur, metamorfose en 'n radiometrieuse ouderdom wat beduidend verskil van omliggende

gebiede) word deur Kröner en Blignault (1976:232) gebruik om die problematiek rondom die ontwikkeling van mobiele gordel na kraton te vermy. Volgens Tankard *et al.* (1982:3) bestaan daar ses onderskeibare strukturele provinsies in Suider-Afrika, naamlik die Limpopo-, Kaapvaal-, Natal-, Namakwa-, Gariep- en Saldanha-provinsies. Die grense tussen die terreine is nie oral duidelik nie maar daar kan aanvaar word dat die Kaapvaal-provinsie, waarbinne die studiegebied geleë is, begrens word deur die Natal-, Namakwa-, Limpopo-, Namibiese en Mosambiek-provinsies (Tankard *et al.*, 1982:2).

#### 2.5.2.2 Epeïrogeniese asse

Reeds in 1933 postuleer Du Toit (p8) die voorkoms van verskeie epeïrogeniese verskynsels in Suider-Afrika wat, volgens definisie (Goudie *et al.*, 1994:182), verantwoordelik is vir vertikale buiging van die aardkors binne kratons. Volgens Du Toit (1933:8) het differensiële opheffing sogenaamde depressies en rûe veroorsaak wat die waterskeiding in die binneland sou beïnvloed. So byvoorbeeld skei die Griekwaland-Transvaal-as (p9) die Vaal-Oranjebekken van die Limpopo- en die Molopostelsels en die Kalahari-Zimbabwe-as (p14), die Limpopo- van die Okavango- en die Zambezibekken. Die Eskarp-as (King, 1963:171) vorm die skeiding tussen die dreinerings van die kusvlakte en die binneland. `n Studie deur Andreoli *et al.* (1996:3) van die verspreiding van lineamente in Suider-Afrika ondersteun die ligging van die asse. Die ligging van die asse word later deur Moore (1999:369) aangepas en in figuur 2.8 aangetoon.



Bron: Moore, 1999:369

Figuur 2.8 Epeirogeniese asse en primêre dreineringsbekkens in Suider-Afrika

### 2.5.2.3 Strukturele depressies en sub-oppervlakkenmerke

Du Toit (1933) en King (1963) stel die vorming van strukturele depressies, die Karoo/Lesotho- en die Kalaharibekkens na aanleiding van pleistoseendefomasie voor, maar die gedagte word net met betrekking tot die Kalaharibekken in latere literatuur ondersteun (Burke, 1996: 370). Marshall (1987b en 1988) postuleer die voorkoms van 'n sentrale graben tussen die Bloemhof- en Winburglineamente en identifiseer 'n antiklinale struktuur (upwarp) in die westelike gedeelte van die Modderrivieropvanggebied. Hierdie sub-oppervlakstrukture, saam die ooswaartse kanteling van die oppervlak om die Griekwaland-Transvaal-as tot in die Pleistoseen (1,64Ma), word gebruik om die huidige landskap te verklaar.

### 2.5.3 Geomorfologiese agtergrond

Alhoewel baie verklarings en meganismes vir die ontwikkeling van die Suid-Afrikaanse landskap in die literatuur gevind is, is daar een aspek waarvoor konsensus onder alle skrywers heers, naamlik dat die ontwikkeling van die makrolandskap met die opbreek

van Gondwanaland in aanvang geneem het (King, 1962, 1963; De Swart & Bennet, 1974; Tankard *et al.*, 1982; Malherbe *et al.*, 1986; Partridge & Maud, 1987; Marshall, 1987a & b; Moon & Dardis, 1988; Myburgh, 1997; Partridge, 1998). Die meeste van die getuies vir die tektoniese geskiedenis vir die subkontinent kom vanuit die studie van erosieoppervlakke (planation surfaces) en hoewel daar teenkanting teen die idee is (vergelyk Gilchrist & Summerfield (1991:560) en Fleming *et al.* (1999:209)), is skrywers soos Ollier (1981:147) en andere oortuig dat sodanige oppervlakke wel voorkom - veral in die suidelike kontinente. Die aard van die erosieoppervlakke en die ontstaan daarvan is, soos voorheen genoem, egter wel 'n twispunt (byvoorbeeld Davis en King se modelle). In Suider-Afrika word die model van King deur die meerderheid van skrywers oor landskapontwikkeling aanvaar en die navorsing grotendeels gebaseer op die voorkoms van drie erosieoppervlakke (Tabel 2.1). Helgren (1979) bestudeer die morfostratigrafie van palaeo-dreinerings en terrasse langs die Middel-Oranje. Die werk van Partridge en Maud (1987) is gebaseer op die ontleding van palaeo-gronde, die vorming van hardebank en verweringsoppervlakke en afsettings op die westelike kontinentale plat. Marshall (1987a, 1987b) konsentreer op die morfotektoniese ontwikkeling van die sentrale gedeeltes van die land en gee 'n verklaring vir die ontwikkeling van die panne in die gebied. Myburgh (1997) stel 'n alternatiewe model voor deur van sedimentologiese en pedo-geomorfologiese beginsels gebruik te maak terwyl De Wit (1999) diamantdraende gruieste in die westelike gedeelte van die land ondersoek. Tabel 2.1 gee 'n kort opsomming van die belangrikste geomorfologiese gebeurtenisse in Suider-Afrika sedert Gondwana.

Tabel 2.1 Geomorfologiese ontwikkeling van Suider-Afrika

Erosieperiode	Gebeurtenis	“Reliëf”	Oouderdom
Post Afrika 2	Glasio-eustatische seevlak en klimaatverandering	Wisselend	
			tot Holoseen (<0,01Ma)
	Opheffing en monoklinale afbuiging (SO)	+900m (oos) +100m (wes)	laat Plioseen (3,4 - 1,64Ma)
Post Afrika 1		-100 tot -300m tov Afrika-oppervlak.	tot laat Plioseen (2,5Ma)
	Opheffing	+150 tot +300m	Mioseen (18Ma)
Afrika		-500 tot -600m	tot vroeë Mioseen (18Ma)
	Opbreek van Gondwana		142-133Ma (oos) 127Ma (wes) 100Ma (suid)
Gondwana		Afsetting, vulkanisme en opheffing	

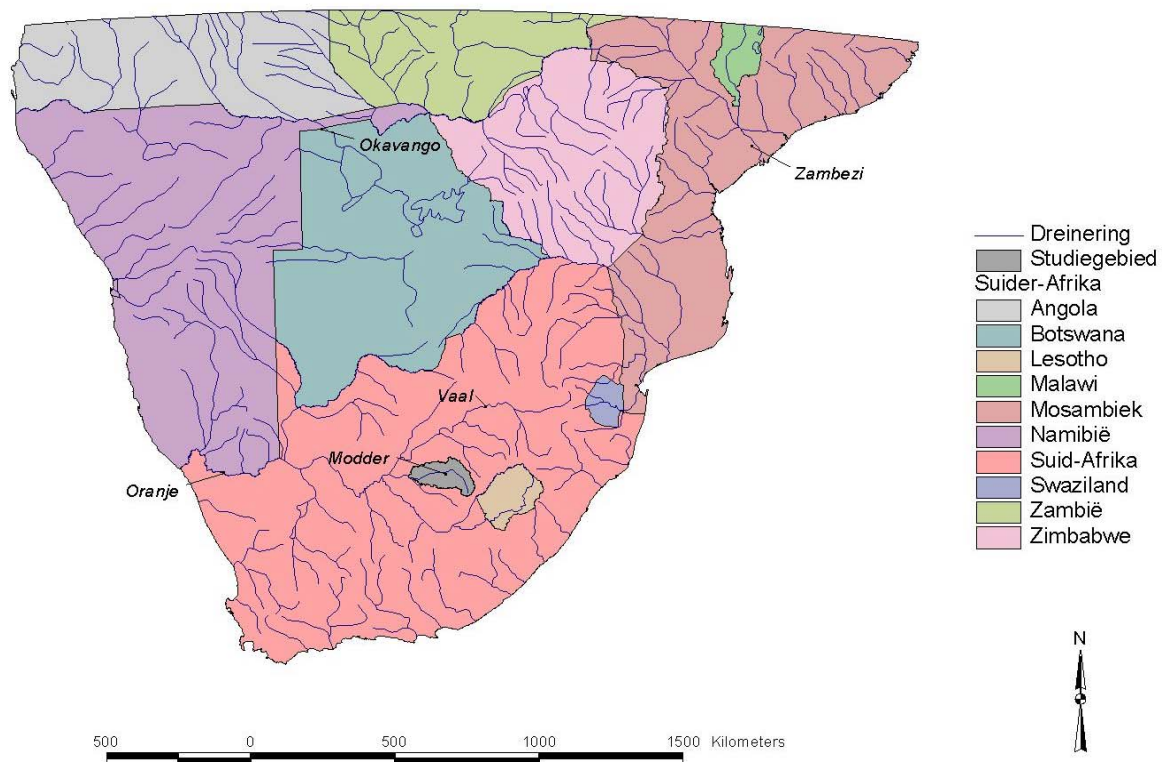
Saamgestel uit Partridge & Maud, 1987; Marshall, 1987; Moon & Dardis, 1988; Myburgh, 1997 en Moore, 1999

#### 2.5.4 Die ontwikkeling van die Oranjerivier-dreineringsbekken

Die dreinerings van Suider-Afrika kan in vier duidelik onderskeibare streke verdeel word (Figuur 2.9).

- Die dreinerings van die oostelike en suidelike eskarp (bv. die Tugela) wat die direkte gevolg is van opheffing teen die einde van die Plioseen (King, 1982:53) en degraderend van aard is.
- Die Limpoporivier wat sedert sy ontstaan in 'n strukturele trog geleë is en aggraderend is, dreineer die noordelike gedeelte van die land ooswaarts (Marshall, 1987:41 en Dardis *et al.*, 1988: 37).
- Die uitgebreide, weswaartse dreinerings van die binneland met die Oranje-Vaal as grootste rivierstelsel.
- Die binnelandse dreineringsbekken van die Okavangostelsel.

Vir die studie is die ontwikkeling van die Oranje-Vaalstelsel belangrik en word vervolgens bespreek.



Saamgestel uit ESRI: 1996d

Figuur 2.9 Die dreineringstelsels van Suid-Afrika

#### 2.5.4.1 Gondwana

Met die opbreek van Gondwana en die gevolglike verwydering van die belangrike sedimentbron, suid van die huidige kuslyn, het die aard van Suider-Afrikaanse dreineringsstelsels van afsetting na denudasie verander (Helgren, 1979:462). Die ontstaan van die Groot Eskarp en 'n erosiebasis in die Proto-Atlantiese Oseaan vorm dan ook die vertrekpunt van die meeste studies wat oor landskapontwikkeling in Suid-Afrika gedoen is. Marshall (1987b:41) merk op dat die "Gondwana oppervlak" nêrens in Suid-Afrika sigbaar is nie en dat die oppervlak, volgens getuieis uit kimberliet-pype, met ongeveer 300m verlaag is.

#### 2.5.4.2 Die Afrika-periode

Gedurende 'n periode wat strek van die Kryt tot Mioseen ontwikkel die oudste (sigbare) oppervlak wat geïdentifiseer kan word, die sogenaamde Afrika-oppervlak, as 'n oorblyfsel van erosieprosesse wat na die opbreek van Gondwana plaasgevind het. Die grootste verspreiding van die Afrika-oppervlak word in die Oos-Vrystaat en binnelands

van die Groot Eskarp in die Karoo en Boesmanland aangetref (Partridge & Maud, 1987:193). Dieselfde skrywers (p192) stel dat die Oranje-rivierstelsel die Atlantiese Oseaan via die Benede-Olifantsrivier bereik het en dat die Oranje sy huidige loop eers gedurende die laat Plioseen / vroeë Pleistoseen bereik het. Die waterskeiding tussen die Limpopo en die Oranje-Vaal was gedurende die laat Kryt 75–100km verder noord as tans (Partridge & Maud, 1987:192) terwyl die Vaal vermoedelik voor die skeuring al op die kontak tussen die Ventersdorp- en Karoogesteentes gevloei het.

#### 2.5.4.3 Mioseen/Eoseen-opheffing

Partridge en Maud (1987:194) skryf die einde van die Afrika-erosie toe aan opheffing van sowat 150m langs die sogenaamde Griekwaland-Transvaal en sowat 200 – 300m langs die Ciskei-Swaziland-as gedurende die Mioseen. Hierdie opheffing versterk die bekkenvorming van die Kalahari en veroorsaak verjonging in binnelandse strome. Sedimentering aan die kus vanaf bronne uit die vasteland neem af, moontlik as gevolg van droër toestande, die vermindering van sedimentvrag in die Trans-Tswanastelsel en die ontwikkeling van grasse wat erosie kon beperk (Partridge & Maud, 1987:195-196). Myburg (1997:172) skryf die einde van die erosiesiklus toe aan drie faktore (klimatologies, asimmetriese opheffing en vulkanisme) gedurende die laat Eoseen. Beide stel egter dat die binnelandse riviere (Vaal en Oranje) teen hierdie tydperk reeds baie naby hulle huidige kanale gevloei het.

#### 2.5.4.4 Post-Afrika 1-periode

Partridge en Maud (1987:197) beweer dat die erosie tydperk slegs sowat 15–16Ma geduur het en beëindig is met opheffing gedurende die vroeë Plioseen. Helgren (1979:463) kom tot die gevolgtrekking dat die Oranje, by die huidige samevloeiing met die Vaal, gedurende hierdie tydperk (Mioseen-Pleistoseen) noordwaarts migreer het, met die middellope van die Vaal wat terselfdertyd, saam met die helling van die pre-Karoogesteentes suidwaarts beweeg het. Dit is in teenstelling met Myburgh se model wat 'n noordwaartse migrasie beweer (Myburgh, 1997:177). Marshall (1988:99) het die loop van die Paleo-Kimberleyrivier bestudeer en stel dat opheffing langs die Griekwaland-Transvaal-as gedurende die Plioseen en die gepaardgaande afbuiging van die Post-Afrika 1-oppervlak die dreinerings onderbreek en panne laat ontstaan het. Haar gedagte is dat tektoniese beweging in 'n gepostuleerde "sentrale graben" dreinerings deur die Paleo-Kimberleyrivier onderbreek het en die Wes-Vrystaatse

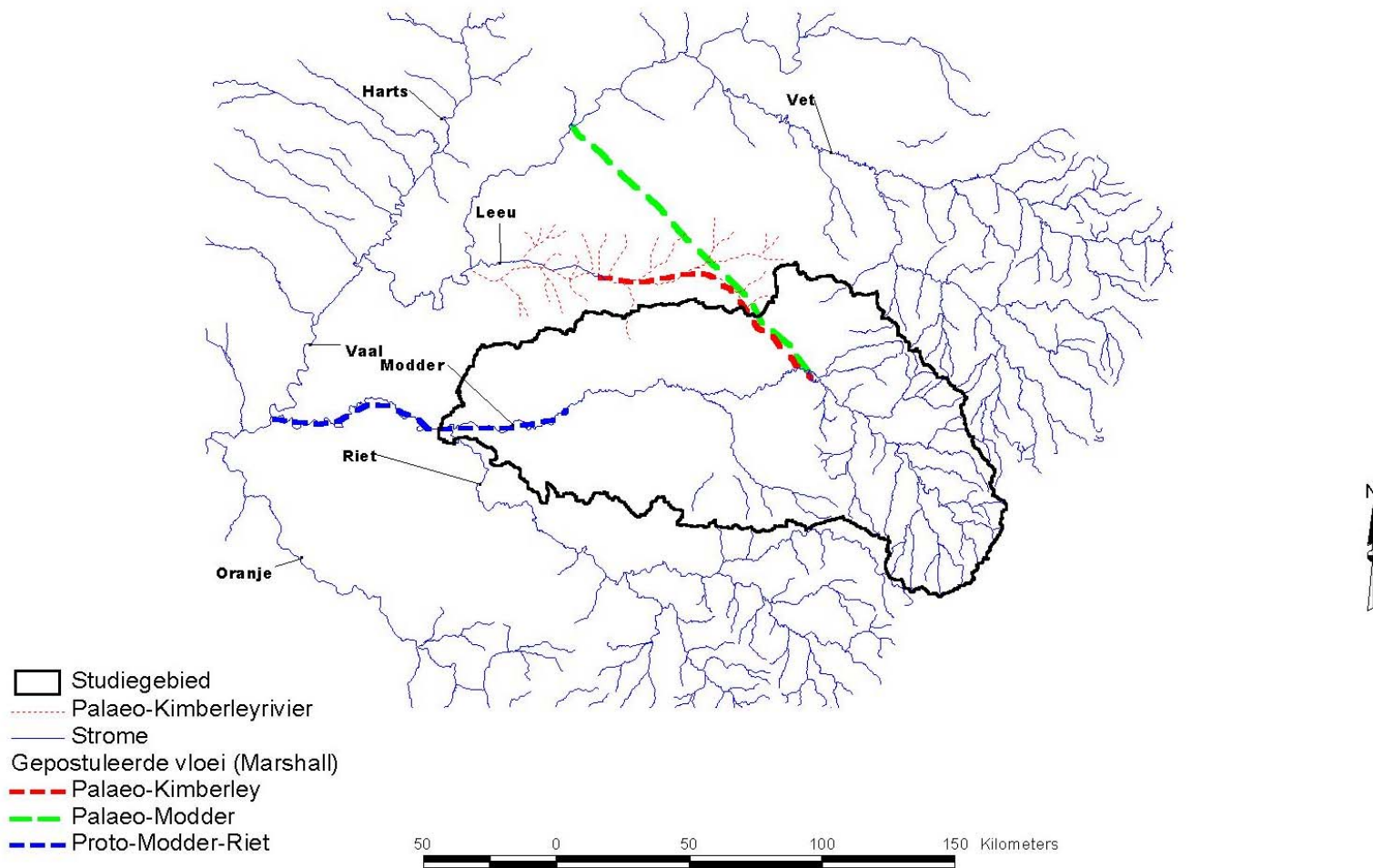
panneveld gevorm het (p97). Sy sê verder dat die Modderrivier verder noord in die Vaalrivier uitgemond en dat die Kimberleyrivier later die stroom geroof het (figuur 2.10).

#### 2.5.4.5 Tweede opheffing

Die Tweede opheffing gedurende die Laat-Tersiër is, volgens Partridge en Maud (1987:198), grotendeels verantwoordelik vir die huidige vorm van dreineringsstelsels in Suider-Afrika. Hierdie opheffing het langs dieselfde asse as die vorige plaasgevind maar was in die orde van 600–900m in die omgewing van die Ciskei-Swaziland-as, terwyl slegs sowat 100m langs die Griekwaland-Transvaal-as gepostuleer word. Die asimmetriese beweging veroorsaak dat die Proto-Modderrivier op sy beurt weer die bo-lope van die Kimberleyrivier gedurende die Plioseen-opheffing roof (Marshall, 1988:106).

#### 2.5.4.6 Post-Afrika 2-periode

Die invloed van die huidige periode van erosie word, volgens Partridge en Maud (1987:199) wyd in die binnelandse riviere en veral in die kussone waargeneem. Verskeie rivierterrasse, wat moontlik die gevolg is van klimatologiese faktore (Myburg, 1997:182), word in en om die studiegebied aangetref. Beide skrywers is dit eens dat geen noemenswaardige verandering in die algemene vorm van die dreineringsstelsel in die studiegebied plaasgevind het nie.



Saamgestel uit: Marshall, 1987 en RSA, 1999

Figuur 2.10 Die moontlike ontwikkeling van die Modderrivier gedurende die Mioseen-Plioseen

## 2.6 Geologie

Die geologiese aard van 'n gebied is een van die drie primêre faktore (struktuur, proses en tyd) wat belangrik is in landskapontwikkeling. In hierdie gedeelte word na drie aspekte van die geologie in die Modderrivieropvanggebied gekyk. Die litologie (makroskopiese fisiese eienskappe van gesteentes) beïnvloed prosesse soos verwerking, terwyl die geologiese struktuur belangrik is in die ruimtelike verspreiding van landvorme. Die geologiese geskiedenis van die gebied vorm ook 'n belangrike raamwerk waarbinne die fisiese eienskappe van die studiegebied beskou moet word.

### 2.6.1 Stratigrafie en litologie

Die Modderrivieropvanggebied word hoofsaaklik onderlê deur gesteentes van die Karoo-opeenvolging (figuur 2.11 en tabelle 2.2, 2.3 en 2.4). Sedimentêre gesteentes van die Beaufort- en Eccagroep is die dominante moedergesteente in die gebied en word in groot gedeeltes oorlê deur kwaternêre alluvium, sand en kalkkreet.

#### 2.6.1.1 Pre-Karoo

Andesiet van die Allanridge-formasie (Ventersdorp-supergroep) dagsoom in die weste van die studiegebied en Myburgh (1997:27, 28) meld die voorkoms van granitiese gneissdagosome in die Bloemfonteinomgewing.

#### 2.6.1.2 Dwyka-formasie

Die gletserafsettings van die Dwyka-formasie<sup>1</sup> kom aan die basis van die Karoo-opeenvolging voor (RSA, 1989: 137). 'n Enkele dagsoom van Dwyka tilliet (diamiktiet) is in die weste van die studiegebied aanwesig.

#### 2.6.1.3 Eccagroep

Die Eccagroep het waarskynlik in 'n vlak intrakratoniese depressie waarin modder, slied en deltaïese materiaal in 'n vars- of brakwateromgewing afgeset is, ontstaan. Die depressie was waarskynlik 'n oorblyfsel van die Dwyka vergletsering (Tankard *et al.*,

---

<sup>1</sup> "Dwyka-groep" volgens Geologiese opname se "Toeligting tot die Kimberley geologiese kaart" (RSA 1993:21)

1982:371 en Visser, 1986:15). Die grys modderstene van die Prince Albert-skalieformasie dagsoom in die verre weste van die gebied. Die Whitehill-skalieformasie dagsoom in enkele lokaliteite in die Kimberley-omgewing en is vermoontlik van mariene oorsprong (Tankard *et al.*, 1982:372). Die mika- en karbonaatryke moddersteen van die Tierberg-skalieformasie kom in die sentrale gedeelte van die studiegebied voor.

#### 2.6.1.4 Beaufort-groep

Dagsome van moddersteen en sandsteen van die Adelaide-subgroep kom in die ooste voor. Dagsome van moddersteen en sandsteen van die Tarkastad-subgroep vorm die oostelike waterskeiding van die Modderrivieropvanggebied.

#### 2.6.1.5 Stormberg-groep

Die hoogste punt in die opvanggebied, Thaba Nchu, word gevorm deur die sandstene van die Molteno-, Elliot- en die Clarens-formasies (Dingle *et al.*, 1983:12 en Botha *et al.*, 1998:13).

#### 2.6.1.6 Karoo-indringings

Dolerietindringings in die vorm van plate, gange en kringgange kom wydverspreid in die studiegebied voor.

#### 2.6.1.7 Post-Karoo-indringings

Enkele kimberlietyppe (volgens Maud *et al.* (1998:320) tot 86Ma oud) kom in die studiegebied voor, sommige hiervan, soos in die Kimberley- en Boshofomgewing, is diamanthoudend.

#### 2.6.1.8 Kwaterneêre afsettings

Sedimente van kwaterneêre ouderdom (jonger as 2Ma) kom wyd verspreid in die Modderrivieropvanggebied voor. Hoewel die oorsprong van die sediment nie altyd duidelik is nie, kan drie tipes onderskei word.

#### 2.6.1.8.1 Sand

Ongekonsolideerde sand kom verspreid in die weste van die studiegebied voor (RSA, 1992:24; 1993:36 en 1995:24). In teenstelling met Piaget (1963), word die oorsprong van die sande deur verskeie skrywers as eolies beskou. Engelbrecht (1973:61) beskryf geronde, geëtsde kwartskorrels 0,09 - 0,85mm in deursnee in 'n gebied noord-wes van Kimberley. Potgieter (1974:61) het met sif-analises en elektronmikroskopiese ondersoek aangetoon dat sandmonsters uit die westelike gedeelte van die Modderrivieropvanggebied wel eolies van oorsprong kan wees maar dat fluviale prosesse (p62) ook 'n rol in die korrelgrootte verspreiding van die materiaal kon gespeel het. Hoewel Loock (2000: pers. med.) beweer dat daar net skalies in die weste van die studiegebied voorgekom het en dat die sande nie van lokale oorsprong kan wees nie, stel Joubert (1990:47) dat sande in die Florisbad-omgewing (noord van Bloemfontein) nie eolies van oorsprong is nie.

#### 2.6.1.8.2 Kalkreet

Afsettings van kalsiumkarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) kom hoofsaaklik in drie vorms in die gebied voor. Gelamineerde hardebank kalkreet is redelik algemeen in hoërliggende gebiede, weg van dreineringslyne en is dikwels geassosieer met gesteentes van die Ecca-groep. Die vermoede bestaan dat die verdamping van grondwater vir die vorming van die kalkreet verantwoordelik is (RSA, 1992:23; 1993:35 en 1995:23). Knollige kalkreet vorm meer dikwels in ongekonsolideerde materiaal en kan diktes van tot 10m bereik (RSA, 1993:35 en 1995:23). Tipiese voorbeelde hiervan word op panvloere en in lunet-duine gevind. Toefa-afsettings is beperk tot fonteine in die gebied met Florisbad as die bekendste voorbeeld. Die oppervlakte wat deur kalk onderlê word, bereik 'n maksimum in die weste (RSA, 1992 en 1993).

#### 2.6.1.8.3 Alluvium en kolluvium

Alluviale afsettings is beperk tot die vloedvlakte van die Modderrivier met sporadiese voorkomste langs kleiner strome. Die materiaal bestaan gewoonlik uit kruisgelaagde en lensvormige konglomerate waarin fossiele heel dikwels gevind word. Langs die Vaal- en Rietriviere (buite die studiegebied) word ook soms diamantdraende gruis aangetref. Kolluvium is beperk tot heuwels waar dolerietrolblokke teen die hang versamel en onder die invloed van gravitasie teen die helling af beweeg (RSA, 1992:24; 1993:39 en 1995:25).

Tabel 2.2 Die stratigrafie van die Modderrivieropvanggebied

TYDSKAAL		SUID-AFRIKAANSE STRATIGRAFIE			OORSPRONG EN LITOLOGIE			
Ouderdom (ma)	EONOTEM	ERATEM	SISTEEM	Opeenvolging, Supergroep	Groep, Subgroep	Formasie		
0,01 1,64	FANEROSOÏKUM	Senosoïkum	Kwaternêr Holoseen Pleistoseen		Kalahari		Sedimentêr (fluviaal, chemies, eolies)	
18 65			Tersiêr Plioseen Mioseen					
86 145		Mesosoïkum	Kryt	(Kimberliet)		Drakensberg	Stolling (Intrusief) Doleriet Stolling (Ekstrusief) Basalt	
195			Jura	(Karoo doleriet)				
			Trias					
230		Paleosoïkum	Perm	Karoo Opeenvolging	Stormberg	Clarens Elliot Molteno	Sedimentêr (eolies) Sandsteen Sedimentêr (fluviaal) Moddersteen/Skalie Sedimentêr (fluviaal) Sandsteen/Skalie	
					Beaufort Tarkastad	Burgersdorp Katberg	Sedimentêr (fluviaal en binnelandse komme) Moddersteen	
					Adelaide	Teekloof Abrahamskraal	Sedimentêr (fluviaal en binnelandse komme) Moddersteen	
286 345 360				Karboon			Tierberg Whitehill Prince Albert	Sedimentêr (Mariene afsettings) Skalie
2620		PROTEROSOÏKUM	Vaalium		Ventersdorp Supergroep		Allanridge	Stolling Andesiet
???	ARGEOSOÏKUM	Randium					Dwyka Tilliet/Diamiktiet	

Bronne: Brink, 1983 en 1985; RSA, 1966, 1989, 1992, 1993, 1995 en 1999; SACS, 1980; Visser, 1986

Tabel 2.3 Stratigrafie as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

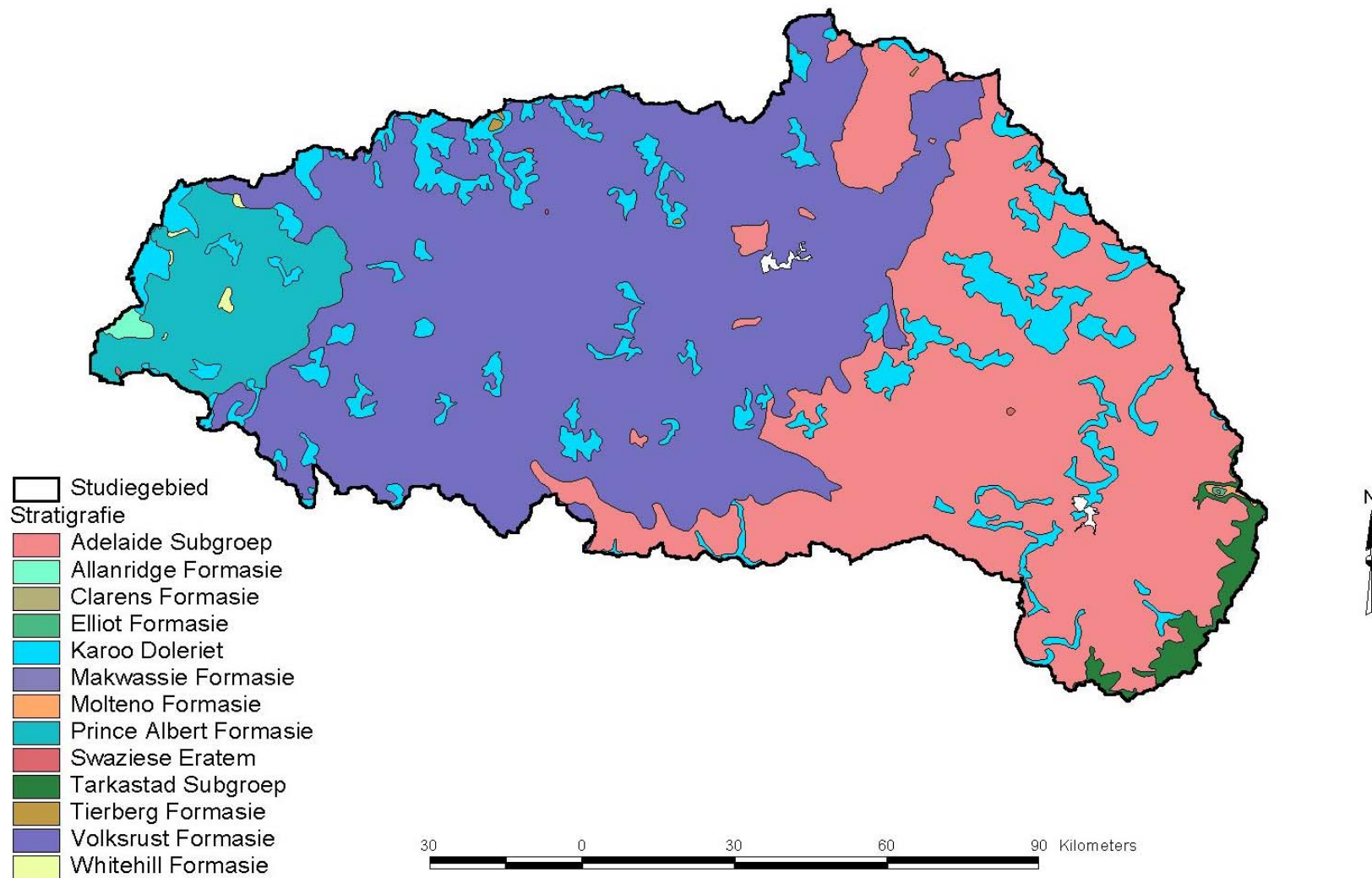
Opvanggebied	Adelaide	Ecca	Kalahari	Drakensberg	Tarkastad	Ventersdorp
C52A	90,89%				9,11%	
C52B	83,22%				16,78%	
C52C	97,11%				2,89%	
C52D	100,00%					
C52E	94,95%	5,05%				
C52F	93,08%	6,92%				
C52G	17,63%	82,37%				
C52H	4,67%	95,33%				
C52J	36,34%	63,66%				
C52K	3,38%	81,88%	6,67%	8,06%		
C52L		58,60%	28,53%	11,97%		0,90%
Gemiddeld	31,46%	57,62%	5,62%	3,67%	1,51%	0,12%

Saamgestel uit: RSA, 1999

Tabel 2.4 Litologie as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

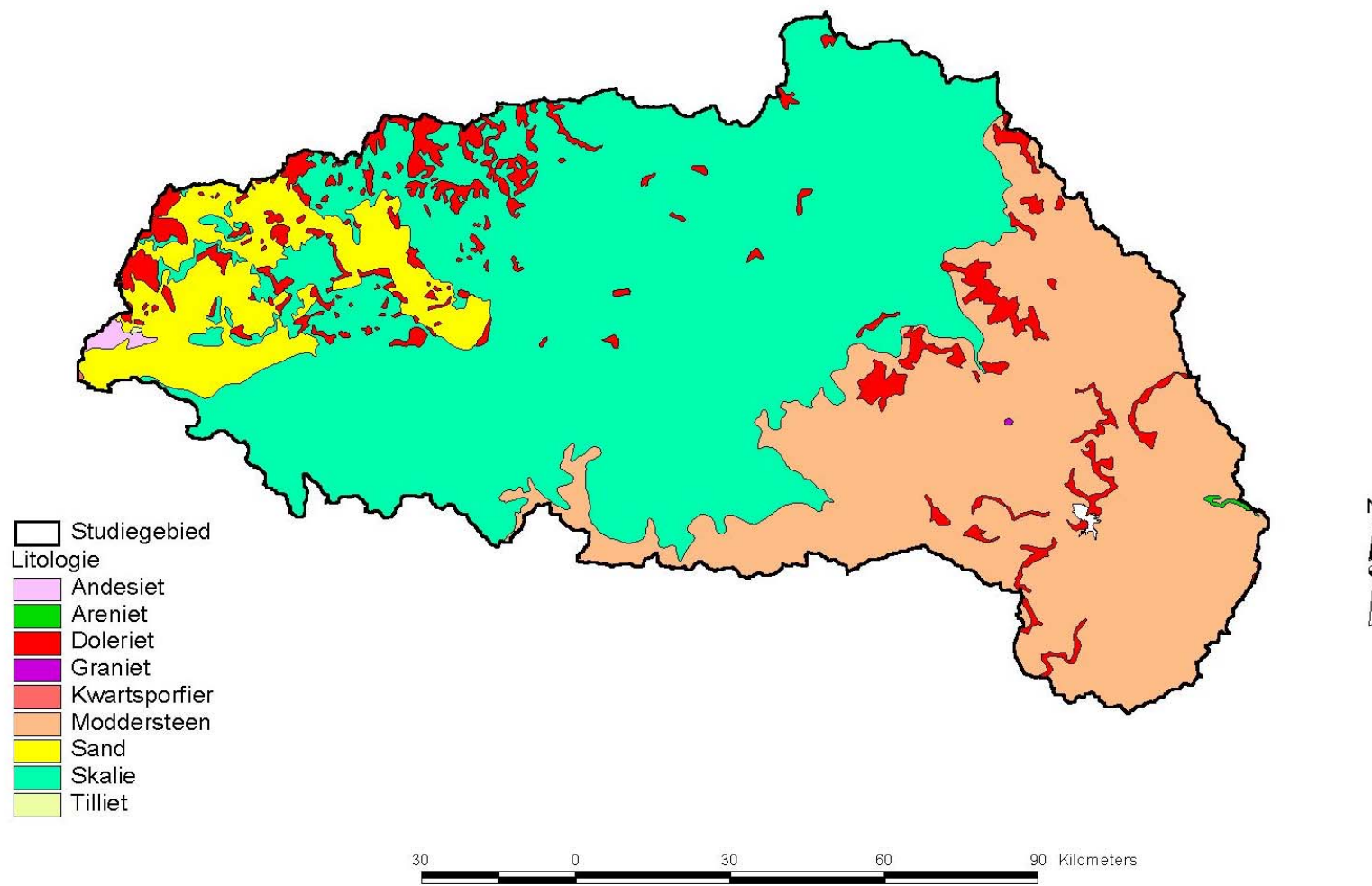
Opvanggebied	Andesiet	Stollingsgesteentes	Moddersteen, Sandsteen	Resente afsettings	Sandsteen, skalie
C52A			100,00%		
C52B			100,00%		
C52C			100,00%		
C52D			100,00%		
C52E			94,95%		5,05%
C52F			93,08%		6,92%
C52G			17,63%		82,37%
C52H			4,67%		95,33%
C52J			36,34%		63,66%
C52K		8,06%	3,38%	6,67%	81,88%
C52L	0,90%	11,97%		28,53%	58,60%
Gemiddeld	0,12%	3,67%	32,97%	5,62%	57,62%

Saamgestel uit: RSA, 1999



Saamgestel uit RGW, 2001

Figuur 2.11a Stratigrafie van die Modderrivieropvanggebied



Saamgestel uit RSA, 1999

Figuur 2.11b Litologie van die Modderrivieropvanggebied

## 2.7 Grond

Die bestudering van gronde in Suid-Afrika het reeds in die vroeë jare van die twintigste eeu begin, maar 'n beskrywing van die verspreiding van gronde in die land is eers in 1941 vir die eerste keer gepubliseer met 'n verbeterde uitgawe in 1962 (Van der Merwe, 1962). Sedertdien het 'n paar ander publikasies wat die verspreiding van gronde in die land bespreek, verskyn. Aangesien die doelwitte van hierdie verslae uiteenlopend was (van landboupotensiaal (IGKW, 1984), oppervlakwaterhulpbronne (Middleton *et al.*, 1981) tot ingenieursgeologie (Brink, 1985)) en die Suid-Afrikaanse grondklassifikasiesistelsel (Macvicar *et al.*, 1977 en Grondklassifikasie-werkgroep, 1991) boonop nie-generies is, is dit moeilik om 'n geheelbeeld van grondeienskappe van 'n gebied groter as die gemiddelde plaas weer te gee. Drie klassifikasiesistelsels is beskikbaar. Die pedologiese klasse van Brink (1985) is gebaseer op grondvormende faktore soos moedermateriaal en geomorfologiese prosesse terwyl die landboukundige stelsels van Van der Merwe (1962) en die Grondklassifikasie-werkgroep (1991) op prosesse werksaam binne die grondprofiel gebaseer is. Die derde stelsel, landtipes, is gegrond op 'n kombinasie van klimaat, grondtipe en topografie (IGKW, 1984:1). 'n Kort omskrywing van die stelsels word ter wille van agtergrond gegee maar, na oorweging van die beskikbare data, is besluit om van landtipes gebruik te maak as basis vir die grondinligting vir die studie.

### 2.7.1 Die Suid-Afrikaanse grondklassifikasiesistelsel

Die Suid-Afrikaanse grondklassifikasie is 'n binomiese hiërargiese stelsel waardeur gronde in vorms en series (die konsep "families" word in die 1991 weergawe van die stelsel bekendgestel) onderskei kan word. 'n Grondvorm word geïdentifiseer deur 'n unieke opeenvolging van diagnostiese horisonte. Series word onderskei op grond van verskillende eienskappe in diagnostiese horisonte binne die grondvorm. Hierdie eienskappe is, onder meer, klei-inhoud, sandgraad, kleur, kalkinhoud, aard van logging of struktuur. Op grond van besonderhede uit die landtipes van die studiegebied is 28 grondvorms en 105 series in die gebied aanwesig (Bylae A).

### 2.7.2 Grondgroepe

Van der Merwe (1962:15) onderskei grondgroepe op die basis van kenmerkende morfologie, klimaat, moedermateriaal, plantegroei en grondvormende prosesse. Die volgende groepe kom in die studiegebied voor:

**Ariede en semi-ariede bruin gronde op ongekonsolideerde sedimente en kalkreet.** Die moeder materiaal is oorwegend eoliese Kalaharisand van verskillende diktes. In gebiede waar die sand die kalkhoudende Tierberg-formasie oorkoos, het 'n kalkreet hardebank ontwikkel. Hierdie gronde is onderhewig aan winderosie.

**Fersiallitiese gronde op sanderige moeder materiaal.** Slegs 'n smal gordel van hierdie grondgroep kom in die studiegebied voor maar is tog uit 'n geomorfologiese oogpunt belangrik aangesien dit 'n aanduiding gee van eoliese moeder materiaal en 'n hoë potensiaal vir vervoer deur wind impliseer. As gevolg van die goeie dreinerings van die gronde word geen tekens van die geel kleur wat soms op hellings in die gebied voorkom, gevind nie.

**Solonets en gesolodiseerde solonets.** Die gronde van hierdie groep toon eienskappe tipies van die skalies (Adelaide-subgroep) waaruit hulle ontstaan het. Die gronde is alkalies met 'n geneigdheid tot plaat- en donga-erosie.

**Hoëveld pseudo-podsoliese gronde.** In die hoër reënvalgebiede van die oostelike gedeelte kom gronde met 'n goed ontwikkelde A-horison en 'n hoër humusinhoud voor. Met die uitsondering van kleierige gronde rondom dolerietindringings het die gronde in die gebied 'n hoë sand- en slikinhoud en is daarom ook vatbaar vir donga- en plaaterosie.

### 2.7.3 Pedologiese klasse

Pedologiese klasse word onderskei op grond van die graad van verandering van die oorspronklike moeder materiaal (Brink, 1985:275). Vyf pedologiese klasse word in die Modderivieropvanggebied aangetref. Tabel 2.5 gee 'n aanduiding van die aard van die klasse.

#### 2.7.3.1 Fersiallitiese gronde

Fersiallitiese gronde is volgens Brink (1985:278) 'n grondtipe met 'n ontwikkeling tussen smektitiese kleie en ferralitiese gronde. Die Grondklassifikasiewerkgroep (1991:222) beskou 'n fersiallitiese grond as minder verweer as ferralitiese gronde met 'n hoër kationuitruilvermoë (KUV) in die kleifraksie en waarin verweerbare primêre minerale nog aanwesig is. Twee subklasse kom in die studiegebied voor: fersiallitiese sand en leem, eoliese sand, hoofsaaklik rooi en met 'n smal vereffening en fersiallitiese sand en leem op eoliese sand, hidromorf en hoofsaaklik geel met 'n smal vereffening.

#### 2.7.3.2 Smektitiese kleie

Hierdie gronde word gekenmerk deur die teenwoordigheid van montmorilloniet, nontroniet en ander swellende kleie in die smektietgroep en het eienskappe tipies van vertisols. Swart kleigronde kom algemeen voor in laagliggende gedeeltes en gebiede waar doleriet en kalkhoudende Eccamoddersteen aanwesig is. Rooi kleie is minder algemeen in die studiegebied en kom in beter gedreineerde gebiede voor.

#### 2.7.3.3 Solonetsiese en planosoliese gronde

Gronde met 'n donker, goed ontwikkelde pedo- of prismakutaniese B-horison en met of sonder 'n E-horison. Hierdie gronde is oor die algemeen vatbaar vir erosie en kom dikwels op moddersteen van beide die Ecce- en Beaufortgroepe voor. Daar word onderskei tussen gronde met sanderige leem horisonte en gronde met 'n kleierige A-horison.

#### 2.7.3.4 Arenosols

Hierdie klas verteenwoordig gronde met swak profielontwikkeling op getransporteerde materiaal. Die rooi sandgronde van die westelike deel van die studiegebied val in hierdie klas.

#### 2.7.3.5 Litosols en ander swak ontwikkelde vlak gronde

Kalkhoudende sand en leem, vlak sande en leem en litosols is wydverspreid in die studiegebied.

Tabel 2.5 Pedologiese klasse van die studiegebied

Pedologiese klas	Subklas	Tekstuur	SA Klassifikasie	Klei-inhoud (%)	Moedermateriaal
Arenosols (rooi)	6b	Sand	Hutton		Eoliese sand
Fersiallities	a2	Sand en leem	Hutton, Bainsvlei		Eoliese sand
Fersiallities	c2	Sand en leem	Clovelly, Avalon, Glencoe, Pinedene		Eoliese sand
Litosols	0a	Sand, leem	Glenrosa (sonder kalk)	< 15	Sand of sliksteen
Litosols	0c		Mispah, Glenrosa (met kalk)	> 15	Basiese stollingsgesteentes, moddersteen
Litosols	0e		Mispah, Glenrosa (met kalk)	> 15	Basiese stollingsgesteentes, kalksteen
Litosols (Kalkryk)	8a	Sand en leem	Mispah		Kalkreet met vlak sande
Litosols (Kalkryk)	9a	Sand en leem	Mispah		Kalkreet met vlak sande
Planosolies	4b	Sandleem	Valsrivier, Swartland	15-35	Modderstene van Elliotformasie, Beaufortgroep, alluvium
Planosolies	4c	Klei A-horison	Valsrivier, Swartland	>35	Moddersteen
Smektitiese klei, (swart)	3a	Klei	Arcadia,		Basiese stollingsgesteentes, Ecce en Kryt-moddersteen
Smektitiese klei, (rooi)	3b	Klei	Shortlands		Karoo moddersteen
Solonetsies	4b	Sandleem	Estcourt, Sterkspruit en Kroonstad	15-35	Moddersteen van Elliotformasie, Beaufortgroep, alluvium
Solonetsies	4c	Klei A-horison	Estcourt, Sterkspruit en Kroonstad	>35	Moddersteen

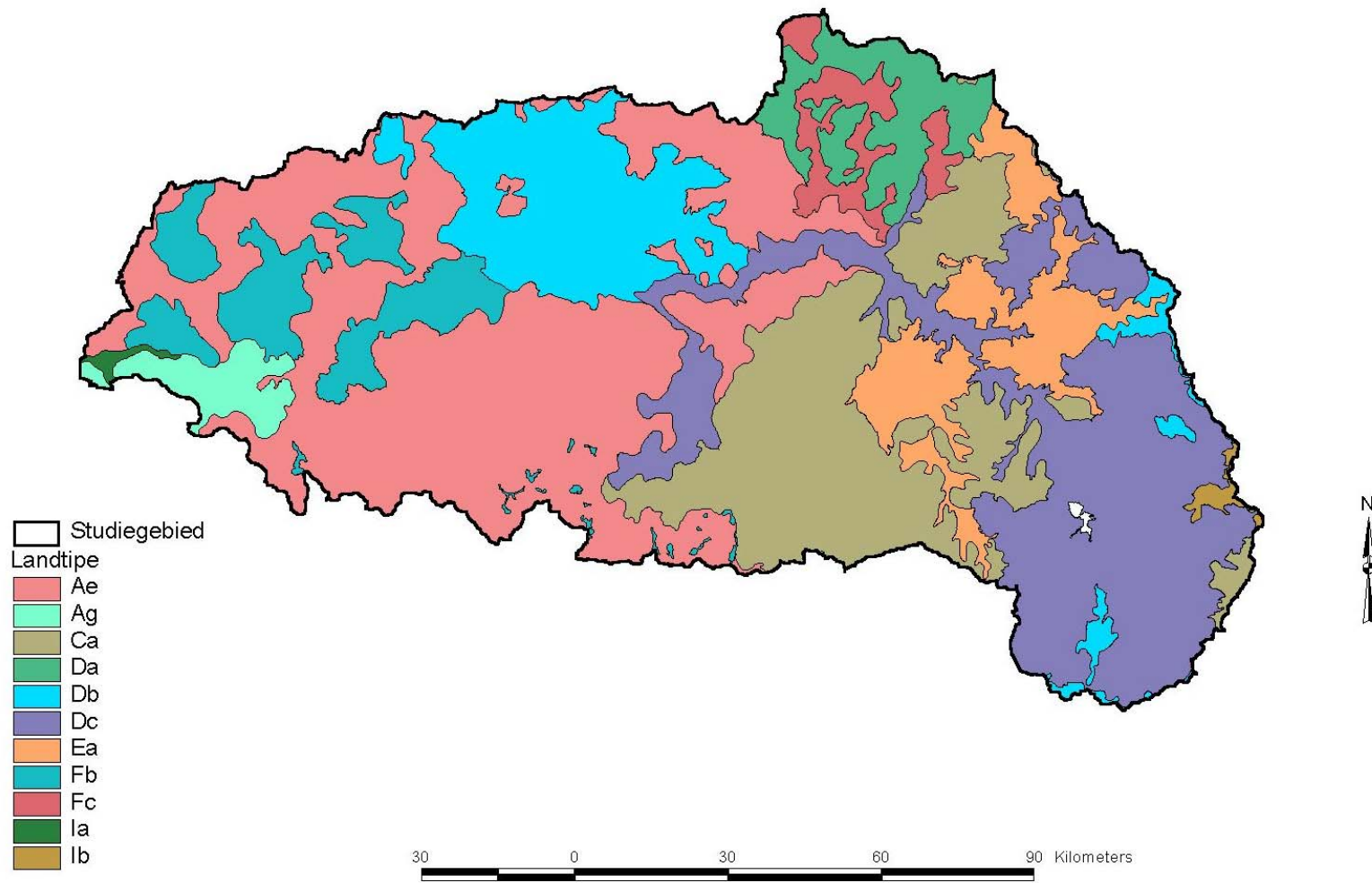
Bron: Brink, 1985

## 2.7.4 Landtipes in die Modderrivieropvanggebied

’n Landtipe word omskryf as "’n gebied wat op ’n skaal van 1:250 000 aangetoon kan word en wat ’n opvallende mate van eenvormigheid ten opsigte van terreinvorm, grondpatroon en klimaat toon" (RSA, 1984:8). Landtipes word hoofsaaklik onderskei deur van grondpatrone of kaarteenhede gebruik te maak. Vier en vyftig landtipes is in die Modderrivieropvanggebied aanwesig (IGKW, 2000). Elke landtipe is verder op grond van terreineenhede in ’n kombinasie van grondseries verdeel. Tabel 2.6 gee ’n aanduiding van die algemene aard van die kaarteenhede wat in die studiegebied voorkom terwyl figuur 2.12 die verspreiding van die kaarteenhede in die studiegebied toon.

Tabel 2.6 Kaarteenhede vir landtipes

Kaarteenhede	Beskrywing	Aantal landtipes
A	Rooi-geel apedale en goedgebreideerde gronde	16
C	’n Plintiese katena met hoogliggende dupleks en/of margalitiese gronde	6
D	Gronde met dominante prismakutaniëse en/of pedokutaniëse diagnostiese horisonte	14
E	Gronde met een of meer van: vertiese, melaniëse en rooi gestruktureerde diagnostiese horisonte	4
F	Pedologiese jong gronde	6
I	Diverse gronde	8



Saamgestel uit RSA, 1999 en IGKW, 2002

Figuur 2.12 Kaarteenhede vir landtipes

## 2.8 Plantegroei

Plantegroei is 'n belangrike komponent in die fisiese omgewingsisteem, nie net wat produksie in die biosfeer betref nie, maar ook die rol wat plantegroei as regulerende komponent in die geomorfosfeer speel. Die mees direkte invloed van plantegroei in geomorfologiese prosesse is op afloop, vervoer, erosie en massabeweging (Selby, 1993; Leopold *et al.*, 1995 en Goudie, 1995), reënvalonderskepping (De Villiers, 1975) en, in 'n mindere mate, op verwering (Viles, 1990 en Knighton, 1998). In die volgende gedeelte word 'n beskrywing van die natuurlike plantegroei van die Modderrivieropvanggebied gegee.

### 2.8.1 Beskrywing van plantegroeitipes

Daar bestaan verskeie maniere om die natuurlike plantegroei van 'n gebied te beskryf (Tivy, 1982:168 e.v.). Uit 'n biogeografiese oogpunt word die aarde se plantegroei in ses plantkoninkryke verdeel. Twee hiervan, die Paleotropiese (Afrika) en die Kaapse koninkryke, kom in Suider-Afrika voor. 'n Funksionele beskrywing in die vorm van biome kan gebruik word in die beskrywing van plantegroei op 'n makroskaal. Op 'n mesoskaal kan plantgemeenskappe beskryf word terwyl 'n taksonomiese beskrywing gewoonlik op die mikroskaal gebruik word.

Die omvang van die studiegebied is van so 'n aard dat 'n taksonomiese beskrywing van plante nie haalbaar is nie. Daar word dus volstaan met 'n beskrywing van biome en breë plantgemeenskappe. 'n Bioom word algemeen beskou as 'n uitgebreide ekologiese gemeenskap wat bestaan uit tipiese plant- en diergemeenskappe onder die invloed van 'n spesifieke klimaatsisteem (Clark, 1987; Bradshaw & Weaver, 1993 en Miller, 1996). Twee skrywers het reeds die plantgemeenskappe van Suid-Afrika beskryf: Acocks (1988) se beskrywing is grootliks gebaseer op landboupotensiaal (p1) en hy noem agt "veldtipes" in die studiegebied. Low en Rebelo (1996:4) onderskei vier "plantegroeitipes" gegrond op plantgemeenskappe, spesiesamestelling en ekologiese prosesse (p2) in die studiegebied.

### 2.8.2 Biome en plantgemeenskappe in die Modderrivieropvanggebied

Suider-Afrika kan volgens Rutherford en Westfall (1986:34) in sewe biome verdeel word: Woud, Woestyn, Grasveld, Sukkulente Karoo, Namakaroo, Savanne en Fynbos. Gedeeltes van drie van hierdie biome, die Grasveld-, Namakaroo- en die Savannebioom kom in die studiegebied voor (Low & Rebelo, 1996:4).

In die volgende gedeelte word 'n oorsigtelike bespreking van die plantgemeenskappe (die “veldtipes” van Acocks en die “plantegroeitipes” van Low en Rebelo) waaruit die biome bestaan, gegee. Die oppervlakte wat elke plantegroeitipe in 'n kwaternêre opvanggebied beslaan word in tabel 2.7 uiteengesit en die ruimtelike verspreiding van die plantegroei word in figuur 2.13 voorgestel.

#### 2.8.2.1 Die Grasveldbloom

Die Grasveldbloom se plantegroekomponent bestaan oorwegend uit hemikriptofiete (Poaceae of die grasfamilie) met 'n kenmerkende afwesigheid van inheemse fanerofiete (bome en struik). Verskeie van die eienskappe van die bloom is aan klimaat gekoppel. Die spesiesamestelling van die bloom is afhanklik van die reënval met “suur” grassoorte (hoër vesel, lae voedingstofinhoud) in die hoër- (>650mm) en “soet” grassoorte (laer vesel, hoër voedingstofinhoud) in die laer-reënvalgebiede (<650mm). So ook neem kroonbedekking af met reënval. Grasse is bestand teen brand en beweiding maar met oorbenuiting begin pionier- en eenjarige grasse domineer (Rutherford & Westfall, 1986:53). Twee grasveldtipes, die “vogtige koel hoëveld grasveld” en die “droë sanderige hoëveld grasveld” word deur Low en Rebelo (1996) in die studiegebied onderskei.

##### 2.8.2.1.1 Vogtige koel hoëveld grasveld

In die vogtiger gedeelte van die grasveldbloom domineer rooigras (*Themeda triandra*) die graskomponent van die plantegroeitipe. Slegs 'n paar kruide kom natuurlik voor en Bredenkamp en Van Rooyen (1996a:43) merk op dat oorbeweiding die indringing van karoogtige kruide en struik bewerkstellig. Acocks (1988) onderskei twee veldtipes wat binne hierdie plantegroeitipe geplaas kan word: Die *Cymbopogon-Themedaveld* en die oorgangs-*Cymbopogon-Themedaveld*.

##### 2.8.2.1.1.1 Die *Cymbopogon-Themedaveld*

Acocks (1988:100) onderskei twee variante van die veldtipe waarvan die matig digte, kort suidelike variasie in die studiegebied verteenwoordig is. Spesies wat oorheers, is: *Themeda triandra*, *Setaria flabellata*, *Microchloa caffra*, *Cymbopogon plurinodis* en verskeie *Eragrostis*-spesies. Acocks (1988:101) noem 150 spesies in sy relatiewe volopheidstabel. Spesies soos *Eragrostis chloromelas* en *Microchloa caffra* neig om toe te neem met oorbeweiding. Hoewel Acocks sê (p101) dat die veldtipe op plekke in

’n goeie toestand is, is daar wel gebiede noord van die Modderrivieropvanggebied waar karoo-indringing al ver gevorder het.

#### 2.8.2.1.1.2 Oorgangs-*Cymbopogon-Themedaveld*

Hierdie veldtipe strek vanaf die westelike grens van die *Cymbopogon-Themedaveld* tot in die sentrale gedeeltes van die Vrystaat en is ’n oorgang na die droër vorm van die *Cymbopogon-Themedaveld* (Acocks, 1988). Terwyl *Themeda triandra* steeds oorheers, is daar volgens Acocks se spesielyste meer kruide in hierdie veldtipe teenwoordig. Voorbeelde is onder andere *Oxalis depressa*, *Gazania* spp, *Helichrysum dregeanum* en *Felicia muricata*. In sekere gebiede vervang *Eragrostis chloromelas*, *Themeda triandra* as gevolg van oorbeweiding. Karoo-indringing veroorsaak ’n gemengde, grasagtige Skyn-karooveldtipe in enkele gebiede. Acocks (p102) noem 161 spesies in die relatiewe volopheidstabel. Die eskarp plantegroei vertoon ’n doringagtige karakter met spesies soos *Acacia karroo*, *Olea europaea* subsp *africana*, *Grewia occidentalis*, *Ziziphus mucronata* en vele meer. Dié spesiesamestelling is ook tipies van die vele dolerietheuwels in die studiegebied.

#### 2.8.2.2 Droë sanderige hoëveld grasveld

Hierdie plantegroeitipe kom in droër gedeeltes van die studiegebied voor. Bredenkamp en Van Rooyen (1996b:41) beskou grasse soos *Eragrostis lehmanniana*, *E. obtusa*, en *Panicum coloratum* as diagnosties vir die tipe. Enkele bome (bv. *Acacia karroo*) kom langs strome voor, terwyl karooagtige kruide en struike soos *Pentzia incana*, *Rhus cillata*, *Chrysocoma cillata* en *Felicia muricata* wes van Bloemfontein voorkom. Die ooreenstemmende veldtipe van Acocks is die sentrale variasie van die droë *Cymbopogon-Themedaveld*. Twee verdere veldtipes kan op grond van klimaat ook as ’n droë plantgemeenskap gesien word, naamlik die Pan-turfveld en die Pan-turfveld ingeneem deur karoo.

#### 2.8.2.2.1 Droë *Cymbopogon-Themedaveld*

Acocks (1988:90) onderskei vier variasies van die droë *Cymbopogon-Themedaveld*: Die noordelike variasie kom noord van die Vaalrivier voor, die sentrale variasie tot sover suid as Bloemfontein en die suidelike en suidoostelike variasie in die Oos-Kaapprovinsie. Hoewel geen onderskeid op Acocks se kaart (1975) (vergelyk ook figuur 2.13) tussen die sentrale en suidelike variasies getref word nie, word aangeneem dat die sentrale variasie van die veldtipe in die studiegebied aanwesig is

en die noordelike grens tussen die twee variasies moontlik buite die grens van die Modderrivieropvanggebied geleë is.

*Themeda triandra* is steeds die dominante spesie in hierdie veldtipe maar spesies soos *Aristida congesta* subsp. *congesta*, *Eragrostis lehmanniana*, *E. superba* en *Cynodon dactylon* is meer prominent as in die vogtiger veldtipes. Daar is ook merkbare tekens van karoo-indringing in hierdie veldtipe (Acocks, 1988:11). Hy raam die aantal spesies in die relatiewe volopheidstabel op 231 (p104).

#### 2.8.2.2.2 Pan-turfveld

Hierdie veldtipe kom op die kleierige gronde rondom die panne in die Wes-Vrystaat voor. Acocks (1988:105) beskryf die veldtipe as 'n baie digte *Themeda*-veld. Spesies soos *Panicum coloratum*, *Eragrostis chloromelas*, *E. obtusa*, en *E. plana* is van die ander dominante grasse. In die vogtiger dele is *Echinochloa holubii*, *Sporobolus tenellus*, *Platycarpha parvifolia*, *Diplachne fusca*, *Panicum laevifolium*, en *Eragrostis bicolor* die dominante grasse. Die veldtipe is nie in 'n baie goeie toestand nie en word in so 'n mate ingeneem deur karooplantegroei dat Acocks 'n afsonderlike veldtipe, Pan-turfveld ingeneem deur karoo, identifiseer.

#### 2.8.2.2.3 Pan-turfveld ingeneem deur karoo

Acocks (1975) beskou hierdie veldtipe as 'n skyn-karootipe en onderskei twee "subtipes" op die basis van kleierige (turf) gronde en kalkrete (Acocks1988:90)<sup>2</sup>. Plantegroei op die kleierige gronde is yl met baie min meerjarige grasse en etlike kruide, terwyl eenjarige grasspesies soos *Aristida adscensionis*, *Chloris virgata*, *Tragus berteronianus*, *Brachiaria marlothii* en *Sporobolus coromadelianus* wydverspreid voorkom. Hy stel ook dat die oorspronklike plantegroei op die panvloere 'n permanente *Echinochloa holubii*-veld moes gewees het. In gebiede waar kalkreet ontbloot is, is die skyn-karooplantegroei meer dominerend hoewel daar dikwels oorblyfsels van die *Themeda*-veld voorkom. Acocks (p90) vermoed ook dat groot dele van die Suid- en Wes-Vrystaat wat as skyn Bo-karoo beskryf word, eerder as hierdie veldtipe, of 'n variasie daarvan, beskou kan word.

---

<sup>2</sup> Toefa (die term wat hier deur Acocks gebruik word) is 'n kalkhoudende varswaterafsetting (bv. fonteinafsettings) terwyl slegs kalkreet, 'n hardebanksafsetting, in die studiegebied voorkom (Brink, 1985:290 e.v.).

## 2.8.2.2 Die Namakarooboom

Die term "Karoo" verwys tradisioneel na die droë binneland van Suider-Afrika maar daar word volgens Rutherford en Westfall (1986:55) onderskei tussen die Namakaroo (op die Kaapse, Vrystaatse en Namibiese platogebiede) en die Sukkulente Karoo van Namakwaland en Namibië. Die plantegroei van die Namakaroo bestaan hoofsaaklik uit chamaefiete en hemikriptofiete, met grasse as 'n kleiner komponent ten opsigte van die kruide. Rutherford en Westfall (p56) beskou dit egter as 'n onstabiele toestand wat beheer word deur weidingsdruk. Vanweë die lae reënval in die gebied is die plantegroei goed aangepas om droogtetoestande die hoof te bied. Slegs een van die ses plantegroeitipes wat Low en Rebelo (1996:53 e.v.) in hierdie bioom onderskei, die oostelike gemengde Namakaroo, kom in die studiegebied voor.

### 2.8.2.2.1 Oostelike gemengde Namakaroo

Hoffman (1996:55) beskou hierdie plantegroeitipe as 'n oorgang (ekotoon) tussen die Karoo- en Grasveldbiome. Die noordoostelike gedeelte (waarin die Modderrivieropvanggebied geleë is) het die hoogste jaarlikse neerslag en daarom ook 'n meer prominente grasveldkomponent. Die spesiesamestelling in dié gebied word dan ook hoofsaaklik deur beweiding en veldbrande beïnvloed. Dié plantegroeitipe stem grotendeels ooreen met Acocks (1988:88) se Skyn bo-karoo.

#### 2.8.2.2.1.1 Skyn bo-karoo

Met die terme "ware" en "skyn" verwys Rutherford en Westfall (1986:64) na die ooreenstemming tussen die dominante lewensvorme (plantegroei) en reënval. Vir die Nama-karoobioom is hierdie sone rondom 400mm per jaar en kan die Skyn bo-karoo van die Modderrivieropvanggebied gesien word as karooagtige plantegroei in 'n "bo-normale" reënvalgebied ( $\pm 375 - 500 \text{ mm a}^{-1}$ ). Acocks (1988:88) bestempel hierdie veldtipe as die mees opvallende voorbeeld van plantegroieverandering in Suid-Afrika. Hy grond sy bewering op die klimaatstreke van Schulze (1947:37 en Plaat 1), deur die historiese grens tussen die Karoo en die Grasveldstreke op die grens tussen ariede (BW) en semi-ariëde (BS) klimate te plaas (vergelyk Acocks, 1988:Map 1). Dit kom neer op 'n noordooswaartse verskuiwing na die huidige grens met tot 250km (Acocks, 1988:10).

Acocks (p88) noem dat, behalwe vir meer grasse, die veldtipe nie in voorkoms veel verskil van die Sentrale bo-karoo ('n "ware" Karoo veldtipe) nie. Grasse soos *Aristida adscensionis*, *A. congesta* subsp. *barbicollis* en *Eragrostis lehmanniana* kom veral in

die oostelike gedeeltes voor. Daar is `n verder opmerklieke verskil tussen die veldtipe en die plantegroei van die wydverspreide dolerietheuwels, die enkele beskermde areas met meer grasspesies, en die vlaktegebiede waar meer kruide voorkom. Hy noem ook dat die spesiesamestelling meer karoo-agtig word gedurende droogtes maar dat *Aristida* en *Eragrostis*, wat prominent vertoon na goeie reën, nie as die normale vir die gebied beskou moet word nie.

Acocks verskaf nie `n uitgebreide spesielys vir hierdie veldtipe nie maar volgens Mosterd *et al.* (1971:6-7) is die dominante kruidspesies *Pentzia incana*, *P. globosa*, *Chrysocoma tenuifolia* terwyl *Stipagrostis uniplumis*, *Eragrostis lehmanniana* en *Themeda triandra* die dominante meerjarige grasse is. Laasgenoemde skrywers onderskei ook drie subtipes in die Skyn bo-karoo, waarvan een, die sogenaamde Sandveld van die Skyn-karoo in die studiegebied voorkom.

### 2.8.2.3 Die Savannebloom

“Savanne” is `n term wat algemeen gebruik word om `n plantegroevorm met `n lae, grasagtige en `n hoër, houtagtige stratifikasie te beskryf (Rutherford & Westfall, 1986:57). Die Savannebloom is, oppervlakte gesproke, die grootste in Suider-Afrika (46%) en toon daarom groot variasie. Die plantegroei word grootliks beïnvloed deur brande en beweiding en die klimaat speel verder `n belangrike rol in die spesiesamestelling (Low & Rebelo, 1996:19). Vyf en twintig verskillende plantegroeitipes word deur Low en Rebelo as deel van die Savannebloom geïdentifiseer. Een hiervan, die Kimberley-doringbosveld, kom in die westelike gedeelte van die studiegebied voor.

#### 2.8.2.3.1 Kimberley-doringbosveld

Die oop savanne van hierdie plantegroeitipe word gekenmerk deur bome soos *Acacia tortillis*, *A. erioloba* en *Boscia albitrunca*. Die graskomponent bestaan hoofsaaklik uit spesies soos *Themeda triandra*, *Enneapogon cenchroides* en *Eragrostis lehmanniana*. Die plantegroeitipe is beperk tot sanderige gronde met onderliggende kalkkreet (Van Rooyen & Bredenkamp, 1996:36). Acocks (1975) onderskei twee savanne veldtipes in die studiegebied, naamlik die Kalahari-doringveld en die Kalahari-doringveld ingeneem deur karoo.

#### 2.8.2.3.1.1 Die Kalahari-doringveld

Die Kalahari-doringveld word deur Acocks (1988:44) in twee subtypes verdeel, die werklike Kalahari-doringveld en die Vryburg-struikbosveld. Variante van beide kom in die studiegebied voor. Die werklike Kalahari-doringveld kom grotendeels op los sand oor kalkkreet voor en bestaan uit vier vorms waarvan een in die studiegebied aanwesig is. Die **oostelike vorm van die werklike Kalahari-doringveld** kom in die Wes-Vrystaat en in die Vryburg-Mafikeng-omgewing van die Noordwesprovinsie voor. Dit is hoofsaaklik 'n oop *Acacia erioloba*-savanne met verskeie grasspesies uit die droë *Cymbopogon-Themedaveld*. Ten spyte van lae reënval en los sanderige gronde, word groot gedeeltes van hierdie veldtipe omgeploeg en met 'n wisselende mate van sukses vir die verbouing van mielies gebruik. Acocks (p45) beraam die aantal spesies in die relatiewe volopheidstabel op 199.

Acocks (1988:46) beskryf die Vryburg-struikbosveld as 'n redelik digte bosveld met struik, enkele klein boompies en gemengde grasveld. Die algemene struik is *Tarchonanthus camphoratus* var. *litakunensis*, met spesies soos *Olea europaea* subsp. *africana*, verskeie *Rhus* spesies, *Euclea crispa*, *Acacia karroo* en vele meer. Die graskomponent bestaan oorwegend uit spesies soos *Themeda triandra*, *Cymbopogon plurinodis*, *Aristida diffusa*, ensovoorts. In die **gemengde Tarchonanthus-doringveld variasie van die Vryburg-struikbosveld** word doringagtige spesies soos *Acacia tortilis* subsp. *heteracantha*, *Acacia hebeclada* subsp. *hebeclada*, *Ziziphus mucronata*, *Acacia millifera* en *A. karroo* meer prominent. Grasse soos *Eragrostis* spp. *Digitaria eriantha*, *Sporobolus timbriatus*, *Stipagrostis uniplumis*, *Aristida diffusa* var. *burkei* en *A. congesta* subsp. *barbicollis* kom dikwels saam met *Themeda triandra* voor. Die plantegroei op heuwels verskil weer eens van dié op die vlakte en daar is soms 'n duidelike ooreenkoms tussen hierdie plantegroei en dié van die heuwels in die sentrale gedeeltes van die Modderrivieropvanggebied (Acocks, 1988:48).

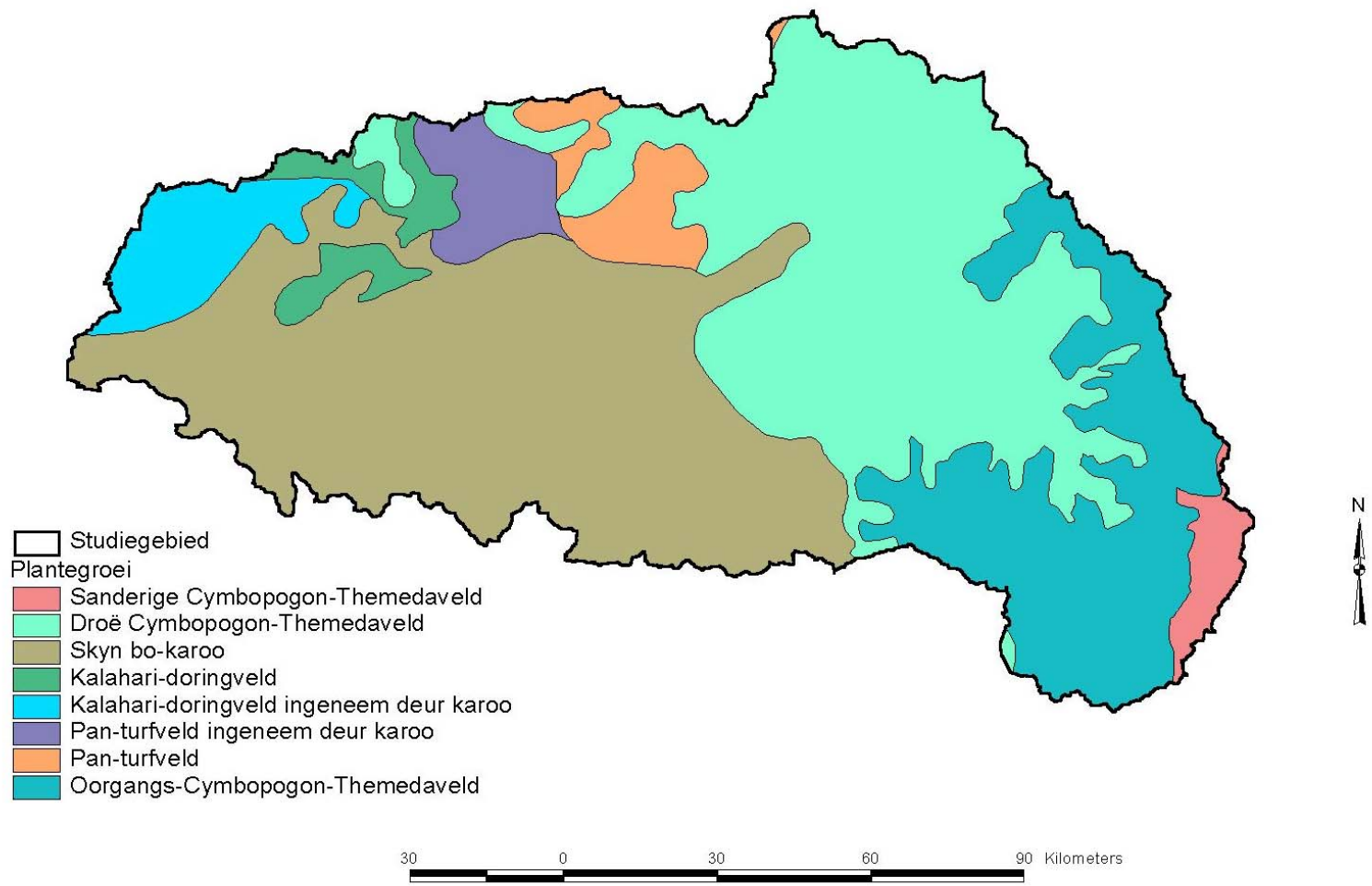
#### 2.8.2.3.1.2 Kalahari-doringveld ingeneem deur karoo

Volgens Acocks (1975) is hierdie veldtipe beperk tot die gebied suid-wes van Kimberley en is daar gevolglik slegs 'n klein gebied in die Modderrivieropvanggebied wat hierdeur beslaan word. Dit is hoofsaaklik ook die graskomponent van die struikbosveld wat deur tipiese karooplantegroei ingeneem word. Enkele kruide soos *Pentzia globosa*, *P. incana*, *Nestlera humulis* en *Plinthus karoicus* word genoem. In die Kimberley-omgewing is *Chrysocoma tenuifolia* 'n prominente indringer op sanderige leemgronde (Acocks, 1988:49).

Tabel 2.7 Plantegroei as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

Opvanggebied	Grasveldbioom (droog)	Grasveldbioom (vogtig)	Namakarobioom	Savannebioom
C52A	97,95%	2,05%		
C52B	89,43%	10,57%		
C52C	90,61%	9,39%		
C52D	100,00%			
C52E	74,04%	25,96%		
C52F	100,00%			
C52G	100,00%			
C52H	100,00%			
C52J	68,62%		25,85%	5,53%
C52K	41,16%		8,06%	50,77%
C52L				100,00%
Gemiddeld	65,62%	2,35%	4,87%	27,15%

Saamgestel uit: RSA, 1999



Saamgestel uit: RSA, 1999

Figuur 2.13 Plantegroei

## 2.9 Klimaat

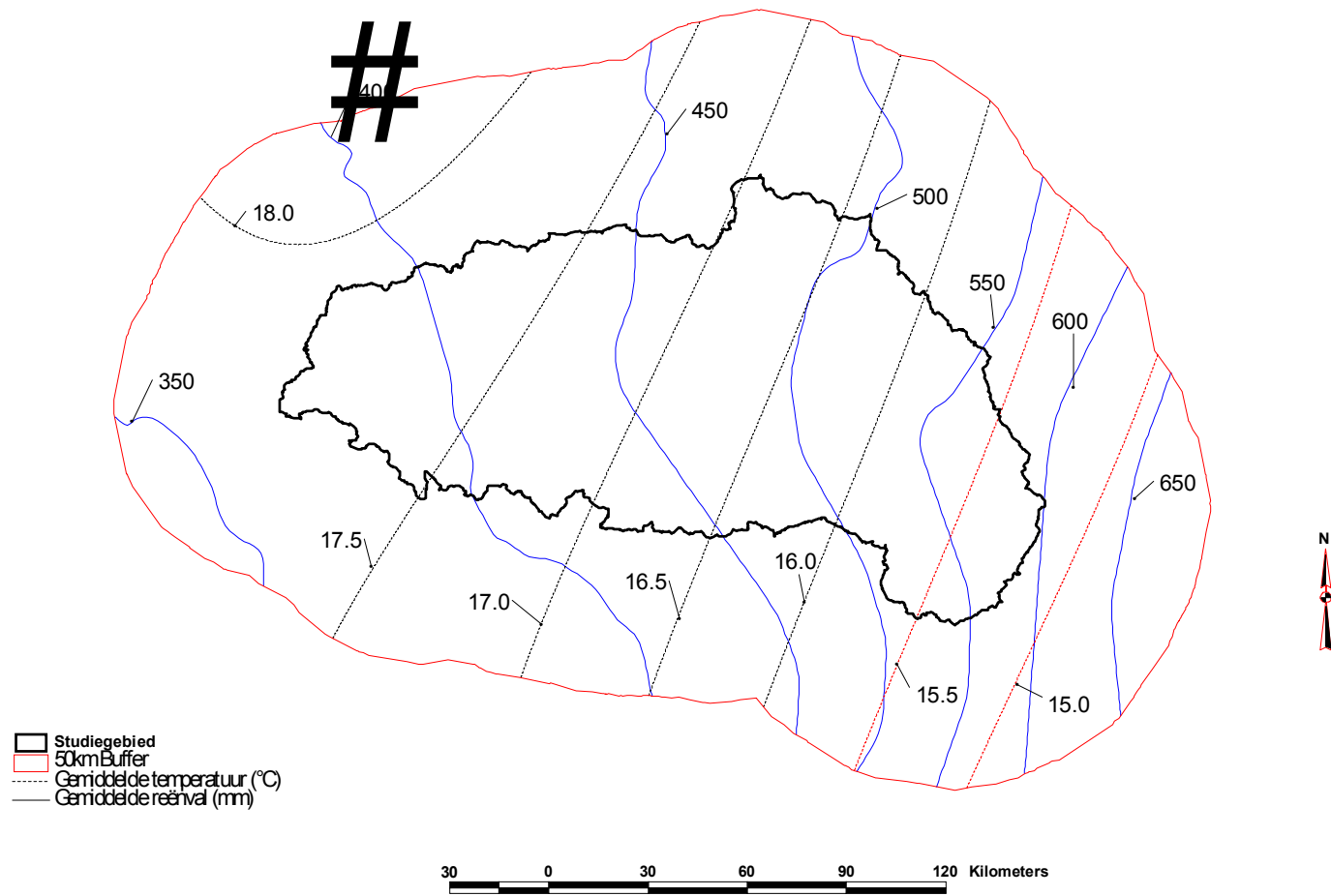
Volgens Köppen se stelsel (Schulze, 1947) kan die klimaat van die studiegebied geklassifiseer word as BSkw' (’n koel, semi-ariëde klimaat met maksimum reënval in die herfs). Klimaatdata vir enkele weerstasies in en om die studiegebied word in tabel 2.8 opgesom (uit RSA 1965a, 1965b en 1986) terwyl die reënval- en temperatuurverspreiding in figuur 2.14 getoon word. Slegs elf weerstasies met neerslagdata kom in die studiegebied voor (RSA, 1986). Bykomende data uit WNK (1990) is gebruik (wat die totale aantal reënvalstasies vir die interpolasie van neerslag te staan gebring het op 292 in ’n buffer van 50km rondom die studiegebied).

Reënval in die studiegebied wissel vanaf  $300\text{mm a}^{-1}$  in die weste tot meer as  $600\text{mm a}^{-1}$  in die hoërliggende gebiede in die ooste (RSA 1986). Neerslag is gewoonlik in die vorm van donderstorms met die voorkoms van hael wat toeneem van 3,3 dae per jaar in die weste tot 6,3 dae per jaar in die ooste. In buitengewone toestande kan sneeu in die oostelike gedeeltes van die studiegebied voorkom (RSA, 1986). Alhoewel geen inligting ten opsigte van neerslagintensiteit gereedlik beskikbaar is nie, kan aangeneem word dat die intensiteit van ’n donderbui so hoog as  $30 - 40\text{mm h}^{-1}$  met ’n  $EI_{30}$  waarde van tussen 200 en 400 is (Rooseboom, 1992:5.32).

Die jaargemiddelde temperatuur in die studiegebied wissel van  $18,4^{\circ}\text{C}$  (Kimberley) tot  $14,6^{\circ}\text{C}$  (Sheppardsvale) in die hoërliggende oostelike gedeeltes. Dieselfde dalende tendens word vir die maksimum ( $26^{\circ}\text{C}$  en  $22^{\circ}\text{C}$ ) sowel as die minimum temperatuur ( $10,5^{\circ}\text{C}$  en  $6,1^{\circ}\text{C}$ ) gevind (RSA, 1986).

Twee stasies (Bloemfontein en Kimberley) waarvoor winddata beskikbaar is, dui daarop dat die maksimum windsnelheid gedurende Oktober, November en Desember bereik word. Die windsnelheid bereik ook ’n maksimum net na namiddag (14:00 - 16:00) (RSA, 1975).

Verdamping wissel van  $2\,000\text{mm a}^{-1}$  in die weste tot  $1\,500\text{mm a}^{-1}$  in die ooste (Middleton *et al.*, 1981:3.12). ’n Vogtigheidstekort word regdeur die studiegebied ondervind.



Bron: RSA, 1986

Figuur 2.14 Gemiddelde temperatuur en reënval

Tabel 2.8      Klimaatdata vir die Modderrivieropvanggebied

Stasie	Breedtegraad (Suid)	Lengtegraad (Oos)	T <sub>maks</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>gem</sub> (°C)	P <sub>gem</sub> (mm)	Donderbuie (dae)
Banksdrift	28,91667	25,23333	25,70	7,60	16,60		
Barkly-Wes	28,53333	24,53333	26,60	9,70	18,10		
Bethanie	29,60000	25,96667	23,70	7,00	15,30		
Bloemfontein (Lughawe)	29,10000	26,30000	24,20	7,30	15,80	560	60
Bloemfontein (Tempe)	29,11667	26,18333	23,80	8,60	16,20	558	65
Boshof	28,53333	25,23333	25,10	8,90	17,00	505	47
Drieplotte	29,05000	24,63333	26,10	8,00	17,10	431	47
Glen	28,95000	26,33333	24,80	7,60	16,20	548	45
Grootkuil	28,21667	26,50000	24,10	9,90	17,10		
Kalkdrift	29,03333	24,66667	25,90	7,40	16,70		
Kalkfonteinendam	29,50000	25,21667	25,20	10,50	17,90	415	44
Kimberley (Lughawe)	28,80000	24,76667	26,00	10,80	18,40	419	57
Kimberley (De Beers)	28,71667	24,76667	26,10	10,90	18,50		
Kimberley (Polisie)	28,73333	24,76667	26,20	10,60	18,40		
Koppiesdam	29,21667	25,60000	25,40	9,40	17,40		
Ladybrand	29,16667	27,43333	22,00	7,60	14,80		
Plessisdraai	27,98333	26,13333	25,60	7,90	16,70	503	63
Rietrivier	29,11667	24,60000	25,90	9,10	17,50	373	47
Rockwood	29,46667	26,76667	23,70	7,80	15,80		
Rustfonteinendam	29,26667	26,60000	24,20	7,70	16,00	516	-
Sheppardsvale	29,11667	26,93333	23,00	6,10	14,60		
Theunissen	28,40000	26,71667	24,40	9,90	17,10		
Wepener	29,73333	27,03333	23,70	7,40	15,50	624	62

Bron: RSA, 1986

## 2.10 Grondgebruik en infrastruktuur

### 2.10.1 Grondgebruik

Grondgebruik in die gebied wissel van stedelik tot natuurbewaring maar grond word oorwegend vir landbou gebruik. Veeteelt vorm die belangrikste landbouaktiwiteit in die gebied. Ongeveer 30% van die grondoppervlakte in die westelike gedeeltes word vir akkerbou gebruik en die syfer daal tot 10% in die suide van die gebied. Somergraan word grootliks in die weste aangeplant met 'n geleidelike oorgang na wintergraan in die ooste (Le Roux, 1990b:190). Tabel 2.9 en figuur 2.15 toon die verspreiding van aktiwiteite in die gebied.

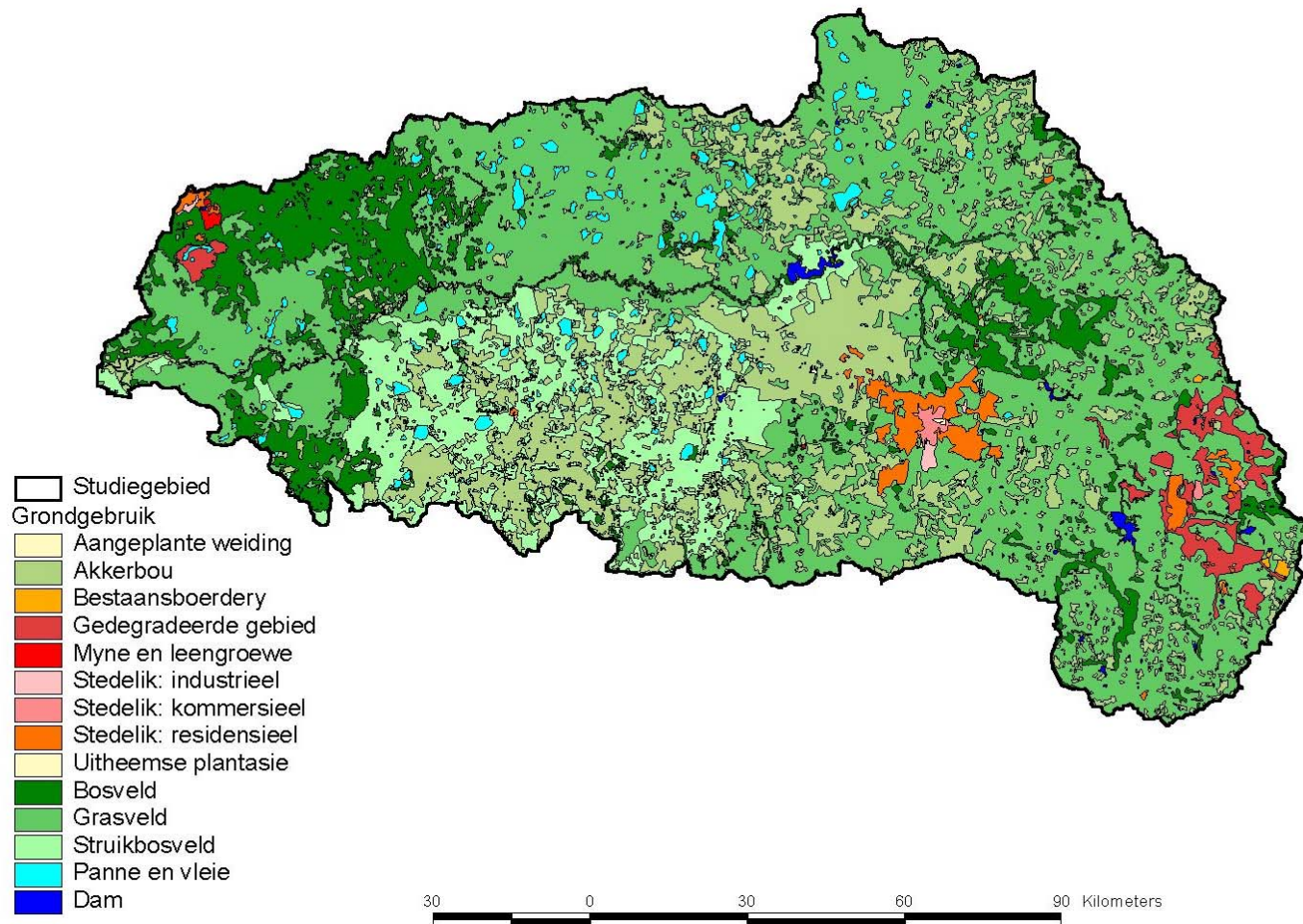
### 2.10.2 Infrastruktuur

Die twee grootste stedelike gebiede in die provinsie, Bloemfontein en Botshabelo / Thaba Nchu met 'n gesamentlike bevolking van ongeveer 600 000 mense, is in die gebied geleë. Ander dorpe in die gebied is Brandfort, Dealesville, Dewetsdorp en Petrusburg. Kimberley, die hoofstad van die Noord-Kaapprovinsie, val ook binne die studiegebied. 'n Goedontwikkelde padnetwerk verbind die dorpe in die studiegebied. Spoorverbinding bestaan tussen Bloemfontein en Kimberley en die hoofspoorlyn wat die industriële hartland van Suid-Afrika (Gauteng) met die kus verbind, loop deur die gebied. Twee groot lughawens (Bloemfontein en Kimberley) is aanwesig (figuur 2.16).

Tabel 2.9 Grondgebruik as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

	C52A	C52B	C52C	C52D	C52E	C52F	C52G	C52H	C52J	C52K	C52L	Gemiddeld
Gedegradeer		18,71%	18,09%	0,53%							1,50%	1,87%
Myne en leengroewe						0,07%			0,03%		0,51%	0,08%
Stedelik: Kommersieel		0,83%				3,97%						0,20%
Stedelik: Industrieel		0,11%				1,97%		0,01%	0,04%	0,01%	0,20%	0,12%
Stedelik: Residensieel	0,15%	6,10%	0,63%			19,70%	0,38%	1,72%	1,42%	0,04%	0,75%	1,69%
Aangeplante weiding						0,27%						0,01%
Akkerbou	11,14%	4,97%	7,28%	16,43%	13,72%	10,62%	29,04%	32,00%	39,38%	20,78%	7,39%	20,63%
Bestaansboerdery		1,25%	0,35%									0,08%
Uitheimse plantasie	0,02%	0,12%	0,01%	0,19%		0,34%	0,11%	0,19%	0,25%	0,15%	0,05%	0,14%
Grasveld	75,69%	61,65%	64,28%	77,83%	66,50%	57,17%	52,89%	54,53%	33,39%	38,63%	36,37%	48,77%
Struikveld							4,56%	2,07%	22,15%	22,27%	15,09%	10,85%
Struik- en bosveld	10,08%	5,25%	8,28%	3,86%	18,57%	5,21%	10,86%	2,49%	1,56%	13,40%	34,18%	12,10%
Damme	2,05%	0,70%	0,19%	0,99%	0,22%	0,34%	1,12%	0,11%	0,11%		0,03%	0,35%
Panne en vleie	0,22%	0,13%	0,17%	0,10%	0,20%	0,24%	0,76%	5,00%	1,46%	3,64%	2,67%	2,25%

Saamgestel uit: RSA 1999



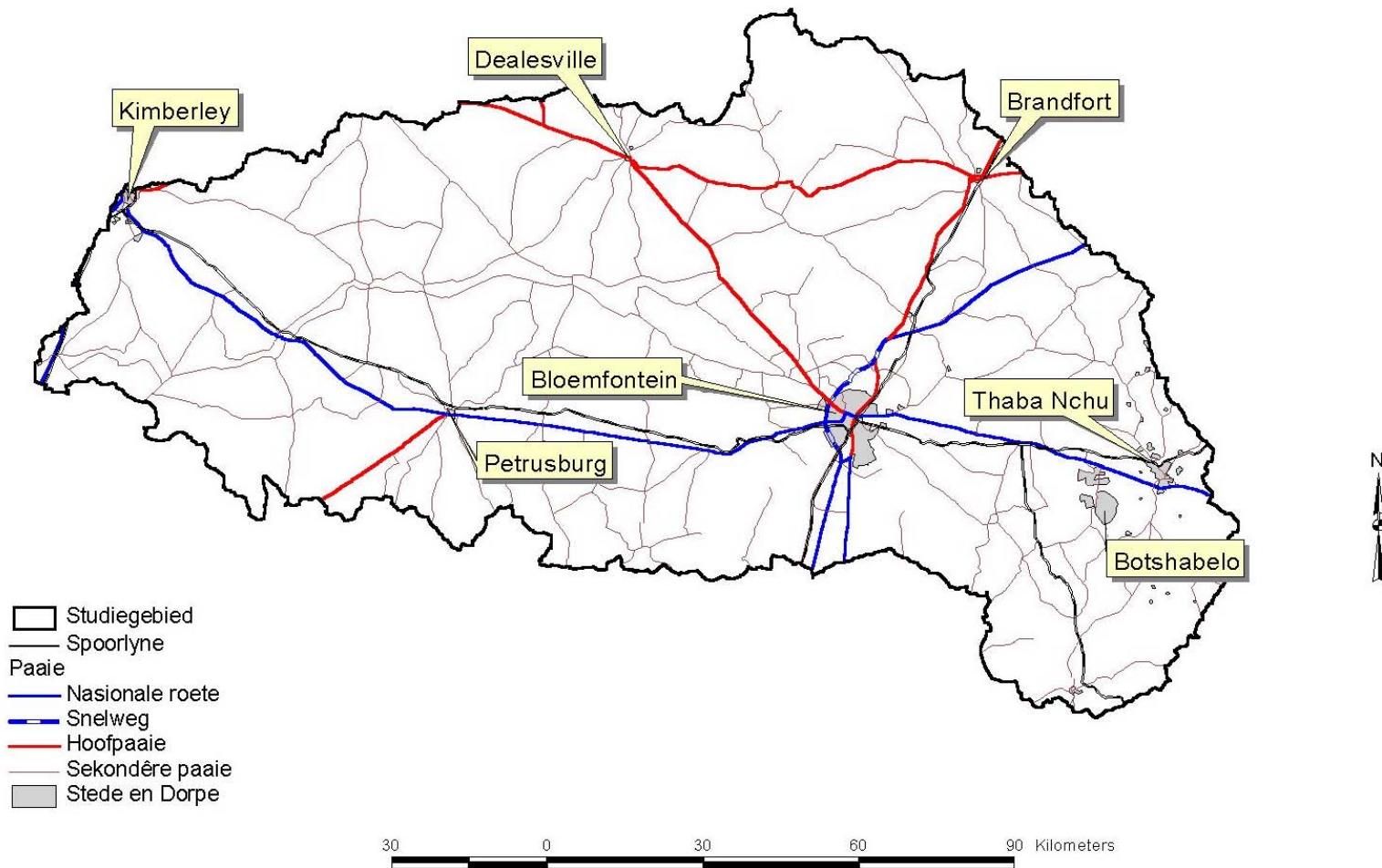
Saamgestel uit: RSA, 1999

Figuur 2.15 Grondgebruik

Tabel 2.10 Veldbenutting as persentasie van die oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

Opvanggebied	Bees en wild	Bewaring- en natuurgebiede	Skaap	Koring en mielies
C52A		2,05%	97,95%	
C52B		7,82%	89,43%	2,76%
C52C			90,61%	9,39%
C52D			81,19%	18,81%
C52E			2,16%	97,84%
C52F			25,47%	74,53%
C52G		1,09%		98,91%
C52H				100,00%
C52J	5,53%		25,85%	68,62%
C52K	50,77%		8,06%	41,16%
C52L	95,95%	4,05%		
Gemiddeld	26,59%	1,21%	21,52%	50,68%

Saamgestel uit: RSA, 1999



Saamgestel uit: RSA, 1999

Figuur 2.16 Infrastruktuur in die Modderrivieropvanggebied

## HOOFSTUK 3 Landskapontwikkeling en bekkenmorfometrie

*Morphology is not only the consequence of past processes, but is also a factor that affects the course of present erosion, and hence the future morphology.*

*(Lane, Chandler & Richards, 1998)*

### 3.1 Inleidend

Doornkamp en King (1971:10) stel dat morfometriese eienskappe nie op sigself 'n "definisie" is van prosesse werksaam in 'n dreineringsbekken nie, maar kan wel die resultaat wees van prosesse wat in die bekken werksaam is of was. Die enigste manier om egter 'n aanduiding te kry van prosesse in 'n bekken, is om na die morfometriese eienskappe van die bekken te kyk (p11). Voorts moet in gedagte gehou word dat die ontwikkeling van 'n dreineringsbekken 'n komplekse samestelling van verskeie prosesse is. Die ontwikkeling van 'n fluviale landskap moet ook gesien word as die somtotaal van die ontwikkeling van die individuele dreineringsbekkens waaruit die landskap bestaan. Verder suggereer die herkenning van morfologiese streke, gebaseer op vorm, dat soortgelyke ontwikkelingsprosesse in die streek aanwesig is (Doornkamp & King, 1971:3).

In hierdie hoofstuk word gekyk na enkele toepaslike teoretiese beginsels wat die sub-dissiplines landskapontwikkeling, geomorfometrie en prosesstudie onderlê.

### 3.2 Landskapontwikkeling

#### 3.2.1 Die oorsprong en doel van landskapontwikkelingstudies

Volgens King (1953:721) is die wetenskaplike bestudering van landskappe gedurende die laaste helfte van die negentiende eeu gevestig deur skrywers soos Powell (1834-1902), Gilbert (1843-1918), Davis (1850-1934) en A Penck (1858-1945). Hutton se gelykheidsbeginsel (uniformitarianisme) het veroorsaak dat gesoek is na 'n verklaring vir die historiese uniekhede van 'n landskap. Die onderliggende motief van geomorfologiese navorsing was die daarstel van 'n tydpatroon vir die interpretasie van die landskap en teorieformulering is gedoen deur die patroon te skep (Church, 1996:149). Hoewel werkers soos Gilbert, A Penck en later ook W Penck (1888-1923), 'n semikwantitatiewe benadering gevolg het, is geomorfologie gekenmerk deur 'n kwalitatiewe beskrywing van sikliese landskapontwikkeling wat kulmineer in die "Erosie siklus" van Davis. Church (p149) sê dan ook die rede hiervoor was dat daar nie

“instrumente” was waarmee die mens sy begrip van skaal by geologiese tyd kon aanpas nie.

Hierdie skynbare onvermoë om waarneembare prosesse (op `n beperkte tydskaal) met die ruimtelike skaal van landskappe in verband te bring, het veroorsaak dat `n “nuwe” benadering tot geomorfologiese studies sedert die tweede helfte van die twintigste eeu deur skrywers soos Horton (1945), Strahler (1950, 1952, 1956), Schumm (1956), Melton (1957), Morisawa (1958, 1962, 1964, 1968) en ook Leopold *et al.* (1995) gevestig is. Dié benadering was in `n groot mate reduksionisties (Strahler, 1992:76) en funksioneel (Church, 1996:153) van aard en het gepoog om ruimtelike skaal te beperk tot dit wat vergelykbaar was met die tydskaal van waarneembare prosesse (Church, 1996:151).

In wat bekend staan as dinamiese of prosesgeomorfologie, konsentreer aanhangers op erosie- en afsettingsprosesse, die meganiese beginsels van spanning, skuifskur en vervorming, vloeistofdinamika en die tempo van werking. Hoewel die bydrae wat kwantitatiewe navorsing tot regionale ontwikkelingstudies moes lewer deur Strahler (1952:925) beklemtoon word (as hy waarsku dat die dinamiese en historiese gedeeltes van geomorfologie nie geskei moet word nie), noem Church (1996:151) dat “grootskaalse” landskapontwikkelingsteorieë deur die paradigma geïgnoreer is.

Die proses-paradigma oorheers geomorfologiese denke tot ongeveer 1970/80 waarna skrywers soos Richards (1990:196), Rhoads (1994:269) en Basset (1994:273) `n meer realistiese benadering in geomorfologie bepleit. `n Realistiese benadering maak dit (volgens Rhoads, 1994:270) moontlik om komplekse “wette” saam te voeg om komplekse sisteme te verklaar. Die holistiese, numeriese modellering van komplekse nie-liniêre sisteme stel die navorser in staat om die relatiewe invloed van bydraende aanvangstoestande en algemene fisiese en chemiese wette op die voorspelde patrone van sisteemontwikkeling te ontdek. Hy sê ook verder (p 270) dat nie-liniêre dinamiese modelle die potensiaal het om sinergistiese eienskappe en strukture (qualities, structures or properties) wat nie deur verwantskappe tussen geïsoleerde komponente van die sisteem voorspel kan word nie, aan te toon. Landskapontwikkeling as studieveld in die geomorfologie beskik ook reeds oor `n stewige teoretiese basis wat vervolgens bespreek sal word.

### 3.2.2 Beginsels van landskapontwikkeling

`n Hele aantal skrywers het reeds probeer om die "grondbeginsels" van geomorfologie saam te vat. Enkele voorbeelde van prominente idees is Hutton se "wette" (1788), Playfair se "illustrasies" (1802), Gilbert se "wette" (1880), Davis se "siklus" (1909),

Penck se "analise" (1922), Strahler se "dinamiese basis" (1952), King se "kanons" (1963), Thornbury se "basiese beginsels" (1969), Tricart en Cailleux se "dinamiese eenheid" (1972), Schumm (1977) se vier konsepte, Büdel se "stelsel" (1982), Scheidegger se "vyf beginsels van landskapontwikkeling" (1987) en Brunson se "tien stellings" (1990) (Brunson, 1990:3). Enkele gedagtes uit die werk van bogenoemde skrywers is vir die doel van die studie saamgevoeg.

### 3.2.2.1 Antagonisme en stabiliteit

Die beginsel van antagonisme (Scheidegger, 1987) of gelyktydigheid (Brunson, 1990) dui op die balans tussen endo- en eksogene prosesse. Endogene prosesse is die gevolg van tektoniese spanning wat redelik homogeen en sistematies in streke voorkom (Scheidegger 1987:203). Eksogene prosesse is afhanklik van turbulensie in lug en watervloei (p203) en vind lukraak plaas (Scheidegger, 1983:2). Eksogene prosesse kan deur stogastiese modelle verklaar word en is ook volgens Scheidegger (1987:203) suksesvol gebruik vir die identifikasie van die oorsprong van geomorfologiese verskynsels.

Morisawa (1985:159) stel dat daar 'n verband tussen die snelheid van opheffing ( $V_u$ ) en denudasie ( $V_d$ ) bestaan en die gedagte word deur Scheidegger (1987:203) gebruik om sogenaamde intensiteitsparameters voor te stel. Die netto resultaat op die landskap kan dan soos volg opgesom word:

- $V_u = V_d$       Staties (Geen verandering in reliëf )
- $V_u > V_d$       Opbouing (Toename in reliëf / "potensiële energie" en proesestempo)
- $V_u < V_d$       Denudasie (Verlaging in reliëf / "potensiële energie" en proesestempo)

Landvorme ontstaan deur tektoniese en denudasieprosesse wat gelyktydig plaasvind en is 'n direkte weerspieëling van die verhouding tussen die tempo's van hierdie prosesse (Brunson, 1990:7). Natuurlike sisteme verkeer normaalweg in een of ander vorm van ewewig (Doornkamp & King, 1971:3). Verandering in sulke sisteme is konstant en die sisteem kan as stabiel beskryf word. Stabiliteit kan 'n paar vorms aanneem waaronder 'n dinamiese ewewilbrium. Dié konsep van Hack (1960) maak voorsiening vir fluktuasies om 'n nie-herhalende gemiddelde met die verloop van tyd (Chorley & Kennedy, 1971:202) maar Phillips (1992:196) verskil hiervan en sê dat daar nie noodwendig een ewewilbriumtoestand vir 'n geomorfologiese sisteem sal bestaan nie. Hy lê eerder klem op disekwilbrium, non-ekwilibrium en veelvuldige ewilibria, verder ook op nie-liniêriteit, terugvoer en universaliteit. Schumm (1991:44) beskou dinamiese ewilibrium as iets wat oor 'n "korter periode van sikliese tyd" mag voorkom.

Scheidegger (1983 en 1987) stel dat dié vorm van ewilbrium in wese onstabiel is. Hiermee bedoel hy dat individuele landvorme nie permanent is nie hoewel die oorkoepelende voorkoms konstant lyk (fluktuasie om `n gemiddeld) en dat die rigting van verandering is weg van uniformiteit wat, op sy beurt, beteken dat daar `n algemene toename in entropie in die sisteem is. Indien `n gebeurtenis op die frekwensie-omvangskaal van `n tektono-klimatologiese sisteem egter die normale gedrag van die sisteem omverwerp, sal die sisteem reageer en aanpas tot `n nuwe ewewig wat uitdrukking sal kry in nuwe kenmerkende landvorme. So `n gebeurtenis staan as `n geo-katastrofe bekend (Brunsdon 1990:21). Die gedagte hang ook saam met Schumm (1977) se konsep van drempelwaardes. Daar kom `n wye ruimtelike variasie voor in die vermoë van `n landskap om te verander. Hierdie vermoë staan as die sensitiwiteit vir verandering bekend. Landskapstabiliteit is dus `n funksie van die tyd-ruimtelike verspreiding van weerstandbiedende en versteurende kragte en is dus divers en kompleks. Die vermoë van `n landskap om impulse van verandering te weerstaan, neig om met die tyd te verhoog (Brunsdon, 1990:22).

#### 3.2.2.2 Katenas

`n Bekende beginsel uit bodemkunde, die katena, vorm die basis van kenmerkende "kettings" van eienskappe wat op bepaalde plekke in die landskap ontwikkel. Scheidegger (1987:204) se gedagte met katenas is feitlik dieselfde as King (1957:83) se hangelemente en vorm dikwels die basis van geomorfologiese kartering (herkenning van landvormstreke) (vergelyk o.a. Demek, 1972; Demek & Embleton, 1978 en Evans, 1990a).

#### 3.2.2.3 Gerigtheid

Ten spyte van die primêr stogastiese aard van eksogene prosesse bestaan daar tog `n mate van gerigtheid (directedness) in die werking van die prosesse. Hierdie "seleksie" van landvorme is grootliks die gevolg van die gewig van die materiaal in die landvorm self en veroorsaak dat staties-stabiele landvorme by voorkeur gevorm word (Scheidegger, 1987:208).

#### 3.2.2.4 Tektoniese voorafbepaling

Een van die vroegste beginsels wat deur Davis (1954) geïdentifiseer is as bepalend in landskapontwikkeling, is "geologiese struktuur" (in die breë sin van die woord). Tektoniese voorafbepaling (pre-design) bepaal volgens Brunsdon (1990:3) dat,

alhoewel eksogeniese verskynsels ewekansig plaasvind, landvorme sistematies ontstaan as gevolg van strukturele beheer soos tektoniese beweging en geassosieerde spanningsvelde.

### 3.2.2.5 Omgewingstoestande

Die aanvangstoestande (boundary conditions) vir landvormontwikkeling word gestel deur omgewingstoestande (spesifiek veranderende seevlakke) soos ondervind word gedurende die lewensduur van 'n landskap (Brunsdon, 1990:11). Landvorme is verder gedurig blootgestel aan 'n wisseling in die omgewingstoestande van die sisteem. Vir enige gegewe stel omgewingstoestande sal daar deur die aksie van 'n konstante stel prosesse, 'n neiging wees vir 'n stel kenmerkende landvorme om te ontwikkel.

### 3.2.3 Landskapontwikkeling in perspektief vir die studie

Uit bogenoemde is dit duidelik dat die werking van prosesse 'n kenmerkende landvorm in 'n sekere omgewing tot gevolg behoort te hê. Hierdie beginsel word in die studie gebruik om 'n verband tussen **huidige** prosesse en **huidige** landvorme te ondersoek. Die term "landskapontwikkeling", soos in die sin van die studie gebruik word, dui op 'n korttermyn proses ( $10^2 - 10^3$ a) eerder as in die gewone sin van die woord ( $10^4 - 10^6$ a).

### 3.3 Proses

Die term "proses" impliseer 'n opeenvolgende reeks gebeure, diskreet of kontinu met 'n uitkoms of resultaat. Daar is reeds baie geskryf oor die aard van beide eksogene (stogasties) en endogene (sistematies) prosesse. Die meerderheid van geomorfologiese navorsingstegnieke is toegespits op 'n direkte of indirekte bepaling van prosestempo in tyd en ruimte (Anderson & Burt, 1990:17). Aangesien hierdie studie uitgaan van die premisse dat die interaksie van proses, struktuur en tyd die vorm van 'n landskap bepaal, is dit noodsaaklik om kennis te neem van enkele gedagtes rondom hierdie wisselwerking. Dit is egter buite die bestek van die studie om 'n gedetailleerde bespreking van fluviale erosie- en afsettingsproesse te gee.

Lopende water is die kragtigste agens op die aardoppervlak as dit kom by die hoeveelheid energie betrokke en die hoeveelheid materiaal wat vervoer word (Knighton, 1998:1). Dieselfde stelling kan ook op die Modderivieropvanggebied van toepassing gemaak word. Le Roux (1991:177) beweer dan ook dat oppervlakspoeling, in vergelyking met deflasie, die belangrikste rol speel in die erosieproesse in en om die studiegebied.

### 3.3.1 Prosesmodelle

Ahnert (1998:17) beskou die geomorfosfeer as 'n dinamiese proses-reaksiesisteem met 'n funksionele verwantskap tussen reliëf, opheffing en denudasie. Indien hierdie sisteem, volgens Chorley en Kennedy (1971:7-9), verdeel word in so veel as moontlik komponente, kan 'n grys-kassie- (lumped) of wit-kassie- (distributed) model van die werklikheid geskep word (Harvey, 1973:473). Vier modelle uit die literatuur word vervolgens gebruik om 'n raamwerk te skep waarin 'n model vir die studiegebied gebou kan word.

#### 3.3.1.1 'n Driedimensionele simulasiemodel

Armstrong (1976:21) formuleer 'n driedimensionele simulasiemodel waarin drie prosesse soos volg gemodelleer word:

Verwering:

$$W_a = W_p e^{-K_w D}$$

Waar:

$W_a$  - die verweringstempo;

$W_p$  - die potensiële verweringstempo op ontblote rots;

$K_w$  - 'n konstante; en

$D$  - die gronddiepte.

Hangvervoer:

$$C = K_s \sin \theta$$

Waar:

$C$  - die bewegingstempo;

$\theta$  - hellingshoek; en

$K_s$  - 'n konstante.

Kanaalvervoer:

$$C = K_r SQE$$

Waar:

$C$  - die volumetriese vervoertempo;

$K_r$  - 'n konstante;

$S$  - die stroomgradiënt;

$Q$  - die afloop; en

$E$  - die stroomdoeltreffendheid.

### 3.3.1.2 'n Gekoppelde kanaalgroei en hangontwikkelingsmodel

Willgoose *et al.* (1991a en 1991b) verskaf 'n gekoppelde kanaalgroei en hangontwikkelingsmodel met twee nie-liniêre, gedeeltelik-differensiële beheer vergelykings (governing equations) vir verandering in hoogte en kanalisering.

Vir hangontwikkeling word die verandering in hoogte  $\delta z$  met tyd  $\delta t$  beheer deur tektoniese opheffing  $c_o$  by posisie  $x, y$  (1<sup>e</sup> term) plus fluviale sediment vervoer (2<sup>e</sup> term) plus verspreide sediment vervoer (3<sup>e</sup> term):

$$\frac{\delta z}{\delta t} = c_o(x, y) + \frac{1}{\rho_s(1-n)} \left( \frac{\delta q_{sx}}{\delta x} + \frac{\delta q_{sy}}{\delta y} \right) + D_z \left( \frac{\delta^2 z}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} \right)$$

Kanalisering word voorgestel deur:

$$\frac{\delta Y}{\delta t} = d_t \left[ 0,0025 \frac{a}{a_t} + \left( -0,1Y + \frac{Y^2}{1+9Y^2} \right) \right]$$

Die veranderlikes wat gebruik word, is:

$c_o(x, y)$  Tempo van tektoniese opheffing;

$\rho_s$  digtheid van geërodeerde materiaal;

$n$  porositeit van materiaal voor erosie en na afsetting;

$q_{sx}$  en  $q_{sy}$  sediment fluks in die  $x$  en  $y$  rigtings wat 'n funksie is van  $Y$  en afloop en helling  $q_s = f(Y) q^{m_1} S^{n_1}$  (waar  $Y = 0$  vir hange en  $Y = 1$  vir kanale);

$D_z$  verspreidingskonstante in vervoerprosesse;

$d_t$  tempokonstante vir kanaalgroei; en

$a$  kanaalinisiasiefaktor.

Uit die vergelykings identifiseer die skrywers agt fundamentele, nie-dimensionele veranderlikes waaruit ander veranderlikes afgelei kan word: hoogte, oppervlakte (bekkenoppervlakte of bydraende oppervlakte), horisontale afstand, `n afloopkoeffisiënt, tyd, `n vervoerkoeffisiënt, `n kanaalinisiasiekoeffisiënt en `n tektoniese opheffingskoeffisiënt (Willgoose *et al.*, 1991b:1686).

### 3.3.1.3 Empiriese modelle

Ahnert (1998:128) gebruik `n denudasiemassabalans as basis vir sy simulasiemodel (SLOP3D):

$$C = C' + (W + A - R)\Delta t$$

Waar:

$C = f(\text{vorige regoliet dikte } (C'), \text{ verwering, denudasie, aggradasie}) - \text{regoliet dikte by } t_n;$

$W = f(\text{regoliet dikte, weerstandbiedendheid, struktuur}) - \text{verwering};$

$A = \text{tempo van materiaalvoorsiening};$  en

$R = \text{tempo van materiaalverlies}.$

Die denudasietempo kan bepaal word deur

$$d = \frac{h' - h}{\Delta t} = R - A$$

Knighton (1998:77) bepaal die grootte van `n jaargemiddelde vloed deur

$$Q_{2.33} = c \text{ AREA}^{0.94} \text{ STRMFRQ}^{0.27} \text{ RSMD}^{1.03} \text{ SOIL}^{1.23} \text{ S1085}^{0.16} (\text{LAKE} + 1)^{-0.85}$$

Waar

$\text{AREA} = \text{Dreineringsoppervlakte};$

$\text{STRMFRQ} = \text{Stroomfrekwensie};$

$\text{RSMD} = \text{Effektiewe neerslag};$

$\text{SOIL} = \text{Grondtipe};$

$\text{S1085} = \text{Helling};$

$\text{LAKE} = \text{Opberging in mere};$  en

$c = \text{`n streeksfaktor}.$

Uit die modelle is dit duidelik dat etlike faktore belangrik is in die prosesse werksaam in 'n dreineringsbekken. Ahnert se konsep van 'n massabalans (ekwilibrium) behoort die basis te vorm waarom modelle gebou word. Beide Armstrong en Knighton gebruik helling pertinent terwyl dié faktor uit Ahnert en Wilgoose *et al.* afgelei kan word. Afloop, neerslag en vervoertempo speel in al vier modelle 'n belangrike rol. Dreineringsoppervlakte kom uit twee van die modelle na vore. 'n Verdere faktor uit al vier modelle is verwering en die aard van die regoliet of grond. Wat ook duidelik is, is die feit dat al vier skrywers in 'n sekere mate vorm (morfometrie) met proses in verband probeer bring. Sommige van hierdie gemeenskaplike faktore sal later in die hoofstuk verder omskryf word ten einde dreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied te karakteriseer. Vervolgens word gekyk na 'n verdere groep modelle met potensiaal om in geomorfologiese studies gebruik te word.

### 3.3.2 Erosiemodelle

Grondverlies word allerweë beskou as een van die belangrikste omgewingskrisisse van die twintigste eeu (en seker nog in die 21<sup>e</sup> eeu ook). Natuurlike gronderosie word beïnvloed deur omgewingsfaktore soos klimaat, reliëf, grondeienskappe en plantegroei. By versnelde erosie speel grondgebruikspraktyke 'n sleutelrol in die proses (Toy & Osterkamp, 1995:498). Uit die literatuur (onder andere, Kirkby & Morgan, 1980; Cooke & Doornkamp, 1990; Lal, 1994 en Wilson & Gallant, 1998) blyk dit dat erosiemodelle moontlik in geomorfologiese ondersoeke gebruik kan word, juis vanweë die feit dat morfologiese prosesse ook gronderosie beheer.

Verskeie erosiemodelle is reeds ontwikkel. Van empiriese modelle soos die USLE, RUSLE, SLEMSA tot deterministiese modelle soos CREAMS, WEPP, GUESS en EuroSEM. Van hierdie modelle is die universele grondverliesvergelyking (USLE) die mees bekende en, aangesien dit 'n rol in die studie speel, word die vergelyking vervolgens kortliks bespreek.

#### 3.3.2.1 Universele grondverliesvergelyking

Die USLE is oorspronklik bedoel as 'n besluitnemingshulpmiddel vir die beplanning van grondbewaring in die oostelike gedeeltes van die VSA (Wischmeier 1976:5). In die streek is 'n groot hoeveelheid eksperimentele data beskikbaar vir die kalibrering van die model. Die betroubaarheid van die model se voorspellings in ander gebiede hang egter af van die akkuraatheid van waardes wat vir die verskillende faktore in die model

gebruik word (Watson, 1990:101). Hierdie waardes moet verkieslik eksperimenteel vasgestel word.

Die formaat van die model is:

$$E = R.K.L.S.C.P$$

Waar

$E$  = die gemiddelde grondverlies vir 'n tydperk verteenwoordig deur  $R$  en uitgedruk in dieselfde eenhede as  $K$ ;

$R$  = Neerslag intensiteit of erosiwiteit (erosivity);

$K$  = Grond erodeerbaarheid (erodibility);

$L$  = 'n Hanglengte faktor;

$S$  = 'n Hellingsfaktor;

$C$  = 'n Bedekkingsfaktor; en

$P$  = 'n Bestuursfaktor.

Morgan (1995:69) waarsku dat die model nie gebruik moet word om donga- en stroomerosie in dreineringsbekkens te voorspel nie, aangesien die USLE nie voorsiening maak vir afsetting of 'n sedimentleweringsverhouding nie. Wischmeier (1976:5) ontmoedig nie die uitbreiding van die toepassing van die model na ander tipe ondersoek nie maar waarsku teen verkeerde afleidings as gevolg van nie-toepaslike data (p8). In die samestelling van 'n sedimentopbrengskaart vir Suid-Afrika gebruik Rooseboom *et al.* (1992) 'n model soortgelyk aan die USLE. As faktore gebruik hulle tien landboutipes vir grondgebruik ( $C$ ), gronderodeerbaarheid (landtipes) ( $K$ ), gemiddelde helling (in 5' x 5' ruite) ( $S$ ) en reënval-erosiwiteit ( $EI_{30}$  indeks) ( $R$ ).

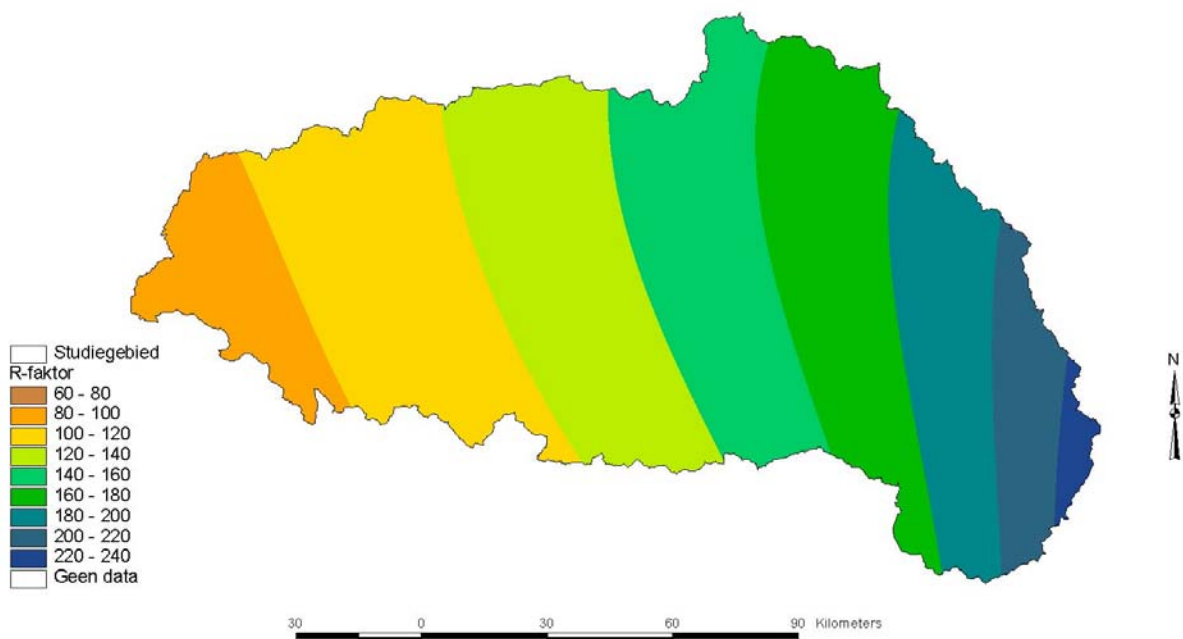
Die struktuur van die model is vir die studie behou maar waardes vir die verskillende faktore is nie volgens die Amerikaanse riglyne toegeken nie. In die volgende gedeeltes word verduidelik hoe waardes vir die verskillende faktore in die studiegebied toegeken is.

### 3.3.2.1.1 R – Erosiwiteit

Geskikte data vir die berekening van intensiteit van neerslag vir die studiegebied is nie beskikbaar nie. Millward en Mersey (1999:121) gebruik die verwantskap tussen R (die reënval- en afloopfaktor) en  $P_a$  (die jaargemiddelde reënval) as 'n suksesvolle ( $r^2$  0,98) plaasvervangende faktor:

$$R = (-0,0334P_a + 0,006661P_a^2) / 10 \quad (\text{J mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1})$$

Uit Rooseboom *et al.* (1992:3.14) blyk dat  $EI_{30}$  waardes wat wissel van 101 – 200 (in die weste) tot 201 – 300 (sentraal en suid-oos) verwag kan word. Die berekende waardes vir R, in vergelyking met Smithen en Schulze (1982) en Rooseboom *et al.* (1992) se kaarte, is aanvaarbaar en die berekende R-waarde is vir die erosiwiteit van neerslag vir die studiegebied gebruik (figuur 3.1).



Figuur 3.1 Reënvalintensiteit

### 3.3.2.1.2 K – Erodeerbaarheid

Die erodeerbaarheid van grond vorm 'n belangrike komponent in die studie. In Suid-Afrika varieer waardes vir grondverlies deur fluviale erosie tussen 50 en 1 000t  $\text{km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  (Rooseboom, 1992:5.25) met 'n geskatte totale verlies van 300 – 400Mt  $\text{a}^{-1}$  (Adler, 1981:19 en Harmse, 2002: pers. med.). Geskatte maksimum waardes van 600 – 800t  $\text{km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  is in die oostelike gedeeltes van die Modderivieropvanggebied

gevind. Hierdie waarde neem af tot ongeveer  $50\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}$  in die westelike gedeelte van die opvanggebied (Rooseboom, 1992: 5.25). Naby Bloemfontein is 'n waarde van  $390\text{t km}^{-2}$  ( $3,9\text{t ha}^{-1}$ ) deur Snyman en Van Rensburg (1987:245) op 'n eksperimentele perseel met pionierplantegroei (0,7% basale bedekking) bepaal. Geen grondverlies vanaf 'n perseel onder klimaksplantegroei (7,1% basale bedekking) is gevind nie (p245). Hierdie syfer kan vergelyk word met 'n waarde van  $46\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}$  en 'n verwerkingstempo van  $18\text{mm ka}^{-1}$  (rotsdigtheid) of  $34\text{mm ka}^{-1}$  (gronddigtheid) soos bepaal deur Le Roux en Roos (1982:121) op 'n hang verder suid van Bloemfontein.

Studies deur Rooseboom *et al.* (1992:3.7) identifiseer twintig klasse vir sedimentleweringspotensiaal wat wissel van “*Baie hoog*” tot “*Baie laag*” (vergelyk tabel 3.1 vir die klasse in die studiegebied). Hulle stel ook (p3.6) dat partikels kleiner as  $0,106\text{mm}$  (klei, slied en baie fyn sand) die grootste bydrae tot sedimentlewering lewer. Vir die doel van die studie is erodeerbaarheidswaardes daarom volgens Mitchell en Bubenzer (1980:33) se voorgestelde “K-waardes” aan die tekstuurklasse van landtipes toegeken. Stroombeddings, panne en ontblote rots het onderskeidelik waardes van 0, -1 en 0,001 gekry. Die K-waarde van die tekstuurklasse word in tabel 3.2 gegee. Die ruimtelike verspreiding van tekstuurklasse is nie uit landtipe data beskikbaar nie en daarom is die K-waarde beswaar volgens die persentasie oppervlakte wat elke tekstuurklas in die landtipe beslaan. Tabel 3.3 toon die bewerking vir landtipe Ae15 as voorbeeld. Die K-waardes vir landtipes word in tabel 3.4 weergegee.

Tabel 3.1 Sedimentleweringklasse as persentasie van oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

Opvanggebied	5 Hoog	6 Hoog	7 Hoog	8 Hoog	9 Matig	10 Matig	14 Laag	17 Baie laag	18 Baie laag
C52A		97,85%			2,15%				
C52B	0,31%	89,93%	3,16%		5,49%	1,11%			
C52C		90,67%	6,16%			3,17%			
C52D		81,79%		5,26%				12,95%	
C52E		1,77%		70,64%		25,78%		1,81%	
C52F		26,65%		28,40%				44,96%	
C52G				37,26%	1,09%			61,65%	
C52H				2,91%				97,09%	
C52J				25,65%				68,65%	5,70%
C52K				7,90%				41,35%	50,74%
C52L							4,07%		95,93%
Gemiddeld	0,02%	16,70%	0,39%	13,97%	0,53%	1,50%	0,56%	39,76%	26,57%

Aangepas uit: RSA, 1999

Tabel 3.2 Erodeerbaarheidsindeks volgens tekstuur

Tekstuur	K-waarde
MeSa-LmSa	0,085
Fy/meSa-LmSa	0,140
FySa-LmSa	0,140
SaKI	0,140
FySaKI	0,150
FySa	0,160
SaKI-KI	0,175
FySaKILm-SaKI	0,177
FySaKI-KI	0,180
Lmfy/meSa	0,180
LmmeSa	0,180
LmfySa-SaKI	0,190
FySaLm-SaKILm	0,206
KI	0,210
SaKI-KILm-KI	0,210
FySaKILm-KI	0,212
Fy/meSaKILm	0,215
Fy/meSa-SaKILm	0,215
Fy/meSa-SaLm	0,215
FySaKILm	0,215
FySa-SaKILm	0,215
FySa-SaLm	0,215
Lmfy/meSa-SaKILm	0,225
Lmfy/meSa-SaLm	0,225
LmfySa	0,240
SaKILm-KI	0,240
FySaKILm-KILm	0,247
LmfySa-SaKILm	0,255
LmfySa-SaLm	0,255
FySaLm-KI	0,280
FySaLm-SaKI	0,280
fy/meSaLm-SaKILm	0,290
fy/meSaLm	0,310
FySaLm	0,350
Panne (akkumulatie)	-1,000
Rots (geen gronderosie)	0,001
Stroomkanaal (vervoer)	0,000

Tabel 3.3 Beswaring van die K-waarde vir 'n landtipe

Landtipe	Grondseries	Tekstuur	K-waarde	Serieoppervlakte as % van totaal vir landtipe	Gewig	K-landtipe
Ae15	Rots	-	0,001	11,25	0,1125	0,0001125
Ae15	Hu33 Hu34	fi/meSa-LmSa	0,140	63,14	0,6314	0,0883960
Ae15	Cv33 Cv34 Cv36	fi/meSa-SaLm	0,215	4,10	0,0410	0,0088150
Ae15	Ms10 Hu33	FiSa	0,160	1,14	0,0114	0,0018240
Ae15	Ms10	FiSa	0,160	2,46	0,0246	0,0039360
Ae15	Ms22 Hu33	fiSa-LmSa	0,140	9,31	0,0931	0,0130340
Ae15	Va41 Sw41	FiSaKI	0,150	2,89	0,0289	0,0043350
Ae15	Va21 Ss13 Sw21	FiSaKI	0,150	2,46	0,0246	0,0036900
Ae15	Sd21 Ss13 Va21	FiSaKI	0,150	0,61	0,0061	0,0009150
Ae15	Du10 Ka20	fiSaLm-SaKI	0,280	1,00	0,0100	0,0028000
Ae15	Hu36	fiSaLm-SaKILm	0,206	1,64	0,0164	0,0033784
Totaal vir landtipe			0,159	100,00	1,0000	0,1312359

Tabel 3.4 Erodeerbaarheidsindeks vir landtipes

Landtipe	Geweegte K-waarde	Landtipe	Geweegte K-waarde
Ae15	0,13124	Ae279	0,19277
Ae281	0,25617	Ae282	0,20062
Ae283	0,19941	Ae44	0,15600
Ae45	0,21406	Ae46	0,16209
Ae47	0,21406	Ae48	0,15038
Ae49	0,16209	Ag145	0,12992
Ag146	0,16535	Ag148	0,18449
Ah20	0,20858	Ai7	0,16641
Ca22	0,19128	Ca24	0,21451
Ca33	0,19135	Ca34	0,25768
Ca35	0,25707	Ca8	0,18555
Da1	0,19625	Da105	0,17497
Da2	0,18039	Db2	0,17651
Db3	0,17651	Db37	0,19751
Db5	0,16055	Db87	0,20266
Db88	0,18625	Db91	0,20146
Dc13	0,16786	Dc16	0,17561
Dc17	0,16021	Dc8	0,19273
Ea39	0,14531	Ea41	0,12447
Ea43	0,18791	Ea44	0,18791
Fb1	0,18542	Fb18	0,09855
Fb2	0,09363	Fb400	0,17541
Fc12	0,23705	Fc13	0,24896
Ia126	0,22229	Ia4	0,19619
Ib100	0,08395	Ib346	0,07737
Ib347	0,07452	Ib348	0,07953
Ib91	0,09306	Ib99	0,07822

### 3.3.2.1.3 LS – Hanglengte en helling

Die standaardlengte en -helling van die persele waarop die USLE toegepas word, is 22,13m en 5° (Morgan, 1995:66). Moore en Burch (1986:1295) gebruik eenheidstroomkrag (P) en bring dit in verband met die LS faktor in die USLE deur ook van 'n bekkenvormfaktor gebruik te maak:

$$LS_p = \left( \frac{al}{22,13} \right)^{0,4} \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} Z$$

Die vormfaktor wat gebruik word, is

$$a = \left( \frac{A}{bl} \right)$$

A = Oppervlakte;

b = die lengte van die kontoersegment (breedte);

l = die lengte van die bekken langs die stroomlyn (vir 'n vierkant is a = 1); en

Z = (c/e)<sup>0,4</sup> 'n Stroomfaktor wat die deursnit van die kanaal (c), die wydte en die aantal kanale (e) per eenheidwydte in berekening bring.

In die bepaling van die LS-waarde vir hierdie studie is Z nie gebruik nie (vgl. Burrough & McDonnell, 1998:196) en is die vormfaktor gelyk aan 1 gestel aangesien van vierkantige ruite gebruik gemaak is in die analise.

### 3.3.2.1.4 C – Bedekking

Vir die doel van die studie was bedekking (basale bedekking) belangrik vir die invloed wat dit op erosie mag hê. Beckedahl *et al.* (1988:252) noem dat ook kroonbedekking en wortelverspreiding 'n noemenswaardige rol in die erosieproses speel. Acocks (1988) se relatiewe volopheidstabelle gee geen aanduiding van bedekking nie en, hoewel die tabelle aandui hoe ver die plante uitmekaar kan wees, gee hy egter nie waardes vir al die veldtipes nie. Volgens Van der Westhuizen (2000: pers. med.) wissel die basale bedekking van Cymbopogon-Themeda-veld tot Kalahari tussen 10 tot 6%. Definitiewe inligting vir die studiegebied is nie beskikbaar nie.

Goudie (1995:120) stel dat plantbedekking aan klimaatfaktore gekoppel kan wees en De Villiers (1975:101) gebruik die verhouding tussen totale bruto reënval en gemiddelde temperatuur (R÷T) om 'n plantegroei "digtheidswaarde" (moontlik

kroonbedekking) te bereken waarmee hy reënvalonderskeppingsverliese modelleer (tabel 3.5).

Tabel 3.5 Digtheidwaardes vir plantegroeitipes in die Modderrivieropvanggebied

Plantegroeitipe	Digtheid
Grasveld	36
Kalahari (Savanne)	27
Karoo	24

Bron: De Villiers, 1975: 140

Elwell (1978:21) stel voor dat die erosieverhoudingsfaktor (C) vir die grondverliesberamer vir Suider-Afrika (SLEMSA) bereken kan word deur 'n onderskeppingspersentasie (i) te gebruik.

$$C = (2,3 - 0,01i)/30 \text{ waar } i \geq 50 \text{ en}$$

$$C = e^{(-0,06i)} \text{ waar } i < 50$$

De Villiers (1975:140) bereken onderskepping as persentasie van reënval per plantegroeitipe in die omgewing van die studiegebied. Aangesien die definisie vir C in SLEMSA en in die USLE dieselfde is, kan bedekkingswaardes aan veldtipes toegeken word (tabel 3.6). Hierdie waardes korrespondeer met waardes wat deur Snyman *et al.* (1986:7) in die omgewing van Bloemfontein bepaal is.

Tabel 3.6 Bedekkingswaardes vir plantegroei

Veldtipe	Onderskepping	Bedekkingswaarde
Kalahari	13,9%	0,4343
Grasveld	8,6%	0,5969
Mielies	7,8%	0,6262
Koring	6,5%	0,6770
Karoo	6,3%	0,6852

Waardes vir gedegradeerde en stedelike gebiede en vir bestaansboerdery en uitheemse plantasies is afgelei vanaf lugfoto's en is gebaseer op die voorstelle van Beckedahl, *et al.* (1988:264).

Tabel 3.7 Bedekkingswaarde vir grondgebruik

Grondgebruik	Bedekkingsfaktor
Gedegradeer	1,0000
Myne en leengroewe	1,0000
Stedelik: Kommersieel	0,9000
Stedelik: Industrieel	1,0000
Stedelik: Residensieel	0,5000
Aangeplante weiding	0,4000
Akkerbou	0,6450
Bestaansboerdery	0,4450
Uitheimse plantasies	0,8000
Grasveld	0,5969
Struikveld	0,6852
Struik- en bosveld	0,4343
Damme	-1,0000
Panne en vleie	-1,0000

#### 3.3.2.1.5 P – Grondbewaringsfaktor

’n Studie van lugfoto’s van die Modderrivieropvanggebied het geen opmerlike grondbewaringspraktyke aan die lig gebring nie. By gebrek aan inligting word ’n P waarde van 1 vir die hele gebied gebruik (Morgan, 1995:66).

### 3.4 Dreineringsbekkenmorfometrie

Geometriese maatstawwe kan gebruik word om die driedimensionele eienskappe van topografiese vorms as punte, lyne, oppervlakke en volumes in Euklidiese ruimte te beskryf. Om die geografiese rangskikking (nie-Euklidiese aspekte) van topografiese verskynsels te beskryf, word topologiese maatstawwe soos opeenvolgende orde en aaneenskakeling gebruik. Soos Pike (1995:226) dit stel “*Reduced to its analytic essentials, topography is just geometry and topology.*”

Verskeie parameters is reeds in die kwantitatiewe analise van dreineringsbekkens gebruik. Horton (1945) het vyf veranderlikes gebruik en gesê dat ander variante daarvolgens afgelei kan word. Doornkamp en King (1971:93) het derde-ordebekkens in Uganda bestudeer en agtien veranderlikes vir faktoranalise gebruik. In sy studie van die Grootspuitopvanggebied gebruik De Villiers (1981:76) nege en vyftig veranderlikes en variante. Barker (1985:41) gebruik twintig veranderlikes in sy studie van die Mooirivieropvanggebied. Soortgelyke werk is ook deur Young (1972) gedoen en in

Suid-Afrika deur skrywers soos Cooks (1974 en 1976) en Van Wyk en Van Rensburg (1976).

Bekkenparameters kan volgens Strahler (1975:455) in drie groepe verdeel word naamlik: oppervlakte, liniêr en reliëf. Moore *et al.* (1991:11) verdeel topografiese attribute, op dieselfde beginsel as Horton, in twee groepe: primêr en sekondêr. Die primêre attribute kan direk in prosesmodellering gebruik word en die sekondêre attribute as plaasvervangers vir komplekse hidrologiese, geomorfologiese of biologiese prosesse. Schmidt en Dikau (1999: 158) onderskei drie tipes primêre attribute (eenvoudig, kompleks en gekombineerd) wat in staat is om die geomorfometrie van `n gebied in `n GIS-omgewing te beskryf. Sedert die beskikbaarstelling van topografiese inligting in digitale formaat is verskeie tegnieke ontwikkel om morfometriese parameters soos gradiënt, aspek en hangvorm te bereken en voor te stel (Desmet 1997:19). Skrywers soos Evans (1990b), Eash (1994), Miller *et al.* (1996) en Wilson en Gallant (1998) het morfologiese parameters met sukses in die digitale analise van dreineringsbekkens gebruik. Schmidt en Dikau (1999:157) onderskei tussen “parameters” (kwantitatief) en “attribute” (kwalitatief).

In die lig van die doel van die studie en die metodologie wat gebruik is, is enkele suksesvolle parameters uit vorige werk gekies vir toepassing op die Modderrivier. Die parameters behoort die studiegebied en die prosesse werkzaam daarin so volledig moontlik te beskryf. Tabel 3.8 gee `n uiteensetting van die parameters wat in die ondersoek gebruik is<sup>3</sup>. Die parameters word in vyf groepe verdeel naamlik; stroom (Bs), bekken (Bb), vorm (Bv), erosieproses (P1) en vervoerproses (P2). In die volgende paragrawe word die parameters, die formule vir berekening en die gebruik van die parameters bespreek.

---

<sup>3</sup> Ten einde latere verwysing te vergemaklik word die tabel word ook as `n uitvoublad agter in die proefskrif ingesluit.

Tabel 3.8 Parameters wat in die studie gebruik is

Tipe	Parameter	Simbool
Bs	Aantal strome	COUNT
Bs	Dreineringsdigtheid	DD
Bs	Stroomlengte	S_LENGTH
Bs	Vloeilengte	F_LENGTH
Bb	Bekkenlengte	B_LENGTH
Bb	Bekkenomtrek	PERIMETER
Bb	Bekkenoppervlakte	HECTARES
Bb	Helling (°)	SLDEG
Bb	Hoogte bo seevlak	ALT
Bb	Reliëf	REL
Bv	Sirkelvormigheid	CIRCLE
Bv	Verlengingsverhouding	ELONG
Bv	Vormverhouding	BV_SHAPE
P1	Bedekking	C_LU
P1	Erodeerbaarheid	K
P1	Erosie	USLE_LU
P1	Erosiwiteit	R
P1	Helling-lengteverhouding	LS
P2	Benattingsindeks	WET
P2	Plankromming	PLAN
P2	Profielkromming	PROF
P2	Sedimentvervoerindeks	TPT
P2	Stroomkragindeks	POW
P2	Vloeiakkumulاسie	FACC

Stroomorde en die gepaardgaande bekkenorde word deur Strahler (1975:455) as 'n liniêre parameter beskou. Sy metode van stroomordening word in die studie nagevolg. Behalwe vir die onderskeiding en vergelyking tussen bekkens, is orde nie as 'n parameter in die studie gebruik nie.

### 3.4.1 Bekkenparameters (Bb)

#### 3.4.1.1 Bekkenoppervlakte

Bekkenoppervlakte is reeds deur Horton (1945:283) gebruik as 'n veranderlike in dreineringsbekkenanalise en word as 'n belangrike parameter ten opsigte van vorm en proses beskou (Gregory & Walling, 1973:41). Bekkenoppervlakte verteenwoordig die oppervlakte soos geprojekteer op 'n horisontale vlak (Seyhan 1976:33). Die belang van bekkenoppervlakte word deur Tarboton, *et al.* (1991:86) onderstreep deur 'n

beskouing dat die minimum oppervlakte wat 'n bydrae lewer tot stroomvloei, die fisiese oorgang tussen kanaalprosesse en hangprosesse vorm.

#### 3.4.1.2 Bekkenomtrek

Bekkenomtrek word hoofsaaklik gebruik om vormparameters te bereken maar is ook as 'n parameter in die studie gebruik.

#### 3.4.1.3 Bekkenlengte

Bekkenlengte is gemeet langs 'n reguit lyn wat die mond van die bekken met die verste punt op die waterskeiding (omtrek) verbind. Gregory en Walling (1973:51) en Schumm (1956:612) beskou bekkenlengte as 'n belangrike vormveranderlike. In die vormparameters wat in die studie gebruik word, word bekkenlengte as 'n veranderlike benodig.

#### 3.4.1.4 Hoogte bo gemiddelde seevlak

Die minimum, maksimum en gemiddelde hoogte bo seevlak is vir alle bekkens bepaal.

#### 3.4.1.5 Reliëf

Die minimum, maksimum en gemiddelde reliëf is vir alle bekkens bepaal.

#### 3.4.1.6 Helling

Helling is in grade en radiale bereken. Grade is as parameter in die studie gebruik terwyl radiale gebruik is om die vervoerparameters mee te bereken. Die minimum, maksimum en gemiddelde helling is vir elke bekken bepaal.

### 3.4.2 Stroomparameters (Bs)

#### 3.4.2.1 Dreineringsdigtheid

Dreineringsdigtheid word deur Gregory en Walling (1973:45) as 'n belangrike parameter beskou wat 'n aanduiding gee van die intensiteit van verskeie prosesse wat werkzaam is in 'n bekken en die faktore wat dit beïnvloed, byvoorbeeld klimaat, edafiese faktore en geologiese faktore (De Villiers, 1981:41).

Die volgende formule (Horton, 1945:238) is gebruik:

$$D_u = \frac{\sum_{i=0}^n L_u}{A_u}$$

#### 3.4.2.2 Vloeilengte

Vloeilengte, soos vir hierdie studie gebruik, bereken die stroom-op en stroom-af afstand vir elke sel in 'n dreineringsbekken (ArcView: FlowLength). Die resultaat is die langste afstand vir vloei in die bekken. Die berekening is afhanklik van die selgrootte en die rigting van vloei in die selle.

#### 3.4.2.3 Aantal strome

Die aantal stroomsegmente in elke bekken is bepaal.

#### 3.4.2.4 Strooilengete

Die totale lengte van al die stroomsegmente in 'n bekken is bereken.

#### 3.4.3 Bekkenvormparameters (Bv)

Ten spyte van die feit dat bekkenvorm 'n invloed het op die vloedhidrograaf van 'n stroom (Gregory & Walling, 1973:269) en 'n belangrike parameter kan wees, noem Thorn (1988:107) dat geen duidelike verband tussen bekkenvorm en enige ander hidrologiese of geomorfologiese proses bestaan nie. Drie parameters wat 'n aanduiding gee van bekkenvorm is in die analise ingesluit.

Bekkenverlenging is deur Schumm (1956:612) gedefinieer as die verhouding tussen die omtrek van 'n sirkel met dieselfde oppervlakte as die bekken en die maksimum bekkelengete ( $B_l$ ).

$$B_e = \frac{2\sqrt{\frac{A_u}{\pi}}}{B_l}$$

Horton (1945) beskryf die vormfaktor as die verhouding tussen die oppervlakte van 'n bekken en die kwadraat van die lengte van die bekken.

$$F = \frac{A_u}{L^2}$$

'n Sirkelvormigheidsverhouding (Thorn, 1988: 101) word bereken deur die verhouding tussen die bekkenoppervlakte en die oppervlakte van 'n sirkel met dieselfde omtrek te bepaal.

$$B_s = \frac{4\pi A_u}{p^2}$$

Hierdie verhouding nader een (1) as die bekken sirkelvormig word. Thorn (p102) noem dat 'n sirkel die geometriese vorm is wat die laagste hoeveelheid vrye energie voorstel. Vir 'n dreineringsbekken om minimaal beïnvloed te word deur eksterne faktore sou die neiging dus ook na sirkelvormigheid wees.

#### 3.4.4 Erosieparameters (P1)

Erosieprosesparameters wat gebruik is, is erosiwiteit (neerslagintensiteit), erodeerbaarheid (grondtekstuur), grondbedekking, 'n helling-lengteverhouding en in kombinasie, 'n erosiefaktor. Die parameters is reeds gedefinieer (paragraaf 3.3.2.1.1 tot 3.3.2.1.5). Die minimum, maksimum en gemiddeld is vir elke parameter bereken.

#### 3.4.5 Vervoerparameters (P2)

Aangesien helling belangrik was in van die vroegste geomorfologiese studies (Young, 1972:3) en steeds, volgens Parsons (1988:1) en Moore *et al.* (1991:13), sentraal staan in die wetenskap, is vervoerparameters gebruik wat direk of indirek van helling afgelei kan word. Die minimum, maksimum en gemiddeld is vir elke parameter bereken.

##### 3.4.5.1 Profielkromming

Profielkromming kan gedefinieer word as die tempo van verandering in gradiënt langs 'n hang (Evans, 1990b:45). Parsons (1988:128) toon uit die literatuur dat die minste sedimentverlies vanaf konkawe hange plaasvind, terwyl Ahnert (1998:132) stel dat konkawe hange 'n aanduiding kan gee van ewilibrum in die sin dat die hoër afloop op die laer helling kompenseer vir laer afloop op die steiler helling hoër-op teen die hang.

Reguit hange veroorsaak, volgens Parsons (p128), die grootste hoeveelheid erosie en konvekse hange word veroorsaak deur 'n hoë mate van infiltrasie en die gevolglike verlaging in afloop. Profielkromming is dus direk eweredig aan die versnelling van afloop wat op sy beurt erosie beïnvloed. Profielkromming kan wissel van  $-\infty$  (konveks) tot  $\infty$  (konkaaf) met 'n reguit helling gelyk aan 0. 'n Algoritme uit Burrough en McDonnell (1998:191) word in die bepaling van profielkromming gebruik.

#### 3.4.5.2 Plankromming

Plankromming word gedefinieer as die tempo van verandering in aspek langs 'n kontoer (Evans, 1990b:45). Young (1972:176) en Parsons (1988:124) stel dat denudasie hoër sal wees by konkawe planvorms (valleibopunt) waar vloeiïlyne konvergeer en omgekeerd by konvekse planvorms (uitlopers) waar vloeiïlyne divergeer. Weer eens kan waardes wissel van  $-\infty$  (konveks) tot  $\infty$  (konkaaf) met 'n reguit kontoer gelyk aan 0. 'n Algoritme uit Burrough en McDonnell (1998:191) word in die bepaling van plankromming gebruik.

#### 3.4.5.3 Stroomkragindeks

Moore *et al.* (1993:446) stel dat stroomkrag (die produk van die gewig van water, afloop en helling) 'n aanduiding is van die erosiekrag van oppervlakovloei. 'n Stroomkragindeks (die produk van bekkenoppervlakte en die tangens van die helling) word voorgestel as 'n karakterisering van erosie- en afsettingsprosesse en spesifiek die invloed van topografie op grondverlies.

#### 3.4.5.4 Sedimentvervoerindeks

Die vergelyking vir die berekening van die helling-lengteverhouding (3.3.2.1.3) word deur Burrough en McDonnell (1998:196) gebruik om 'n sedimentvervoerindeks te bepaal. Die vormfaktor word vervang met vloeiakkumulاسie wat 'n aanduiding gee van die bydraende oppervlakte bo die punt waar die berekening gedoen word en dus sedimentopbrengs in 'n dreineringsbekken kan bepaal. Twee skrywers, Engel (1999) en Kohler (2001), gebruik die sedimentvervoerindeks as plaasvervanger vir die LS-faktor. Aangesien vloeiakkumulاسie nie in die LS-faktor gebruik is nie, is die sedimentvervoerindeks ook in die studie as vervoerparameter ingesluit. 'n Roetine van Kohler (2000) is gebruik vir die bepaling van die parameter.

#### 3.4.5.5 Benattingsindeks

Moore *et al.* (1991:13) omskryf `n indeks van oppervlakversadiging en die voginhoud van grond as die verhouding tussen oppervlakte en helling:

$$w = \ln\left(\frac{A}{\tan \beta}\right)$$

Waar:

A = oppervlakte en

$\beta$  = helling (rad.)

Waardes vir w wissel van 0 tot  $\infty$

#### 3.4.5.6 Vloeiakkumulاسie

Vloeiakkumulاسie of die aantal stroom-op selle vanaf die bekkenmond is vir elke bekken beskikbaar.

### 3.5 Slotopmerkings

In die voorafgaande gedeelte is gepoog om `n teoretiese agtergrond vir die studie te skets. Enkele beginsels vir landskapontwikkeling is genoem en na aanleiding van enkele modelle, is die parameters wat gebruik gaan word om die studiegebied te karakteriseer bespreek. Die waardes wat aan sekere van die parameters toegeken is, is ook gemotiveer. Daar is reeds in hierdie hoofstuk probeer om die twee komponente (proses- en ontwikkelingstudies) van die studie te versoen met die metodologie wat gebruik gaan word. Die volgende hoofstuk word gewy aan die metodologie van die studie.

## HOOFSTUK 4 Metodologiese agtergrond

*"The computer is no longer part of the research environment – we are rapidly approaching a world in which the computer is the research environment"*

MF Goodchild en PA Longley (1998:570)

### 4.1 Inleidend.

Een van die doelstellings van die studie is `n ondersoek na die aanwending van inligtingstegnologie, spesifiek geografiese inligtingstelsels (GIS), in die karakterisering en analise van landvormeienskappe op `n mesoskaal. Volgens Desmet (1997:18) was die werklike uitvoering van `n *“echte kwantitatiewe analise (in geomorfologie) bijna ondoenbaar”* weens die enorme taak om alle tersaaklike morfometriese data vanaf lugfoto's en uit die veld te versamel en te verwerk. Inligtingstegnologie en die vermoë van moderne rekenaars om groot volumes data te hanteer, manipuleer en, met toepaslike modelle, sinvolle inligting vir `n verskeidenheid toepassings te produseer, bied `n moontlike oplossing.

Drie komponente van `n GIS maak die aanwending van die tegniek geskik vir geomorfologiese navorsing. Die eerste hiervan, ruimtelike analise, is nie vreemd in geomorfologie nie. Chorley noem reeds in 1972 (p3) dat die verband tussen kwantitatiewe data en ruimtelike koördinate in die studie van landvorme en geassosieerde prosesse gebruik word. `n Tweede komponent, modellering, kom ook reeds lank in geomorfologiese literatuur voor. Kartering, die derde komponent van GIS, is met die publikasies van die IGU se Kommissie vir Geomorfologiese Kartering geformaliseer (Demek, 1972 en Demek & Embleton, 1978). Die skrywer se morfologiese kaart van die Mooirivieropvanggebied (Barker, 1985 en De Villiers, 1988:491) kan ook as illustrasie dien.

In hierdie hoofstuk word etlike beginsels van geografiese inligtingstelsels en digitale terreinmodelle, soos in die konteks van hierdie studie gebruik, in perspektief gestel. Die programpakket wat in die studie gebruik is, ArcView®, word bespreek en laastens word die databronne aangedui en die redigering van die data vir die studie word beskryf.

## 4.2 GIS as 'n geografiese hulpmiddel

### 4.2.1 Die aard van GIS

In resente literatuur word dikwels gedebatteer oor die aard van GIS. Volgens Wright *et al.* (1997:354) word drie groepe "GIS-kenners" aangetref, *rekenaarwetenskaplikes* wat programmatuur ontwikkel, *GIS-gebruikers* wat die programmatuur gebruik – soms as 'n tegniek in 'n vakgebied anders as geografie (Couclelis, 1999:29) en *GIS-"ontwikkelaars"* wat GIS gebruik om nuwe tegnieke (gereedskap) te skep vir die oplossing van probleme. In laasgenoemde twee gevalle is GIS, hoewel nie eksklusief nie, gegrond in geografie as ruimtelike wetenskap.

Atkinson (1997:573), in 'n evaluering oor die vordering van GIS gedurende die eerste helfte van die 1990's, gebruik die akroniem "GIS" vir "*Geographical Information Science*" om aan te toon dat die konsep as 'n wetenskap beskou kan word. In die beoefening van GIS as selfstandige wetenskap het die geograaf tot dusver nie veel insette gelewer nie. GIS as wetenskap val heeltemal binne die veld van rekenaarwetenskap waar 'n totaal ander metafisiese en epistemologiese omgewing probleemoplossing binne stelselontwikkeling en programmering rig (Longley & Batty, 1996: 7).

GIS kan egter ook soos woordverwerking, 'n telefoon of statistiek gebruik word, sonder dat die gebruiker enigsins 'n diepgaande begrip vir die hulpmiddel self hoef te hê. As voorbeeld dien die kartografiese funksie van GIS wat gewoonlik net 'n baie klein komponent van die totale funksionaliteit van 'n GIS-programpakket uitmaak. Nogtans word ongeveer 70% van die tyd wat gebruikers met 'n GIS spandeer, slegs vir kartering gebruik (Van Vuuren, 1999).

### 4.2.2 Definisie

'n Geografiese inligtingstelsel is volgens Aronoff (1989:1) 'n **werktuig** (tool) of **tegniek** wat ontwerp is vir die *versameling*, *berg* en *analise* van objekte waarvan die geografiese ligging 'n belangrike eienskap of krities vir analise is.

Chrisman (1997:5) beskou 'n GIS as 'n georganiseerde **aktiwiteit** waardeur

- aspekte van geografiese *verskynsels* en prosesse gemeet kan word,
- hierdie metings voorgestel kan word ten einde ruimtelike *temas*, *entiteite* en *verwantskappe* te beklemtoon,

- *verwerkings* op hierdie voorstellings vir verdere berekening en die ontdekking van verwantskappe deur die integrasie van uiteenlopende databronne gedoen kan word, en
- *verandering* van die voorstellings aangebring word om aan ander raamwerke van entiteite en verwantskappe te voldoen.

’n GIS word ook as ’n **besluitneming- en bestuurstelsel** gebruik (Grupe, 1990; Van Niekerk, 1996 en Jamieson & Fedra, 1996). Rekenaargesteunde besluitnemingsstelsels is nie uniek aan GIS nie. Tabel 4.1 toon die verskillende stelsels wat gebruik kan word afhangende van die aard van die data en die doel van die besluitnemingsproses. Jones (1997:214) noem egter dat die vermoë van ’n GIS om data uit uiteenlopende bronne te integreer, die stelsel geskik maak vir besluitneming waar verskeie faktore ter sprake is.

Tabel 4.1 Besluitnemingsondersteuningsisteme

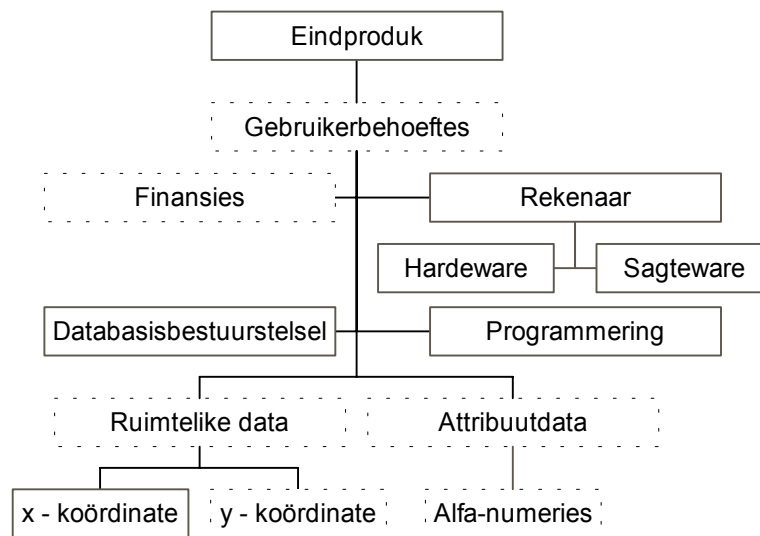
Datatype	Onttrekking en voorstelling van data	Ontleding van verwantskappe tussen, en analise van verskynsels
Alfa-numeries	Databasisse en databasisbestuursisteme	Ekspertstelsels Neurale netwerke
Grafika	Digitale beelde	Beeldverwerking Digitale modellering
Alfa-numeries en grafika	Rekenaargesteunde ontwerp en kartering (CAD / CAM)	Geografiese Inligtingstelsels

Aangepas uit Grupe, 1990

Aangesien GIS so ’n uiteenlopende funksie kan vervul en die doel waarvoor ’n GIS gebruik word die definiëring daarvan sal beïnvloed, moet daar na die spesifieke vereistes wat hierdie studie vir ’n GIS stel, gekyk word voordat ’n definisie geformuleer kan word. Vir die doel van die studie moet ’n GIS aan drie vereistes voldoen. Die stelsel moet eerstens ’n datahanteringsfunksie vervul, dit moet spesifieke analiseprosedures kan verrig en dit moet resultate kan kommunikeer.

’n GIS word dus omskryf as ’n rekenaargebaseerde tegniek waarmee die ligging en beskrywing van landskapkenmerke versamel, georden en digitaal geberg kan word. ’n GIS is verder ’n hulpmiddel waarmee die ruimtelike verspreiding van verskynsels geanaliseer, die verwantskappe tussen verskynsels gemodelleer en die resultaat kartografies korrek en gebruikersvriendelik voorgestel kan word. ’n GIS het ook die vermoë om bruikbare inligting aan besluitnemers oor te dra.

Figuur 4.1 gee 'n skematiese voorstelling van die komponente van 'n GIS soos vir die studie omskryf.



Aangepas uit Heywood, *et al.*, 1998

Figuur 4.1 Komponente van 'n geografiese inligtingstelsel.

#### 4.2.3 GIS in geomorfologie

Volgens Montgomery *et al.* (1998:241, 246) het 'n GIS etlike voordele vir geomorfologiese navorsing en daarom ook 'n belangrike rol om te speel in die analise van dreineringsbekkens, onder meer:-

- die voorspelling van die ruimtelike verspreiding van geomorfologiese en omgewingsprosesse deur prosesmodellering en die simulering van moontlike toekomstige toestande;
- die formulering van ruimtelike hipoteses waardeur historiese rekonstruksies en veldwaarnemings vergelyk kan word;
- die kompilering en vergelyking (overlaying) van landskapkenmerke en die aantoon van sentrale tendense;
- die veralgemening van puntwaarnemings na die hele dreineringsbekken; en
- 'n rol in die ondersoek na en illustrasie van potensiële impakte van spesifieke bestuurstrategieë en die bewaring van data vir monitering.

In geomorfologie kan GIS nie as 'n *verklaringsgerigte* metodologie gebruik word nie — daarvoor sorg die filosofiese basis van die vak, maar GIS is wel 'n uitermate geskikte tegnologiese ontwikkeling in die strewing na 'n beter begrip van die fisiese omgewing. Deur GIS dus te gebruik as 'n *probleemoplossingsgerigte* hulpmiddel in die benadering tot spesifieke vraagstukke in geomorfologiese navorsing en ook om bestaande morfologiese tegnieke of metodes te bespoedig, word 'n volgende vlak in die spektrum tussen hulpmiddel en wetenskap bereik. In die geval van hierdie studie is GIS dan gebruik om “nuwe” tegnieke in geomorfologie te beproef.

Verskeie skrywers het reeds GIS as hulpmiddel in hidrologiese modellering gebruik. Enkele voorbeelde kan genoem word. Nogami (1995) definieer etlike morfologiese parameters in terme van 'n digitale terreinmodel (DTM) – gewoonlik in terme van die uitlaatpunt (pour point) en die stroomop attribuut vir die parameter. Brabyn (1997) klassifiseer makrolandvorme (landvorme met 'n oppervlakte van tussen 10 en 1 000km<sup>2</sup>) met GIS. Wilson en Gallant (1998) beskryf enkele morfometriese parameters wat vanaf 'n digitale terreinmodel afgelei kan word. Roessner (1999) gebruik GIS in die modellering van denudasie op 'n vulkaniese plato in die Keniaanse slenkdaalgebied. Johansson (1999:279) het GIS en 'n DTM gebruik om paleo-oppervlakke in Swede te identifiseer. Schmidt en Dikau (1999) stel 'n metodologiese raamwerk voor vir die onttrekking en verwerking van morfologiese parameters vanaf 'n DTM. Verskeie studies waar GIS as basis vir hidrologiese modellering gebruik is, is ook gepubliseer. Van hierdie werk en die resultate daarvan is met vrug in hierdie studie gebruik. Geen verwysing kon egter gekry word waar GIS eksplisiet in morfometriese analises (soos in hierdie studie ter sprake) gebruik is nie.

#### 4.3 Data en data-analise in 'n geografiese inligtingstelsel

*“Geographical phenomena require two descriptors to represent the real world; what is present, and where it is”* (Burrough & McDonnell 1998:19). Die normale menslike persepsie van die werklikheid kan, as gevolg van kompleksiteit, nie deur 'n rekenaar hanteer word nie en daarom moet hierdie twee eienskappe van verskynsels na 'n digitale formaat vertaal word om uiteindelik vir 'n rekenaar bruikbaar te wees.

##### 4.3.1 Ligging

Enige verwysing na ligging moet gedoen word vanaf 'n standaarddatum wat bestaan uit 'n verwysingsellipsoïde en die oorsprong van die verwysingsstelsel (Rossiter, 1994:2-5). Die ligging van 'n verskynsel word beskryf in terme van die afstand vanaf

ten minste twee bekende punte op 'n verwysingsraamwerk of koördinaatstelsel. In 'n GIS kan van verskeie koördinaatstelsels gebruik gemaak word afhangende van die doel van die analise. Die mees algemene manier om ligging voor te stel, is om gebruik te maak van die bekende sferies-polêre koördinaatstelsel van lengte- en breedtegrade met die Greenwichlengtelyn en die ewenaar as oorsprong. Die ligging van punte word aangedui in grade, minute en sekondes in die vorm van 'n graadnet (in ArcView word van desimale grade gebruik gemaak). Hierdie metode is geskik vir liggingsanalise maar nie sonder meer vir oppervlakte- en afstandsberekening nie (Maling, 1989: 210 en Ormsby & Alvi, 1999:44).

Die Kartesiese koördinaatstelsel gebruik afstande in meter vanaf 'n stel arbitrêr gekose lyne met bekende ligging en word as 'n ruitnet voorgestel. Hierdie tipe stelsel is meer geskik vir die berekening van afstande en oppervlakte (Maling, 1998:210 en Ormsby & Alvi, 1999:44) maar is nie altyd 'n bekende aanduiding van ligging nie. Vals noordelike en oostelike waardes (northings and eastings) kan gebruik word om verwarring met negatiewe waardes in die koördinaatstelsel uit te skakel.

Die aarde as 'n sferoïde kan ook nie sonder een of ander projeksie op 'n plat vlak voorgestel word nie. Hoewel 'n GIS inligting digitaal hanteer, is kaartprojeksies steeds 'n belangrike aspek. Die keuse van 'n projeksie is van kardinale belang vir die akkuraatheid van die inligting wat verlang word en daar moet 'n keuse gemaak word tussen oppervlakte-, rigting- of afstandgetroue projeksies.

#### 4.3.2 Verskynsels

Verskynsels of voorwerpe word geklassifiseer op grond van een of meer eienskappe wat ooreenstem met eienskappe van ander verskynsels. So 'n stelsel is egter weer eens te ingewikkeld om in rekenaarterme weer te gee en die stelsel moet eenvoudig genoeg wees om slegs een kenmerk van 'n voorwerp aan te dui. Jones (1997:26) definieer drie verskillende konseptuele modelle wat elk een komponent van die aard van verskynsels kan beskryf. Die **objekgebaseerde** model aanvaar dat enige verskynsel 'n unieke kenmerk het wat dit onderskei van ander verskynsels. 'n **Netwerkgebaseerde** model aanvaar die verwantskap in ruimte tussen verskynsels en die verwantskap kan op 'n unieke manier vir elke verskynsel beskryf word. In die laaste plek aanvaar die **oppervlakgebaseerde** model dat 'n verskynsel in ruimte kan varieer maar dat die variasie op 'n wiskundige of statistiese beginsel berus.

Al drie dié modelle word in hierdie studie gebruik vir die analise van geomorfologiese verskynsels. Individuele landvorme word as voorwerpe beskou, dreineringslyne as netwerke en die landskap as 'n kontinue oppervlak.

### 4.3.3 Datakwaliteit

Die kompleksiteit van die werklikheid maak dit feitlik onmoontlik vir enige voorstelling daarvan (analoog of digitaal) om volledig te wees. Data wat in 'n GIS gebruik word, stel een of ander verskynsel op 'n spesifieke tydstip voor. Hierdie data is reeds 'n veralgemening van die werklikheid omrede nie alle inligting oor alle verskynsels gebruik word nie. Volgens Aronoff (1989:35) is die keuse van data een van die eerste beperkings in die gebruik van 'n GIS en hy gee 'n paar riglyne vir die versameling van *relevante* data. Die mees koste-effektiewe manier om data te versamel is om net die nodige te versamel, optimale datakwaliteit is die minimum kwaliteit wat benodig word en die koste van data neem eksponensieel met kwaliteit toe. Jones (1997:121) noem verskeie aspekte wat in die betroubaarheid van inligting ter sprake is: akkuraatheid, afwykings (errors), foute (mistakes), presisie, skaal en resoluësie.

Aspinall en Pearson (1996:35) stel dat die kwaliteit van data fundamenteel is waar komplekse omgewingsanalises gebruik word vir besluitneming en noem drie aspekte waardeur data die uitset van ruimtelike analise kan beïnvloed:-

- Skaal en ruimtelike "resoluësie" verwys na die sigbaarheid van 'n voorwerp wanneer dit op verskillende skale voorgestel sou word. In rastertoepassings is dit veral die ruitgrootte wat van belang is en kan 'n groter ruit aanleiding gee tot te veel veralgemening.
- Ruimtelike afhanklikheid (outokorrelasie) is die neiging vir naasliggende natuurlike verskynsels om soortgelyke attribute te hê en het moontlik 'n onbekende invloed op numeriese modellering van ruimtelike verskynsels.
- Foutpropagering deur modellering is afhanklik van die kwaliteit van die data, die kwaliteit van die model en die wisselwerking tussen die model en die data.

Heuvelink (1998:5) noem dat 'n model slegs 'n veralgemening van die werklikheid is en daarom foute bevat, die sogenaamde "modelfoute", maar dat dit steeds verantwoord moet word. Burrough en McDonnell (1998) meld verskeie metodes waarop vir foute in modellering getoets kan word, waarvan een die berekening is van die vierkant van die gemiddelde kwadraat fout (RMSE). In sy boek raak Heuvelink

(1998) ook aan 'n kritiese waarde vir foute in die uitset van 'n projek (p7) en noem dan dat daar gesoek moet word na die bron vir die fout. Indien 'n modelfout die hooforsaak is, moet gekyk word na 'n verbeterde modelleringsproses (p102).

#### 4.3.4 Tyd-ruimtelike analise met GIS

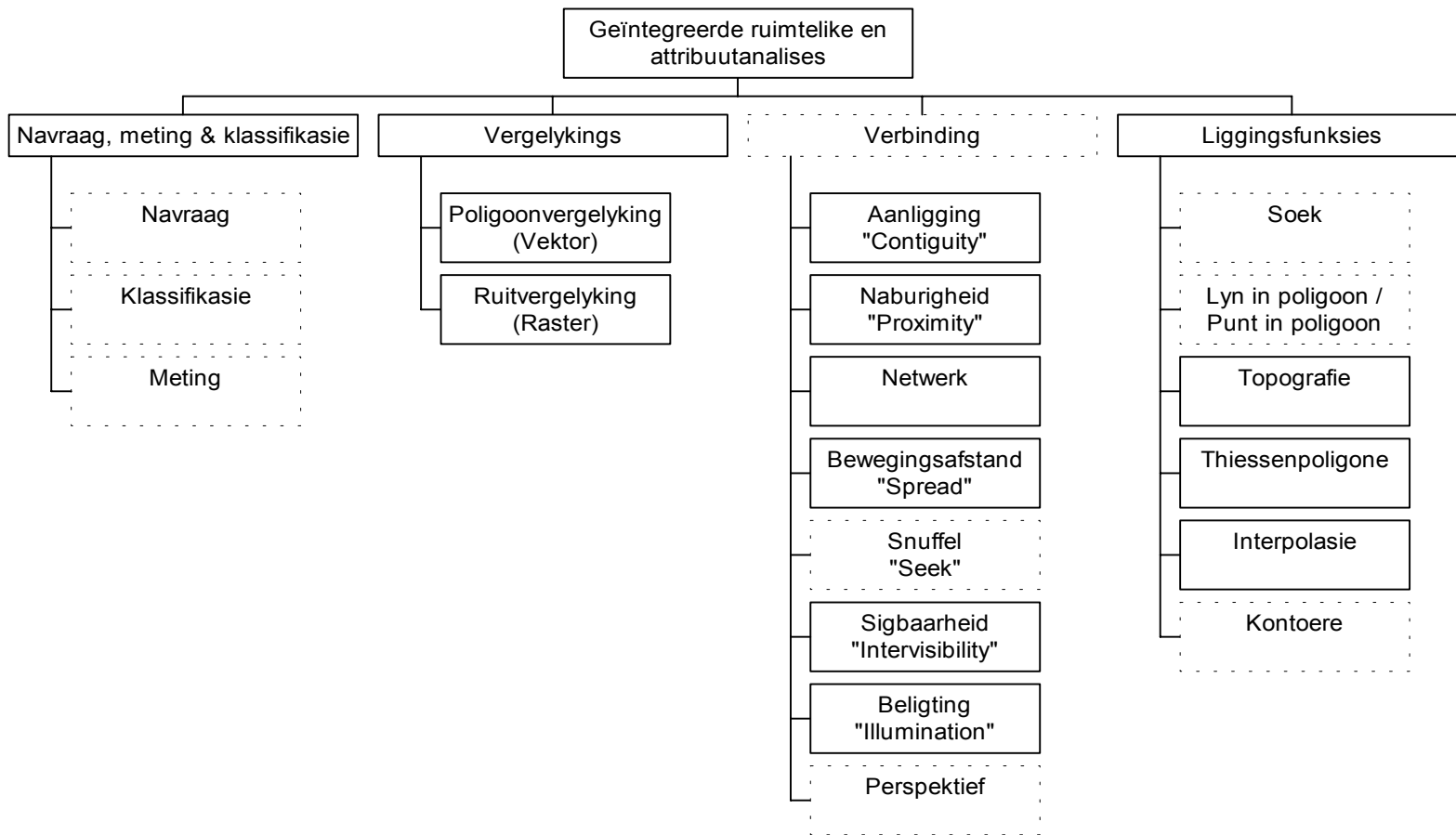
In die vorige gedeeltes is die aard van data in 'n GIS bespreek. Die data is die eerste komponent van die vereistes wat vir die gebruik van 'n GIS in hierdie studie gestel is. In hierdie gedeelte word die tweede komponent, naamlik die aard van die analitiese prosesse wat gebruik is, ondersoek.

##### 4.3.4.1 Ruimtelike analise

Bailey (1994:15) omskryf ruimtelike analise as "*a general ability to manipulate spatial data into different forms and extract additional meaning as result*". Ruimtelike analise kan ook gedefinieer word as "'n versameling tegnieke vir die analise van geografiese gebeure waar die resultaat afhang van die ruimtelike rangskikking van die gebeure" (Haining, 1994:45). Hy noem verder dat hierdie tegnieke in drie kategorieë verdeel kan word, naamlik ruimtelike data-analise, kaartgebaseerde analise en wiskundige modellering. Korte (2001:134) onderskei tussen datamanipulasie en data-analise.

Ten einde verwarring te voorkom word die term "**ruimtelike analise**" in hierdie studie gebruik met verwysing na deterministiese funksionele tegnieke ("kaartanalise") en "**ruimtelike statistiek**" verwys na stogastiese tegnieke wat betrekking het op die ruimtelike patroon en verwantskap van verskynsels (vgl. Bailey, 1994:15). In hierdie afdeling word gekonsentreer op ruimtelike analise.

Ruimtelike analise, hetsy van analoge of digitale bronne, begin met die vra van toepaslike vrae (Mitchell, 1999:11), 'n grondige begrip vir die aard van die beskikbare data (DeMers, 2000:185) en die keuse van geskikte metodes vir die tersaaklike analyses (statistiese tegnieke) (Aronoff, 1989:191). Ruimtelike analise met behulp van 'n GIS kan in vier funksionele groepe verdeel word (Aronoff, 1989; DeMers, 2000 en Fotheringham & Rogerson, 1995): navraag-, meting- en klassifikasiefunksies, liggingsfunksies, verbindingfunksies en vergelykings. Feitlik alle GIS-pakkette beskik oor die vermoë om die meeste van hierdie funksies uit te voer. Dit is buite die bestek van die proefskrif om 'n gedetailleerde beskrywing van al die funksies te gee, daarom word volstaan met die uiteensetting in figuur 4.2 en 'n kort beskrywing van die tersaaklike funksies in die analitiese gedeeltes van die verslag.



Aangepas uit Aronoff, 1993:196

Figuur 4.2 'n Skematiese voorstelling van ruimtelike analitiese funksies

#### 4.4 GIS en kartografie

Doeltreffende kommunikasie is die derde belangrike vereiste wat aan 'n GIS vir hierdie studie gestel is. Die belangrikste wyse waarop beide die huidige situasie (werklikheid) en die resultate aan gebruikers oorgedra kan word, is met behulp van kaarte. 'n Bespreking van karteringstegnieke is dus noodsaaklik.

Unwin (1981:3) beskryf kartering as die vertaling van een vektorruimte na 'n ander. Kaarte is volgens hom 'n driedimensionele voorstelling van 'n multidimensionele werklikheid met lengte- en breedteligging en kwantiteit of kwaliteit as 'n derde dimensie. Tyd vorm waarskynlik 'n vierde dimensie. Kaarte vervul drie belangrike funksies in die samelewing. Die menslike onvermoë om 'n groot ruimte te visualiseer, het vroeg in die geskiedenis reeds die behoefte laat ontstaan om verskynsels en hulle ruimtelike ligging te vereenvoudig en op 'n begryplike manier **voor te stel**. Kaarte (in gedrukte of getekende vorm) word ook reeds lankal gebruik om ruimtelike **inligting oor te dra**. Jones (1997:4) noem verder dat die **berging** van ruimtelike data 'n derde belangrike funksie van konvensionele kaarte is.

Unwin (1981:6) lys vier voordele wat kaarte bo ander voorstellingsmetodes inhou. Die belangrikste hiervan is seker die sinoptiese voorstelling van inligting en die uitbeeld van ruimtelike struktuur. Laastens het die feit dat kaarte vereenvoudigde "modelle" van die werklikheid is ook 'n belangrike kommunikasievoordeel.

Kaarte (konvensioneel of elektronies) het egter enkele tekortkominge:-

- Kaarte is staties en kan nie 'n tydsdimensie inkorporeer nie.
- Kaarte stel net die resultaat van prosesse voor (ruimtelike struktuur) en dit is baie keer moeilik om die proses van die struktuur af te lei.
- Die opstellers van kaarte is subjektief en dus kan foutiewe / onvolledige inligting interpretasie negatief beïnvloed (Unwin 1981:6).
- Die tyd en koste verbonde aan die konvensionele kartering van objekte en die analise van verskynsels met analoë metodes kan as vierde tekortkoming bygevoeg word.

In 'n GIS word die gedrukte kaart vervang deur 'n rekenaar, 'n databasis en die programmatuur om die inligting aan 'n gebruiker beskikbaar te stel. 'n GIS skakel nie die tekortkominge van kaarte uit nie máár kan wel deur 'n effektiewe en goed ontwerpte databasisstruktuur sekere beperkende faktore van konvensionele kartografie

verminder. `n Groot verbetering teenoor konvensionele kaarte is die gemak waarmee totaal verskillende tipes inligting geïntegreer en op verskeie maniere voorgestel kan word (DeMers 2000:9). Groot hoeveelhede ruimtelike en attribuutdata kan geberg en maklik opgedateer word. Hierdie “rou” data is nie subjektief veralgemeen nie en kan gevolglik vir meer as een toepassing gebruik word. Jones (1997:5) stel GIS as `n boom voor met inligtingstegnologie en modelleringsbeginsels as die “wortels” en toepassings as die “takke”. Opnamemetodes dien as “water”. Die analogie kan verder geneem word deur data as “voedingstowwe” en die produk (kaarte en diagramme) as “vrugte” te sien (voëls is die eindgebruiker wat redelik spesifiek kan wees oor die aard van die vrugte).

Die eindproduk van hierdie studie sal oorwegend geomorfologiese kaarte wees. Soos alle ander kaarte is `n geomorfologiese kaart die resultaat van `n langdurige analitiese proses waardeur die opsteller grafies aantoon hoe verskynsels, prosesse en verwantskappe in ruimte versprei is (Gellert, 1972:15). Talle (feitlik alle) geomorfologiese studies waartydens die verspreiding van verskynsels en/of prosesse met behulp van kaarte voorgestel word, is reeds gedoen en die analoë produk is nie onbekend nie. In hierdie studie word egter van elektroniese tegnieke gebruik gemaak in die voorbereiding van geomorfologiese kaarte.

## 4.5 Stelselontwerp

### 4.5.1 Sagteware

`n Kommersiële GIS-programpakket is meesal ontwerp om in soveel moontlik behoeftes van potensiële verbruikers te voorsien. Die program is nie noodwendig gestruktureer om aan `n spesifieke behoefte te voldoen nie (Burrough 1992:399) en die gebruiker word dikwels gedwing om by minder optimale strukture (soos byvoorbeeld databasis en modellering) aan te pas. DeMers (2000:433) maak die stelling dat daar dikwels `n wanpassing tussen die vermoë van die sagteware en die gebruiker se behoeftes bestaan. Bernhardsen (1999:287) noem ook dat die fokus in GIS-projekte dikwels tegnologie van aard is en dat die organisasie van GIS-komponente soos data, harde- en sagteware, kennis en struktuur agterweë gelaat word. Hierdie wanpassing en gebrek aan organisasie kan lei tot mislukte projekte en verlies aan geld en tyd. Dit is dus van belang dat `n GIS-projek so beplan en bestuur word ten einde aan die vereistes van die gebruiker te voldoen en ook om die moontlike beperkings van harde- en sagteware sowel as data te oorkom. Verder plaas `n gebrek aan diepgaande kwantitatiewe vaardighede van geografe aan die een kant, en `n oorvereenvoudigde

siening van die sisteme waarop sagteware toegepas moet word deur stelselontwikkelaars aan die ander kant, 'n struikelblok in die weg van effektiewe analises met behulp van GIS (Longley & Batty, 1996:8).

ArcView GIS<sup>®</sup>, die programmatuur wat vir hierdie studie gebruik is, maak byvoorbeeld nie voorsiening vir ruimtelike, netwerk- of driedimensionele analises nie en was dus nie "van die rak af" 100% geskik vir implementering in geomorfologiese navorsing nie. Deur uitbreidings vir die primêre programmpakket te ontwikkel, het ESRI in 'n mate daarin geslaag om hierdie probleem uit te skakel. Daar moes egter nog steeds gedurende die studie van bykomende roetines gebruik gemaak word om spesifieke aspekte van analise en verwerking uit te voer.

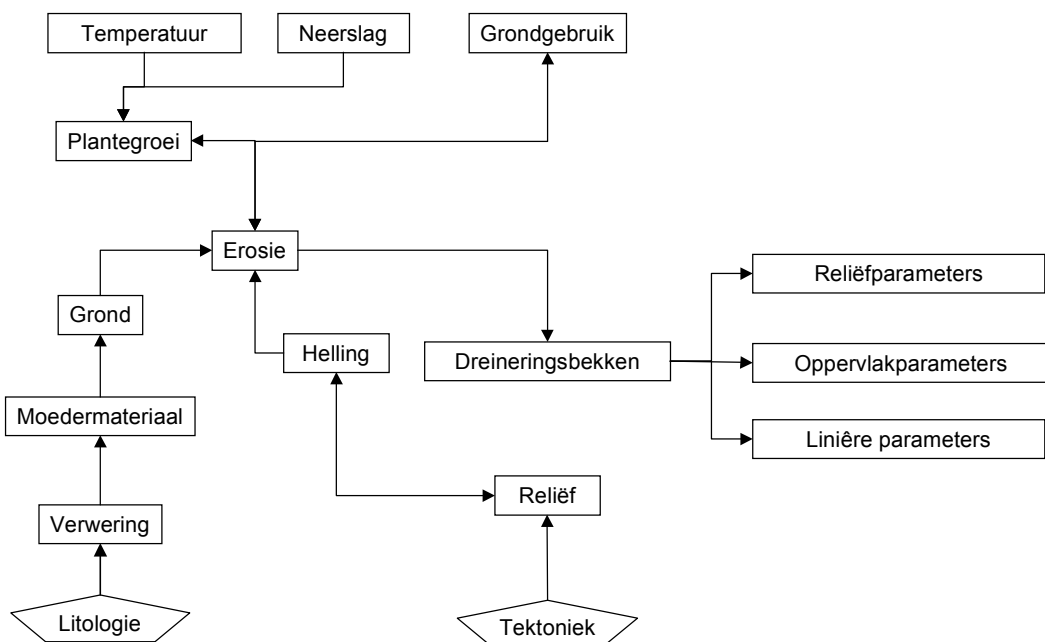
#### 4.5.2 Datastrukture en ruimtelike datamodelle

Enige persepsie van die werklikheid behels 'n onwillekeurige vereenvoudiging van verskynsels (Abler *et al.*, 1971:13 en Burrough & McDonnell, 1998:17). Vereenvoudiging is 'n kognitiewe proses wat beïnvloed word deur die waarnemer se lewensbeskouing of die doel van die waarneming. In die versameling van data vir insluiting in 'n GIS is hierdie aspek van belang en kan van verskeie datamodelle en/of datastrukture gebruik gemaak word om die werklikheid voor te stel. Aronoff (1989:36) noem dat die organisasie van data die tweede belangrike aspek in die suksesvolle uitvoering van 'n GIS-projek is, naas die aard van die data self. Hier is die databasisbestuursisteam (DBBS) van uiterste belang, so ook die datastruktuur wat gebruik word. Die mees effektiewe datamodel wat gebruik word in 'n projek is die een wat die meeste met die minste kan doen.

Om die werklikheid as 'n model voor te stel verwys Kemp (1993:20) na vyf elemente in modellering: die werklike stelsel, 'n eksperimentele raamwerk, die basismodel, 'n saamgestelde model en die rekenaar. Burrough en McDonnell (1998:18) lys sewe vlakke in die omskakeling van die werklikheid na digitale datastelle wat gebruik kan word vir modelkonstruksie: 'n konseptuele model, analoë model, ruimtelike datamodel, die "rekenaar" van Kemp word verdeel in 'n databasis-, datamanipulasie- en datahanteringsmodel en 'n verdere aspek, grafiese voorstelling, word bygevoeg. In die volgende gedeelte word hierdie vlakke en die mate waarin die sagteware (ArcView) dit beïnvloed, bespreek.

#### 4.5.2.1 Konseptuele vlak

Op die konseptuele vlak moet die vraag "wat is teenwoordig?" beantwoord word. Hoewel baie definisies beskikbaar is vir verskeie geografiese verskynsels kan daar egter ook verwarring wees. So byvoorbeeld het "pediment" geen algemeen aanvaarde verklaring nie. Die wyse waarop geografiese inligting voorgestel word, beide konseptueel en fisies as gebergde data, is krities in ruimtelike analise en modellering (Peuquet 1988:375). Die Modderrivieropvanggebied word in figuur 4.3 as 'n konseptuele model voorgestel. Die bekende "geometriese" manier en selfs die "perseptuele" benadering is, volgens Peuquet (p376), nie in staat om aan die vereistes van geïntegreerde, globale databasisse te voldoen nie en sy stel 'n objek- en ligginggebaseerde, konseptuele metode voor (p383). Die basis van hierdie metode is die "afbreek" van verskynsels in hulle eenvoudigste komponente naamlik entiteite, eienskappe en verwantskappe. Die komponente word dan op 'n volgende vlak saamgevoeg om 'n objek te vorm waarvan die eienskappe geërf word van 'n hoër vlak. Vir die studie kan hierdie vlak gesien word as die besluit om van dreineringsbekkens gebruik te maak as 'n basiese verskynsel in die landskap. 'n Ware objekgeoriënteerde metode kan egter nie met ArcView gebruik word nie.



Figuur 4.3 'n Konseptuele model van die Modderrivieropvanggebied

#### 4.5.2.2 Analoë vlak

Die volgende vlak van omskakeling is weer eens 'n menslike persepsie wat lei tot 'n analoë abstraksie van die werklikheid. Op hierdie vlak word die eienskappe (attribute) van 'n entiteit gedefinieer en beskryf. Volgens Burrough en McDonnell (1998:20) behels die proses gewoonlik die omskakeling van entiteite na punte, lyne en oppervlakke (dataprimitiese).

#### 4.5.2.3 Ruimtelike datamodel

Die formalisering van die analoë abstraksie behels die daarstelling van 'n ruimtelike datamodel sonder dat daar enige beperkings op moontlike toepassings van die data geplaas word (Burrough & McDonnell, 1998:37). Dataprimitiese kan op twee verskillende wyses hanteer word: raster en vektor.

#### 4.5.2.4 Die databasis

Die vierde stap in die omskakelingsproses is volgens Burrough en McDonnell (1998:18) die daarstel van 'n databasis. Die databasis kan gesien word as die hart van 'n GIS. Dit is dan uiters noodsaaklik dat hierdie komponent van die GIS uiters akkuraat en effektief opgestel word. Twee komponente is hier belangrik: die verwerking of analise van data en die onttrekking van inligting.

##### 4.5.2.4.1 Datatipes

Tydens die daarstel van 'n databasis moet die wyse waarop 'n rekenaar inligting hanteer en wat met die inligting gedoen moet word, in gedagte gehou word. Tabel 4.2 toon die verskillende datatipes en die operasies wat op elke tipe deur 'n rekenaar uitgevoer kan word.

Tabel 4.2 Datatipes

Datatype	Toegelate waarde	Operasie
Boolees	0 of 1 (waar of vals)	Logies
Nominaal	Klasse (stringe)	Klassifikasie / identifikasie
Ordinaal	0 tot $\infty$	Rangskikking
Heelgetalle	$-\infty$ tot $\infty$	Numeries
Reële getalle	Getalle met desimale van $-\infty$ tot $\infty$	Numeries
Topologies	Heelgetalle	Aandui van verwantskap

Aangepas uit Burrough & McDonnell, 1998

Die werklike waardes wat deur 'n rekenaar gebruik kan word, die akkuraatheid van berekeninge en die geheuespasie wat vir die datatype vereis word, word in tabel 4.5 getoon.

Tabel 4.3 Geheuespasie en beduidende akkuraatheid van datatipes

Tipe	Bereik	Beduidende akkuraatheid	Geheuespasie
Karakter	0 tot 255		8 bisse (1 greep)
Heelgetalle	-2 147 483 648 tot 2 147 483 647		32 bisse (4 grepe)
Reële getalle			
"float"	$1,17 \times 10^{-38}$ tot $3,4 \times 10^{38}$	6	64 bisse (8 grepe)
"double"	$2,22 \times 10^{-308}$ tot $1,79 \times 10^{308}$	15	64 bisse (8 grepe)
"long double"	$3,36 \times 10^{-4932}$ tot $1,18 \times 10^{4932}$	18	64 bisse (8 grepe)
Geen data (No Data)	$<1 \times 10^{-38}$		

Aangepas uit Blignault & Messerschmidt, 1999 en ESRI, 1998

Uit die tabelle is dit duidelik dat 'n hoë mate van akkuraatheid verkry kan word maar met 'n verhoging in die bergkapasiteit en berekeningslas van 'n rekenaar. Dit volg ook dat programmatuur nie noodwendig enige getal kan hanteer nie. ArcView sal byvoorbeeld 'n dubbel reële getal as "geen data" beskou al is die waarde daarvan binne die limiete vir 'n rekenaar.

#### 4.5.2.4.2 Databasisstrukture en databasisbestuurstelsels

'n Volgende belangrike aspek van databasisse is die wyse waarop die inligting in die databasis gerangskik, hanteer en onttrek word. Data word in die vorm van 'n datalêer met rekords (rye met verwante eienskappe van 'n voorwerp) en velde (kolomme met 'n spesifieke tipe data of soortgelyke kenmerke van alle voorwerpe) ingevoer en geberg.

Velde kan as sleutels gebruik word om rekords in 'n datalêer te soek. Verskeie datalêers word in 'n databasis gekombineer deur van 'n databasisstruktuur gebruik te maak. Die wyse waarop die databasisse met mekaar geskakel word, word deur die databasisbestuurstelsel (DBBS) bepaal. Verskeie DBBS-modelle is beskikbaar:-

- 'n Hiërargiese databasisstruktuur is gebaseer op 'n direkte "taksonomiese" verwantskap (een-tot-baie) tussen datakomponente (DeMers, 2000:92).
- 'n Netwerkstruktuur (baie-tot-baie).
- 'n Objekgeoriënteerde struktuur.
- 'n Relasionele struktuur.

ArcView ondersteun dBase III en dBase IV formaat databasisse (\*.dbf) terwyl komma-afgebakende teks (\*.txt) lêers ingevoer kan word (ESRI, 1996a). dBase gebruik 'n relasionele databasisstruktuur (Chou, 1989:9).

#### 4.5.2.5 Lêerstruktuur

ArcView gebruik drie basiese lêertipes vir vektordata (figuur 4.3):-

- 'n Hoof- of vormlêer, (\*.shp) waarin ruimtelike komponente in die vorm van punt-, lyn- of oppervlakverskynsels (features) geberg word. DeMers (2000:114) beskryf 'n vormlêer as 'n nie-topologiese datastruktuur waarin die geometriese en attribuutinligting vir 'n verskynsel in een datastel geberg word.
- 'n Indeksêlêer, (\*.shx) wat die verbinding tussen die databasis en die vormlêer verskaf.
- 'n Databasislêer, (\*.dbf) waarin die attribuutdata geberg word (ESRI, 1998).
- ArcView verdeel die gebied waarin die geografiese data voorkom in reghoekige blokke ("*bins*") ten einde ruimtelike navrae te bespoeding. 'n Ruimtelike blok ("*Spatial bin*") (\*.sbn) lêer kan geskep word.
- 'n Ruimtelike blokindeks (\*.sbx). 'n Indeksêlêer vir die data in die sbn-lêer (Ormsby & Alvi, 1999:507). Laasgenoemde twee lêertipes is nie in alle datastelle teenwoordig nie.

Vir rastertemas is die lêerstruktuur meer ingewikkeld (figuur 4.3). Die formaat is gebaseer op 'n hiërargiese teël-blokstruktuur. Rasterinligting word deur ArcView in 'n

werksruimte (workspace) geberg. Die werksruimte bestaan uit `n lêergids (directory or folder) met `n "info" subgids met lêers oor die rasterematabel en ook `n subgids vir elke rasterema. Elke rasterdatastel bestaan uit:-

- Die hoof- (header) lêer (hdr.adf) met inligting oor die resolusie van die selle, tipe sel (heel- of reële getalle), die saampersing (compression) en teël- (tile) inligting.
- Die grenslêer (dblbnd.adf) waarin die minimum en maksimum x en y koördinate vir die rasterema geberg word.
- `n Datalêer (w00100\*.adf) waarin die data in binêre ry- en kolomteëllêers geberg word. `n Ruitnet kan uit soveel as 999 X 999 teëls bestaan, elk met tot 4 000 000 X 4 000 000 selle. Teël bestaan uit op sy beurt uit reghoekige blokke wat soektogte in rye vergemaklik.
- `n Indeksleer (w00100\*x.adf).
- Die lêer waarin die statistiese eienskappe van die selle geberg word (sta.adf).
- Die lêer met die projeksiebesonderhede van die ruitnet (prj.adf).
- Die ASCII lêer met die geskiedenis van die ruit (log).
- Die info sub-gids bestaan uit `n gidslêer (arc.dir), verskeie attribuutlêers (arc\*.dat) en ooreenstemmende tabeldefinisielêers (arc\*.nit) (ESRI, 2000).

#### 4.5.2.6 Datahantering

Een van die eienskappe van `n GIS is die vermoë van die stelsel om data te manipuleer. Burrough en McDonnell (1998:28) onderskei dertien aksiomas en prosedures vir die hantering van data:-

- Dit is noodsaaklik om die een of ander entiteit waaraan data (attribuut) gekoppel is, te identifiseer. In GIS word van data primitiewe of komplekse samestellings daarvan gebruik gemaak.
- Alle fundamentele entiteite word gedefinieer in terme van hulle geografiese ligging, attribute en topologie.
- Entiteite is onderskeibaar van ander deur hulle ligging, attribute of verwantskap.
- Entiteite en attribute kan in sinvolle kategorieë geklassifiseer word.
- Boolese algebra kan gebruik word om logiese operasies op die entiteit, sy attribute, verwantskappe en kategorie uit te voer.

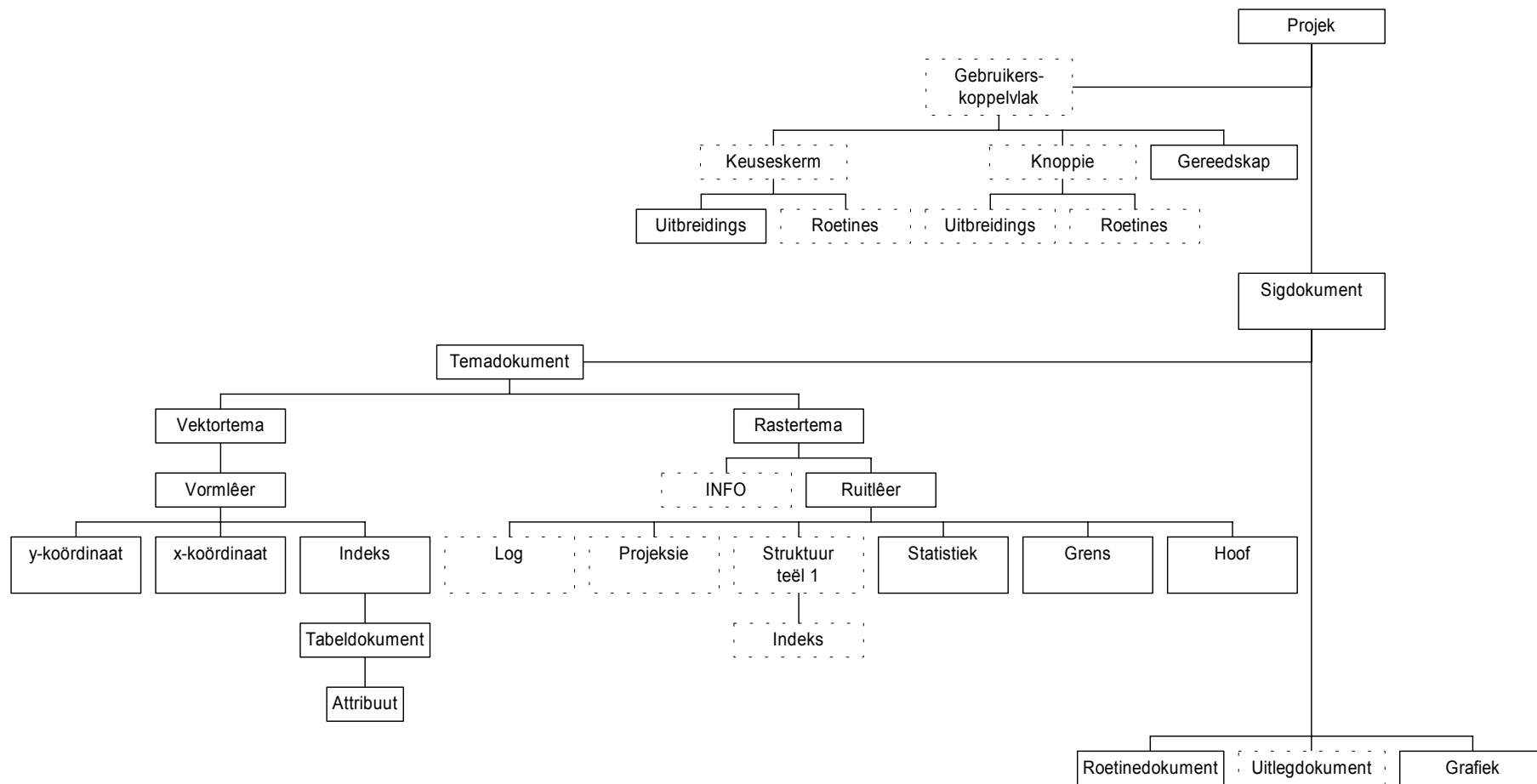
- Boolese algebra word uitgebrei om afstand, rigting, topologie, naasligging (adjacency), nabyheid (proximity), opeenligging (superposition), groeplidmaatskap (group membership) en eienaarskap (ownership) van ander entiteite te bepaal.
- Nuwe entiteite kan geskep word deur die geometriese vereniging of interseksie van bestaande entiteite (ruimtelike analise).
- Nuwe, komplekse entiteite kan geskep word van basiese (primitiewe) entiteite.
- Nuwe entiteite kan afgelei word van bestaande attribute deur logiese en/of wiskundige prosedures en modelle. Alle wiskundige operasies kan gebruik word mits die datatipe dit toelaat. Nuwe attribute kan ook van bestaande topologie afgelei word.
- Entiteite met bepaalde stelle attribute kan in verskillende datastelle geberg word (datavlakke, oorlegsels of temas).
- Data met dieselfde XYZt-koördinaat kan met alle datatemas verbind word (die beginsel van gemeenskaplike ligging).
- Data wat aan `n enkele XYZt-koördinaat gekoppel is verwys na slegs die spesifieke entiteit of na `n entiteit wat op die spesifieke koördinaat geleë is.
- Nuwe attribuutwaardes vir `n XYZt-koördinaat kan afgelei word van `n funksie uit die koördinaat se omgewing.

#### 4.5.2.7 Grafika

Vir die grafiese voorstelling van inligting word gebruik gemaak van aanvaarde reëls en prosedures vir die voorstelling van ruimtelike data aan gebruikers.

#### 4.5.3 ArcView se programstruktuur

ArcView se programstruktuur word in figuur 4.4 voorgestel. Alle inligting vir `n projek en verwysings na die data word in die projekdokument geberg. Die gebruikerskoppelvlak (GUI) gee toegang (via keuseskerms (menus), knoppies (buttons) en gereedskap (tools)) na sigdokumente (views), temas (themes), tabelle, roetinedokumente (scripts), uitlegdokumente (lay-outs) en grafieke.



Aangepas uit ESRI, 1996c, 2000

Figuur 4.4 ArcView se data- en programstruktuur

## 4.6 Digitale terreinmodelle en interpolasie

’n Kritiese stap in die onttrekking van geomorfologiese parameters vir die studie, is die konstruksie van ’n digitale terreinmodel (DTM). Verskeie metodes om die aardoppervlak voor te stel, is reeds ontwikkel. In hierdie studie word spesifiek gekyk na volledige, kontinue voorstellingsmetodes en wel in digitale vorm sodat die onttrekking en analisering van data met behulp van ’n GIS gedoen kan word. In hierdie gedeelte word gekyk na die konstruksie van digitale terreinmodelle vir toepassing en aanwending in geomorfologiese studies.

### 4.6.1 Digitale terreinmodelle

Desmet (1997:5) onderskei tussen digitale hoogtemodelle (DHM – Digital Elevation Model), wat *enige* verskynsel met ’n unieke z-waarde as ’n oppervlak voorstel en digitale terreinmodelle wat grondhoogte bo ’n datum voorstel. Burrough en McDonnell (1998:300) definieer albei terme as ’n kwantitatiewe model van ’n gedeelte van die aardoppervlak in digitale vorm. Maidment (2001) beskou ’n DHM as ’n raster gebaseerde en ’n DTM as ’n vektorgebaseerde voorstelling van die aardoppervlak. ’n Digitale terreinmodel word vir die doel van die studie gedefinieer as ’n rastervoorstelling van ’n landoppervlak in drie dimensies [2,5D volgens Weibel & Heller (1991:269)], met x- en y-koördinate wat ligging bepaal en die z-koördinaat as die hoogte van die grondoppervlak bo gemiddelde seevlak.

Die gebruik van ’n DTM behels oor die algemeen die volgende take (Weibel & Heller, 1991:270):-

- Konstruksie — versameling van data en modelkonstruksie;
- Manipulasie — verandering en verfyning;
- Interpretasie — onttrekking van inligting;
- Visualisasie — grafiese voorstelling; en
- Toepassing — ontwikkeling van toepassings (modelle) vir spesifieke dissiplines.

Garbrecht en Martz (1999) noem drie voordele van ’n DTM bo die tradisionele metodes van topografiese onttrekking van fisiografiese inligting: die digitale metode is vinniger, minder subjektief en meer herhaalbaar. Die inligting is ook gereedlik aanpasbaar en analiseerbaar met ’n GIS.

Analoë modelle om landvorme op die aardoppervlak voor te stel, word deur Jones (1997:199) in 'n eenvoudige klassifikasiesistelsel uiteengesit (figuur 4.5). Twee groepe voorstellings word aangetref; volledige voorstellings kan of aangrensende sones met 'n spesifieke waarde wees of wiskundige funksies wat op enige posisie in die oppervlak geëvalueer kan word. Onvolledige voorstellings is diskrete monsters wat met tussenposes op die oppervlak geneem is en word gewoonlik voorgestel as punte of lyne.

#### 4.6.2 Databronne vir digitale terreinmodelle

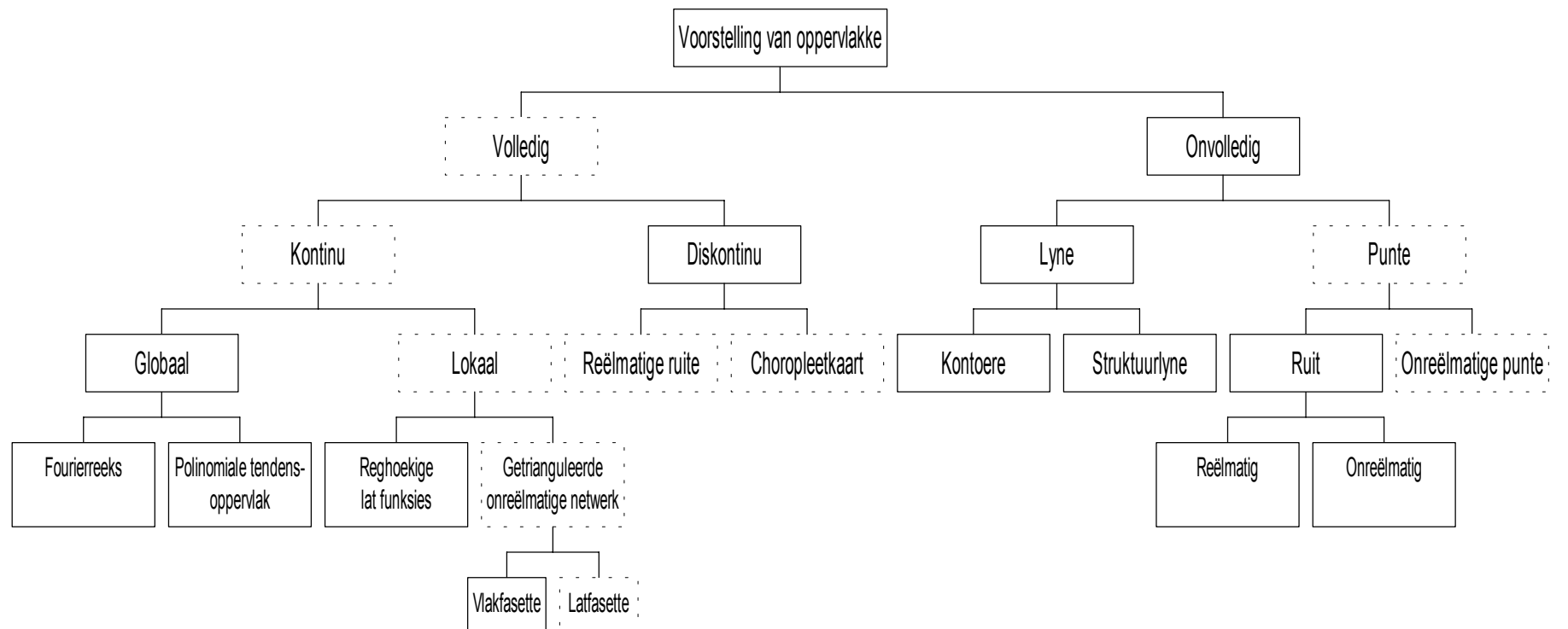
Die keuse van databronne is krities vir die kwaliteit van 'n DTM (Weibel & Heller, 1991:270). Die versameling van hoogtedata en bykomende inligting oor verskynsels wat die vorm van die terreinoppervlak beïnvloed, is die eerste stap in die DTM-konstruksieproses. In hierdie gedeelte word moontlike databronne vir die konstruksie van die DTM vir die Modderrivieropvanggebied geëvalueer.

DTM'e vir Suid-Afrika wat deur die Hoofdirekteur: Opmeting en Kartering ontwikkel is, het 'n resolusie van 50, 200 en 400m met 'n vertikale akkuraatheid van 10m vir die twee groter ruite en 2,5m vir die 50m ruite. Die DTM'e is met fotogrammetriese metodes gekonstrueer. Slegs die 400m DTM is landswyd beskikbaar – die kleiner (50 en 200m) ruite is net vir metropolitaanse gebiede ontwikkel (RSA, 2000).

Oorsese bronne van digitale data wat oorweeg is, is onder meer:

- Die USGS (2001) se GTOPO30 projek verskaf 'n DTM (Vlak 0) met 'n 30 boog sekonde (arc second) resolusie (of  $\pm 1$ km).
- Die Digitale Kaart van die Wêreld (Digital Chart of the World of DCW) van ESRI [S.a.] op 'n 1:1 000 000 skaal kan gebruik word vir DTM-konstruksie.

Die resolusie van die bestaande DTM'e is te grof vir die doel van die studie en daarom is daar na die konstruksie van 'n DTM vanaf alternatiewe databronne gekyk.



Aangepas uit Jones 1997:199

Figuur 4.5 Voorstelling van die aardoppervlak

#### 4.6.2.1 Opnamemetodes

Verskeie metodes vir die versameling van data vir digitale terreinmodelkonstruksie is beskikbaar. Tameometriese opmeting lewer die mees akkurate data maar weens die tydsfaktor verbonde aan die proses is die aanwending beperk tot klein oppervlakktes (Weibel & Heller, 1991:271). Fotogrammetriese metodes is klaarblyklik die beste om geskikte data vir die konstruksie van kleinskaalse DTM'e te versamel (Desmet, 1997:8). Verder word versyferde kontoere dikwels gebruik as bron vir digitale terreindata (Hutchinson & Gallant, 1991:106). Weibel en Brändli (1995: 14) wys op enkele probleme wat aan hierdie metode gekoppel is maar merk tog op (p28) dat daar met die nodige omsigtigheid suksesvolle analises met behulp van versyferde kontoerdata gemaak kan word. Die globale liggingstelsel (Global Positioning System) van die Amerikaanse departement van verdediging en verskeie ander afstandwaarnemingstelsels sou ook gebruik kon word (Hutchinson & Gallant, 1991).

Tabel 4.4 gee 'n algemene raamwerk van opnamemetodes vir 'n DTM en toon ook databronne, die betroubaarheid en toepassing op verskillende skale aan.

Tabel 4.4 Opnamemetodes vir gebruik in digitale terreinmodelle

Opnamemetode	Skaal	Betroubaarheid	Toepassing
Tameometriese opmeting	Mikro <1:5 000	Hoog	Beplanning
Fotogrammetriese datavangs	Meso <1:10 000	Matig	Beplanning
Versyfering van analoë bronne	Makro >1:50 000	Laag tot matig	Landvorme
Globale Liggingstelsel (GPS)	Meso – Makro	Laag <sup>4</sup>	

Aangepas uit Desmet (1997); Hofmann-Wellenhof *et al.* (1997); Heywood *et al.* (1998) en Twigg (1998).

Om 'n goue middeweg tussen akkuraatheid, koste en tyd te vind, is bogenoemde databronne vir die studie oorweeg en is daar besluit om van versyferde 1:50 000 topografiese kaarte gebruik te maak. Dit het die skrywer onder meer in staat gestel om verskeie faktore wat die akkuraatheid en funksie van die finale DTM beïnvloed, te beheer. Verder kan die 1:50 000 topografiese kaartreeks as die standaard vir terreininligting in Suid-Afrika beskou word. Die gebruik van die kaarte maak sodoende die DTM vergelykbaar met ander studies waar brondata van dieselfde skaal gebruik is (vergelyk byvoorbeeld De Villiers, 1981 en Barker, 1985).

---

<sup>4</sup> Sedert die verwydering van selektiewe beskikbaarheid (selective availability) op 2 Mei 2000 is liggingsakkuraatheid verbeter maar is hoogtebepaling steeds nie betroubaar nie.

#### 4.6.2.2 Die akkuraatheid van brondata

’n Belangrike oorweging by die versameling van data vir die konstruksie van digitale terreinmodelle is die oorspronklike akkuraatheid van die data. Daar moet in gedagte gehou word dat ’n topografiese kaart reeds ’n benaderde weergawe van die werklikheid is en dat enige model wat daarop gebaseer is, minder akkuraat as die oorspronklike sal wees (Carter, 1988:1578). Die Amerikaanse standaard vir die akkuraatheid van kaarte (USGS, 1997) stel dat 90% van die afgelese hoogtes op ’n kontoerkaart akkuraat moet wees tot op die helfte van die kontoerinterval en die res (10%) tot 1 maal die interval terwyl die horisontale afwyking nie meer as 0,5mm op die kaart mag wees nie. Die Departement Grondsake, uitgewers van die amptelike Suid-Afrikaanse kaartreeks, gebruik dieselfde standaard (Clark, 1999: pers. med.). In die geval van die 1:50 000 topografiese kaart wat vir die studie gebruik is, is die akkuraatheid dus 10m vertikaal en 25m horisontaal.

Li (1992:113) noem ses faktore wat die akkuraatheid van ’n digitale terreinmodel beïnvloed:-

- digtheid van die opnamepunte;
- verspreiding van die opnamepunte;
- noukeurigheid van die opname;
- die metode van interpolasie;
- die eienskappe van die digitale terreinmodel; en
- die eienskappe van die gemodelleerde terrein.

Van Rompaey (1996:94) stel dat die kartograaf vyf van hierdie faktore kan beheer mits hy self die opname doen (1, 2 en 3). Tydens die modelleringsproses kan die vierde en vyfde bepaal word terwyl die sesde die onafhanklike (bepalende) faktor is. Hy sê ook (p55) dat topografie die kontrolerende aspek in morfologiese modellering is en dat ’n digitale terreinmodel die reliëf van ’n gebied so akkuraat as moontlik behoort weer te gee. Carrara *et al.* (1997:453) noem verder dat, waar dit kontoere as databron aangaan, die kwaliteit en skaal van fotografie, die fotogrammetriese apparaat wat gebruik word en die vaardigheid van die interpreteerder ook ’n belangrike rol speel in die akkuraatheid van die data. Die betroubaarheid van alle kwantitatiewe analyses wat op ’n digitale terreinmodel gegrond is, hang dus af van die akkuraatheid van die insetdata vir die model en die modelleringsproses (sien ook Weibel & Brändli, 1995:13).

#### 4.6.3 Konstruksiemetodes vir digitale terreinmodelle

Verskeie metodes vir die konstruksie van digitale terreinmodelle kom in die literatuur voor. Hoewel die basis van al die metodes een of ander interpolasietegniek is, is die wyse waarop die brondata hanteer word en die aard van die digitale terreinmodel belangrik in die keuse van 'n metode. Beide raster- en vektorgebaseerde metodes word gebruik, maar reëlmatige ruitnette en Delauney-driehoek is die meer algemene vorms van digitale terreinmodelle (Carrara *et al.*, 1997:452). Die gebruik van reëlmatige ruite om oppervlakke voor te stel, is 'n metode wat in die vyftigerjare van die vorige eeu saam met rekenaartegnologie ontwikkel is (McCullagh, 1998:99) en daar bestaan vele metodes om 'n raster DTM van planimetriese data te konstrueer. Delaunay-triangulasie, 'n proses wat reeds vroeg in die 20<sup>e</sup> eeu ontwikkel is, is deur onder andere McCullagh en Ross (1980) aangepas vir geoutomatiseerde kartering. In die proses word gebruik gemaak van die verwantskap tussen naburige punte in 'n uitgebreide oppervlak van driehoekige fasette. Elke faset het 'n konstante helling en aspek omrede die faset as 'n entiteit in driedimensionele ruimte voorgestel word (Chrisman, 1997:164). Die oppervlak word dan voorgestel deur 'n netwerk oneweredige driehoek, 'n getrianguleerde oneweredige netwerk (Triangulated Irregular Network – TIN). Hutchinson en Gallant (1999: 111) verwys na 'n derde tipe, naamlik plaaslik aanpasbare ruite (locally adaptive gridding) waardeur terreinelemente geskep word deur 'n kombinasie van kontoer- en stroomlyne. Eersgenoemde twee metodes word in hierdie studie gebruik.

Een van die eerste metodes vir die omskakeling van kontoerkaarte na DTM's is dié van Leberl en Olson (1982). Die proses behels die volgende stappe: voorbereiding van analoë bronne (kontoerkaarte), rasterskandering en vektorisering van kontoere en waterskeidings, geokodering en redigering, geometriese transformasie en interpolasie, interselverwerking (aksonometrie en kontoere), kwaliteitsbeheer en finale produksie.

Volgens Moore, *et al.* (1988:306) is ruit- of matriksgebaseerde modelle te vereenvoudig om die vloei van water in 'n driedimensionele werklikheid voor te stel. Die rede is dat eenrigtingvloei deur 'n ruitsistiem 'n swak passing van vloeilyne veroorsaak. Hulle stel voor dat die landskap verdeel moet word in poligone gevorm deur ekwipotensiaal- en loodlyne (ortogonale lyne). Hierdie lyne kan benader word deur van kontoere en hulle ortogonale lyne (vloeilyne) gebruik te maak. Vir elke kontoersegment word die vloeilyne getrek na 'n hoogtepunt op die waterskeiding (p307).

Dietrich *et al.* (1993:265) beweer dat die geïnterpoleerde hoogtepunte vanaf die USGS se digitale terreinmodelle (30m uitmekaar) te grof is om valleie met 'n "golflengte" van minder as 1 000m duidelik aan te toon. Vermoedelik is die data in die vorm van versyferde profiele wat 150m uitmekaar is met hoogtepunte elke 25m. Hulle gebruik inligting van lugfoto's en gebruik 'n hoogtepuntdigtheid van 10m x 10m. Datapunte word geselekteer om veranderinge in die terrein aan te toon in plaas van 'n eweredige netwerk. Kontoere word getrek nadat vals putte (sinks) verwyder is en dan word lyne ongeveer loodreg op die kontoere (minimumafstande tussen kontoere) vanaf die laagste punte na die kruine getrek. Hierdie lyne stel die benaderde vloeielyne vir oppervlak- en grondwater voor. Twee aangrensende vloeielyne en twee aangrensende kontoere vorm 'n oppervlakelement met 'n kenmerkende vorm. 'n Kontoerinterval van 5m en 'n afstand van 20m tussen die vloeielyne word gebruik. Die elemente word in drie klasse verdeel: divergent, konvergent en gelyksydig (planar) ten opsigte van die verband tussen die lengte van die boonste en onderste kontoer  $(b_2 - b_1)/(b_2 + b_1)$  waar  $b_1$  die boonste kontoersegment en  $b_2$  die onderste kontoersegment is. Waardes wissel van  $<-0,10$  vir konvergent,  $>0,10$  vir divergent en tussen hierdie waardes vir gelyksydige elemente.

Die omskakeling vanaf hoogtelyne na 'n TIN of na 'n digitale terreinmodel via 'n TIN veroorsaak probleme omdat die berekende driehoeke meesal op dieselfde hoogtelyn geleë is. Hierdie verskynsel veroorsaak vervlakking van veral valleie, nekke en rûe. Dit kan oorkom word deur ander hoogtepunte saam met die kontoere te versyfer. Weibel en Brändli (1995:13) gebruik daarom 'n TIN waarvan die driehoeke gekorrigeer is. Die bepaling van dreineringslyne en rûe word gedoen deur die maksimumkromming in kontoere te identifiseer (Hutchinson, 1989) Daar kan ook hoogtepunte in kritieke gebiede toegevoeg word deur visuele beskouing van die kaart. Daarna word die TIN na 'n rasterformaat geïnterpoleer. Desmet en Govers (1995:391) het 'n liniêre interpolasiemethode gebruik om versyferde kontoere na raster om te skakel. Daarna is 'n gemiddelde filter gebruik om die hoekigheid wat deur liniêre interpolasie veroorsaak word, te versag. Hierdie metode het, volgens hulle, 'n goeie weergawe van die werklikheid gegee.

McCullagh (1998:98) noem enkele ongewenste eienskappe verbonde aan die gebruik van versyferde kontoere vir terreinmodellering:-

- `n diskrete stel hoogtewaardes;
- te min oppervlakdifferensiasie in gebiede met lae hellings;
- die uitermate groot hoeveelheid data op die versyferde lyn, maar niks tussenin lei tot swak ruimtelike verspreiding van data in die gebied;
- geen hoogtes op dreineringslyne; en dat
- kontoere reeds `n veralgemening vanaf die oorspronklike dokument (kaart) en dus nie `n getroue weergawe van die werklike oppervlak is nie.

Hy sê verder ook dat lyne verminder (uitgedun) kan word om die hoeveelheid data te beperk en `n beter ruimtelike verspreiding te verkry. Dit is egter moeilik om data in die vorm van versyferde hoogtepunte in gebiede met lae gradiënte by te voeg.

Roessner (1999) konstrueer `n TIN met behulp van versyferde kontoere, punthoogtes en kruine vanaf 1:50 000 kaarte en gebruik verder GPS-metings as “kontrolepunte” en gebruik liniêre interpolasie vir die omskakeling na `n ruitnet. Deur `n herhalende proses bereik sy `n akkuraatheid tot 0,5 maal die werklike hoogte met `n 30X30m ruitgrootte (vgl. die USGS se standaard). Sy stel verder voor dat “breeklyne” gebruik moet word om die vervlakking in reliëf (relief-levelling) as gevolg van die gebruik van kontoere in DTM-konstruksie te minimaliseer.

Uit bogenoemde oorsig is dit duidelik dat geen volmaakte metode vir die konstruksie van DTM'e nog ontwikkel is nie. Prosedures word ontwikkel na gelang van die behoeftes van die navorsing en dikwels is programme spesifiek geskryf om die taak uit te voer. In hierdie studie is die oppervlakte wat voorgestel moet word groter as in die voorbeelde hierbo genoem en is `n beduidende hoeveelheid data gegenereer. `n Belangrike oorweging in die keuse van `n metode was dan ook die hardeware wat vir die navorsing gebruik is. Verder is die beskikbare metodes in die sagteware wat gebruik word (ArcView), beperk. Binne die beperkings is besluit om Weibel en Brändli en Roessner se voorstelle te kombineer in die metode wat in die studie gevolg gaan word.

#### 4.6.4 Interpolasie

Soos in ander wetenskappe word in geomorfologie dikwels van steekproewe gebruik gemaak in die versameling van data. Die beginsel geld dat indien data vir een spesifieke punt versamel word, die waardes vir punte in die onmiddellike omgewing voorspel kan word, mits daar aanvaar word dat die waarde van die veranderlike in die ruimte rondom die monsterpunt soortgelyk sal wees aan dié van die monsterpunt (ruimtelike outokorrelasie). Wiskundige en statistiese tegnieke word gebruik om die waardes van punte te voorspel deur gebruik te maak van die waardes van monsterpunte.

Verskeie van hierdie interpolasiemetodes is beskikbaar om sogenaamde kontinue oppervlakke van die gemete en voorspelde waardes te skep. Volgens Weibel en Heller (1991:275) is daar nie 'n "beste" interpolasietegniek nie en moet 'n metode gekies word sodat strukturele kenmerke in aanmerking geneem en die funksie aangepas kan word by veranderende terreineienskappe. 'n Belangrike kriterium is egter die graad van akkuraatheid wat verlang word en berekeningslas van die tegniek.

Interpolasietegnieke kan in twee groepe, globale en lokale interpolators, verdeel word. 'n Verdere onderskeid tussen metodes word bepaal deur die aard van die voorspelling wat deur die interpolasietegniek gemaak word. Deterministiese metodes is empiries van aard en die waardes van die bekende punte word gebruik om "onbekende" waardes te bereken. Stogastiese tegnieke gebruik datawaardes sowel as die ruimtelike konfigurasie om alternatiewe (maar ook waarskynlike) oppervlakke te bepaal (Carrara *et al.* (1991); Bailey & Gatrell (1995); Jones (1997) en Mitas & Mitasova (1999)).

Vier rastergebaseerde interpolasietegnieke is in ArcView se Spatial Analyst-uitbreiding beskikbaar, naamlik omgekeerdgeweegde afstand, latfunksies, kriging en tendensoppervlakke (ESRI 1996b:92). Eersgenoemde twee tegnieke is deur die gebruikerskoppelvlak toeganklik terwyl twee roetines vir die gebruik van kriging: *GWA Kriging Interpolator (sic)* (Boeringa, 1999) en *Surface Interpolator* (Tilton, 1998) vanaf ESRI se webwerf verkry is. In die volgende gedeelte word op hierdie vier tegnieke gekonsentreer.

##### 4.6.4.1 Globale interpolasiemetodes

Globale metodes gebruik alle beskikbare data om 'n voorspelling te maak vir die hele gebied (Burrough & McDonnell, 1998 :103). Plaaslike veranderings oor 'n kort afstand word beskou as ongestruktureerde geraas (Burrough & McDonnell, 1998:113).

Wanneer die verandering in 'n attribuut kontinuu oor 'n gebied voorkom, mag dit moontlik wees om die verandering deur 'n polinomiale vergelyking, gebaseer op veelvoudige regressie, te modelleer.

Tendensoppervlakke is 'n globale, vereffenende (smoothing) funksie en sny selde deur opnamepunte. ArcView se "Trend" funksie gebruik 'n kleinste kwadraat- (least squares) regressie met 'n polinomiale vergelyking van 'n gespesifiseerde orde vir die interpolasie van oppervlakke (ESRI, 1996b:92).

#### 4.6.4.2 Lokale interpolasiemetodes

Lokale metodes gebruik bekende data in 'n klein gebied rondom die punt waarvan die waarde bepaal moet word om te verseker dat die voorspelling (passing) so akkuraat moontlik is (Burrough & McDonnell, 1998:103). Lokale interpolasietegnieke kan twee maniere gebruik om datapunte vir interpolasie te identifiseer. Daar kan van 'n gespesifiseerde aantal nabygeleë punte (naaste bure) of van 'n gespesifiseerde soekgebied om datapunte gebruik gemaak word. Die proses begin deur of die aantal naaste bure te identifiseer of deur 'n soekgebied om die voorspelde punt te definieer, die datapunte in die gebied te bepaal, 'n wiskundige funksie te kies om die variasie tussen die datapunte voor te stel en laastens word die funksie dan gebruik om 'n waarde vir die betrokke punt te bereken (Burrough & McDonnell, 1998:114).

Wingle (1992) waarsku teen die keuse van naaste bure wat, indien die geskatte punt naby 'n kontoer geleë is, slegs waardes van punte op dieselfde kontoer gebruik. Dieselfde geld ook vir pieke en valleie. Hy stel voor dat 'n kwadrant of oktant soekgebied gebruik moet word ten einde die interpolator te dwing om datapunte vanaf twee kontoere te gebruik. Dixon *et al.* (1998:71) noem dat konsentriese ringe om datapunte gevorm kan word waar 'n gespesifiseerde aantal naaste bure gebruik word.

Drie lokale interpolasiemetodes is in ArcView beskikbaar:-

##### 4.6.4.2.1 Latfunksie

Latfunksies (spline function) is stuksgewyse (piecewise) polinomiale wat beperk word om kontinue afgeleides (derivatives) op die aansluitings (joints) tussen segmente te hê (Davis, 1986:205). Latfunksies plaas 'n minimum gekromde oppervlak deur insetpunte met behulp van 'n wiskundige funksie wat op 'n gespesifiseerde aantal naasliggende punte toegepas word (ESRI, 1996b:92).

Latfunksies is geskik vir geleidelik variërende oppervlakke maar nie vir gebiede waar groot verskille in waarde oor 'n kort afstand voorkom nie (ESRI, 1996b:92).

Latfunksies is ook in staat om digitale terreinmodelle vanaf data met 'n redelike mate van detail te konstrueer (Burrough & McDonnell, 1998:158). Desmet (1997:303) kom tot die gevolgtrekking dat die latmetode in die golwende landskap van die Belgiese Leemstreek die beste resultaat lewer maar waarsku ook soos Govers (1998: pers. med.) dat die metode in 'n bergagtige landskap kan lei tot die verlaging van kruine en gelykmaking van valleie.

ArcView beskik oor twee metodes om 'n latfunksie interpolasie uit te voer: Die reëlmatige (regularized) metode verseker 'n gladde oppervlak terwyl die spanningsmetode (tension) 'n oppervlak skep wat nader aan die eienskappe van die gemodelleerde verskynsel is (ArcView: spline).

#### 4.6.4.2.2 Omgekeerd geweegde afstand

Liniêre interpolasie aanvaar dat die waarde van die onbekende punt 'n afstandgeweegde gemiddelde is van die waardes van bekende punte binne 'n soekgebied om die onbekende waarde. Die algemene vergelyking vir 'n omgekeerd geweegde afstand interpolator is

$$Z_{x_j} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{x_i} \cdot d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}}$$

waar  $x_j$  die punte is waarvoor die waarde vanaf datapunte  $x_i$  afgelei moet word met  $d_{ij}$  die afstand tussen die punte (Burrough & McDonnell, 1998:117).

Die metode is geskik vir die vinnige interpolasie van verspreide data in mediumgrootte datastelle (Burrough & McDonnell 1998:159). Die waarde van  $r$  bepaal die invloed van nabygeleë punte op mekaar (ArcView: IDW).

#### 4.6.4.2.3 Kriging

Geregionaliseerde of ruimte-afhanklike veranderlikes (regionalised variables) met kontinuïteit van punt tot punt in 'n geografiese ruimte, vorm die sleutelkonsep in geostatistiek. Daar word aanvaar dat die ruimtelike variasie in die attribuutwaarde statisties homogeen is, met ander woorde dieselfde patroon van variasie word by alle posisies in die oppervlak aangetref (Boeringa, 1999). Die veranderinge in die veranderlike is egter so kompleks dat dit nie met 'n deterministiese funksie beskryf kan word nie (Davis 1986:239) maar wel deur 'n stogastiese oppervlak. Geostatistiek behels die skatting van 'n vorm in een, twee of drie dimensies om anisotropie op te

spoor (Desmet, 1997:256). Die skattingsprosedure, bekend as kriging (Davis, 1986:240), word beskou as 'n belangrike interpolasietegniek in die mynbou maar kom selde in GIS voor as gevolg van kompleksiteit (Govers & Vanneste, 1998). Desmet (1997:257) noem dat hy nie 'n verwysing in die literatuur kon kry waar kriging vir DTM-konstruksie gebruik is nie.

Semivariansie word gebruik om die veranderingskoers in 'n geregionaliseerde veranderlike oor 'n spesifieke oriëntasie voor te stel. Semivariansie is 'n maatstaf van die ruimtelike afhanklikheid tussen monsterpunte in 'n spesifieke ondersteuning (support). Waar daar egter 'n skielike verandering in die data voorkom soos by geologiese strukture of morfologiese verandering hou hierdie aanname nie meer steek nie (Jones, 1997:211).

Die semivariansie  $\gamma$  word aan die afstand tussen monsterpunte ( $h$ ) gekoppel deur:

$$\gamma_h = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} [Z_i - Z_{i+h}]^2}{2N_h}$$

Waar:

$Z_i$  = die hoogte van punt  $i$  in meter;

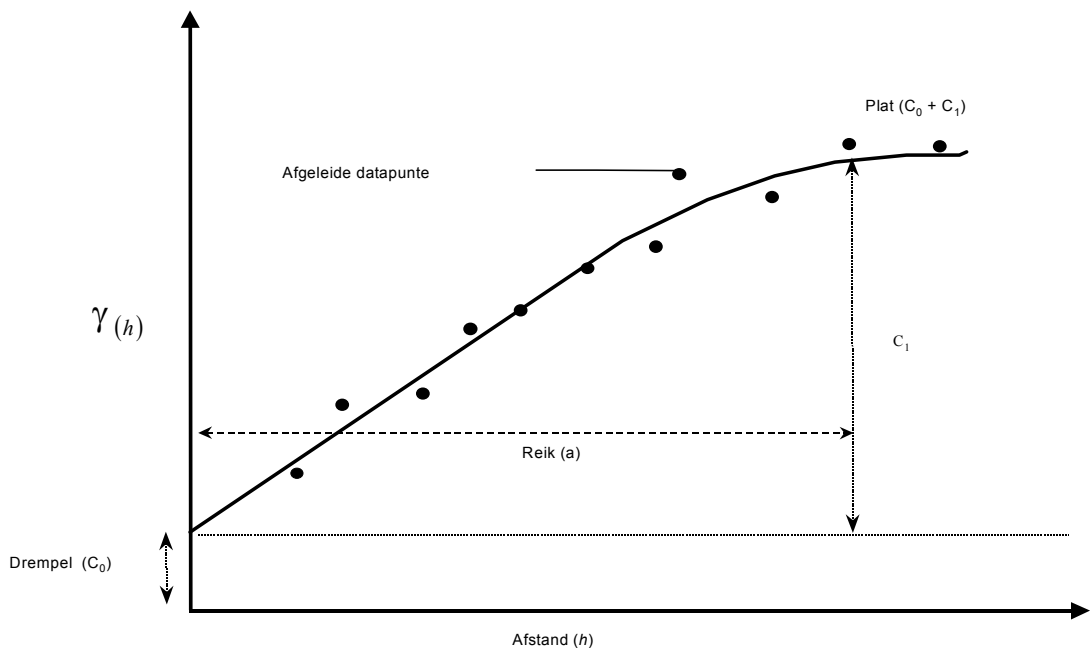
$h$  = afstand (in meter) en

$N_h$  = die aantal vergelykings tussen gepaarde punte binne afstand  $h$ .

'n Grafiese voorstelling van  $\gamma$  teenoor  $h$  staan bekend as die eksperimentele variogram.

Die komponente van 'n variogram word in figuur 4.6 voorgestel met:-

- Die reik (range), ( $a$ ) beskryf die kritiese deel van die variogram;
- die afstand (lag) ( $h$ ) waar die waarde van die attribuut ruimtelik afhanklik is, die variansie is minimum (Jones 1997:211).
- Die plat (sill) ( $c_0 + c_1$ ) word gekenmerk deur 'n afstand vanaf die monsterpunt waarna ander monsterpunte geen bydrae tot die interpolasie sal lewer nie.
- Die drempelwaarde (nugget) ( $c_0$ ) dui die waarde van die positiewe variansie aan met die afstand naderend na nul. Hierdie waarde dui op die ruimtelik ongekorreleerde geraas (noise) en kombineer die residuele variansies van meetfoute met ruimtelike variansies wat sou voorkom op korter afstande as die afstand tussen die monsterpunte.



Aangepas uit Burrough & McDonnell, 1998:135

Figuur 4.6 'n Eenvoudige variogram

Chang en Jankowski (2001) verduidelik dat die semivariogram eers op 'n wiskundige model gepas moet word voor dit gebruik kan word vir interpolasie. Die passende (gepasde) semivariogram word dan gebruik om die semivariansie by enige gegewe afstand te bepaal. Kriging het ook die voordeel bo die ander interpolators in ArcView dat die gebruiker die beste skattingsmetode kan kies na aanleiding van die ruimtelike gedrag van die verskynsel (Boeringa, 1999). Verskeie vorms van kriging kom in die literatuur voor en enkele metodes is in ArcView beskikbaar:-

#### 4.6.4.2.3.1 Gewone kriging

Met kriging word aanvaar dat die variasie in attribuutwaarde vry is van 'n strukturele komponent (drift). Daar bestaan dus nie 'n veranderlike tendens in die gemiddelde waarde nie. Die mees algemene modelle is: sferies, sirkulêr, eksponensieel, gaussies en liniêr (McBratney & Webster, 1986; Davis, 1986; Desmet, 1997; Burrough & McDonnell, 1998; Boeringa, 1998 en ArcView: MakeKriging en MakeFromVariogram).

#### 4.6.4.2.3.2 Universele kriging

Universele kriging word gebruik waar die geregionaliseerde veranderlike nie stasies is nie, met ander woorde waar 'n tendens of stadige verandering in die gemiddelde waarde voorkom en 'n liniêre skatting nie meer betroubaar is nie. 'n Nie-stasionêre veranderlike het twee komponente, die drywing bestaan uit die gemiddelde of verwagte waarde van die veranderlike binne 'n gebied en die residueel (residual) is die verskil tussen die werklike waardes en die drywing. Die verkryging van 'n skatting van die oppervlak word in drie stappe uitgevoer:-

- Eerstens word die drywing bepaal en verwyder.
- Kriging word op die stasionêre residuele toegepas om die geskatte waardes te verkry.
- Die drywing en die skattings word gekombineer om die werklike oppervlak voor te stel.

Drywing kan deur 'n eerste- of tweede-orde (kwadratiese) polinomiaal beskryf word (Davis, 1986:393).

$$M_p = \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i}$$

of

$$M_p = \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i} + \alpha_3 X_{1i}^2 + \alpha_4 X_{1i} X_{2i} + \alpha_5 X_{2i}^2$$

waar:

- $M_p$  die drywing by punt p;  
 $X_{1i}$  en  $X_{2i}$  die koördinate van die  $i^e$  punt; en  
 $\alpha$  die drywingskoëffisiënte wat bepaal moet word.

In die "Kriging Interpolator"-uitbreiding (Boeringa, 1999) is albei metodes beskikbaar: *Universal1* gebruik die eerste-orde polinomiaal (linear drift) terwyl *Universal2* die kwadratiese vergelyking (quadratic drift) gebruik.

## 4.7 Data vir die Modderrivieropvanggebied

In die laaste gedeelte van die hoofstuk word aandag gegee aan die verkryging en versameling van geskikte data vir die studiegebied. Die redigering van data word ook bespreek en in die laaste plek word 'n oorsig van die sagte- en hardeware wat in die studie gebruik is, gegee.

### 4.7.1 Databronne

In soverre dit moontlik was, is gepubliseerde data vir die studie aangekoop. Aangesien die betroubaarheid van die data 'n rol gespeel het in die navorsing word die aard van die data hieronder gelys. Metadata vir die projek word in Bylae C gegee.

#### 4.7.1.1 Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering

Die primêre databron vir die studie was versyferde 1:50 000 topografiese kaarte wat onder meer die volgende ingesluit het:

- Kontoere en depressiekontoere (polilyne)
- Strome en kanale (polilyne)
- Panne, damme, vleie en moerasse (poligone)
- Koördinate, hoogtes en attribute van driehoeksmetingsbakens en punthoogtes (punte)

Die kaartenheid<sup>5</sup> is desimale grade in die Gauss konforme (Tranverse Mercator) projeksie met die Kaapse Datum (Clarke 1880 ellipsoïde). Sien Bylae E vir die kaartvelle wat gebruik is (RSA, 1998a).

#### 4.7.1.2 Waternavorsingskommissie

Data van die Rekensentrum vir Waternavorsing (CCWR) wat gebruik is, is onder andere:

- Geologie (poligone)
- Plantegroei (poligone)
- Grond (poligone)

---

<sup>5</sup> Kaartenhede (map units) dui op die eenheid wat in die koördinaatstelsel gebruik word

- Erosiepotensiaal (poligone)
- Reënval (punte)
- Primêre, sekondêre en tersiêre dreineringsbekkens (poligone)

Die inligting is verskaf in desimale grade in die Gauss konforme projeksie met die Kaapse Datum (Clarke 1880 ellipsoïde) (WNK, 1990).

#### 4.7.1.3 Instituut vir Grond, Water en Klimaat

Attribuutinligting van landtipes en die ligging en attribute van modale grondprofiële is van die Instituut vir Grond, Water en Klimaat (IGKW) verkry (IGKW, 2000). Uit 'n latere vrystelling van die IGKW, is ruimtelike data van landtipes en digitale attribuutinligting verkry (IGKW, 2002).

#### 4.7.1.4 Raad vir Geowetenskappe

Geologiese data is verkry vanaf die digitale metalogeniese kaart vir Suid-Afrika, Lesotho en Swaziland (RGW, 2001). Die data is vanaf die oorspronklike 1:1 000 000 geologiese kaart versyfer.

#### 4.7.1.5 Departement Omgewingsake en Toerisme

Uit die Omgewingspotensiaalatlas vir Suid-Afrika (ENPAT) is die volgende inligting verkry:

- Grond (beskrywing, diepte en klei-inhoud as poligone)
- Geologie (poligone)
- Morfologie (poligone)
- Hidrologie (panne, damme en vleie as poligone)
- Plantegroei (poligone)
- Grondbedekking (poligone)
- Grondgebruik (poligone)
- Strome (lyne)

Die inligting is verskaf in Albers se gelyke area projeksie met die Hartebeesthoek94 Datum (WGS84 ellipsoïde) (RSA, 1999). Die standaardmeridiaan is 24°E en die standaardbreedte lyn, 18° en 32° S. Die kaarteenheid is meter en afstandseenheid, kilometer. Twee datastelle (Vrystaat en Noord-Kaap) is gebruik (RSA, 1999).

#### 4.7.1.6 Geographic Information Management Systems (GIMS)

Versyferde punthoogtes (spot heights) en kontoerlyne vir die studiegebied is deur die maatskappy vir die doeleindes van die navorsing voorsien. Die datum en projeksie is dieselfde as vir die data van die Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering.

#### 4.7.2 Redigering van data

Dataverwerking is 'n belangrike komponent in die gerekenariseerde analise van verskynsels. Die proses begin by die evaluering van verkreeë data en is eers afgehandel by die voorbereiding van 'n finale produk. In die volgende gedeelte word die redigering van data soos vir die studie gebruik beskryf.

##### 4.7.2.1 Data van die Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering

Topografiese data is in blokke van een vierkante graad aangekoop van die HDOK in ASCII-formaat (ReGis se "feature" (\*.fea) lêers). Die data is na ArcView-vormlêers omgeskakel deur 'n roetine, "Feature-to-Shapefile converter" (voorsien deur GIMS) te gebruik.

Kontoerdata sonder 'n hoogtewaarde (Z) kom in die oorspronklike datastel voor. Die probleem is oorkom deur 'n aktiewe tema se attribuuttabel te sorteer en elke polilyn waarvan die Z-waarde gelyk aan "0" was of geen data bevat het nie vanaf 'n topografiese kaart van die korrekte hoogtewaarde te voorsien. Terselfdertyd is die omliggende lyne se waardes gekontroleer.

As gevolg van die versyferingsprosedure wat deur Opmeting en Kartering gebruik is (RSA, 2000), kom daar 'n oorvleueling van kontoere op aangrensende kaarte voor. Sover moontlik is hierdie oorvleueling met 'n roetine, "remdup.ave" (Elmqvist, 1998), geïdentifiseer en verwyder. Die aantal punte wat vir die interpolasieproses gebruik is, is beperk deur 'n seleksie volgens die "Douglas en Peucker-algoritme" (Douglas & Peucker, 1973) uit te voer. Die prosedure verwyder punte wat "nie 'n bydrae tot die vorm van die lyn lewer nie". ArcView se "generalize.avx" uitbreiding is hiervoor gebruik.

Strome is as lyntemas gebruik en waar nodig is onderbroke lyne geredigeer deur die versyfering van stroomlyne vanaf lugfoto's en die konstruksie van middellyne deur alle damme. Waar lyndata in die bronlêers as poligone versyfer is, is die probleem in sommige gevalle opgelos deur opsies in die omskakelingsroetine te verander. In ander gevalle moes die poligone fisies na lyne verander word.

#### 4.7.2.2 Data van die Departement Omgewingsake en Toerisme

Die data word voorsien as `n vormlêer met alle beskrywende data vir die Vrystaat as velde binne die attribuuttabel. Die tabel is ontbind (dissolve) op die tersaaklike velde en afsonderlik as temas geberg. Om die hoeveelheid data in die projek te beperk, is die temas geknip (clipped) met `n buffer van 5km om die WNK se C52-opvanggebied as poligoon. In etlike datastelle het verskille tussen die veldname en die attribuutinligting voorgekom. Die data van die Noord-Kaap is geredigeer om by dié van die Vrystaat aan te pas.

#### 4.7.2.3 Data van die Waternavorsingskommissie

Data vir die hele land is voorsien as ArcInfo uitvoerlêers (\*.e00). Die tersaaklike data is ingevoer na ArcView (met die IMPORT71 fasiliteit) en as vormlêers geberg. Die temas is geknip met die WNK se sekondêre opvanggebied C52 as poligoon en `n 5km buffer.

#### 4.7.2.4 Metalogeniese kaart van die Raad vir Geowetenskappe

Die kaart is net vir illustrasie in die studie gebruik aangesien meer volledige inligting uit ENPAT beskikbaar was.

#### 4.7.2.5 Landtipe kaarte van die Instituut vir Grond, Water en Klimaat

Die ruimtelike data vir die Modderrivier is geknip en sonder verdere redigering gebruik. Vanweë die feit dat geen gemeenskaplike velde in die ruimtelike- en die attribuutdatastel voorkom nie, was die attribuutinligting aanvanklik nie geskik vir gebruik in `n GIS nie. Die tersaaklike attribute (tekstuur en grondseries) is met behulp van MS Excel in nuwe tabelle saamgevoeg en dan as attribuuttabelle aan die ruimtelike data gekoppel en in die studie gebruik.

#### 4.7.3 Kaartprojeksies

’n Belangrike maar verstaanbare tekortkoming van ouer weergawes van ArcView (v3.1 en vroeër) is die feit dat die projeksie van geprojekteerde data nie weer verander kan word nie (ESRI, 1996a:149). Die feit het veroorsaak dat data waarvan die koördinate nie in desimale grade beskikbaar was nie, die projeksie van die eindproduk bepaal het. Toe met die studie begin is, het die projeksie van data uit ENPAT, die kaartprojeksie van die eindproduk bepaal. Data van die Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering en die Waternavorsingskommissie was beskikbaar in geografiese koördinate en kon na Albers se projeksie omgeskakel word.

Die nuutste weergawe van ArcView (v3.2a) beskik egter oor ’n uitbreiding wat wel kaartprojeksies kan verander (ESRI, 1999). Alhoewel die oorspronklike projeksie nie 100% geskik is vir die studiegebied nie, is daar besluit om ter wille van kontinuïteit nie te verander nie.

#### 4.7.4 Sagte- en hardeware vir hierdie studie

ArcView 3.2 Desktop GIS is as kernprogram vir die analise, verwerking en voorstelling van data gebruik. Bykomende uitbreidings vir ArcView, *Spatial Analyst*, *3D Analyst*, *XTools*, *Spatial Tools*, *Surface Water Analysis Tools (SWAT)* *ArcFlow-Surface water model*, *Edit Tools* en *Kriging Interpolator* is gebruik om spesifieke take in die analise en verwerkingsprosedures uit te voer. Etlike roetines is van die Wêreldwye Web verkry om die werking van die programmatuur te verbeter. Geen roetines (behalwe vir veranderinge aan bestaande roetines, die gebruikerskoppelvlak en kaartrekenaarfunksies) is self geskryf nie.

’n Persoonlike rekenaar met ’n Celeron 300MHz verwerker, 128 Megagreep vlugtige geheue, twee hardeskywe met ’n totale kapasiteit van 25 Gigagrepe, ’n 17” skerm en ’n kompaktskyfskrywer vir rugsteunkopieë is in die navorsing gebruik (die rekenaar is later in die studie opgradeer na ’n 900MHz verwerker, 512 Megagreep geheue en twee 40 Gigagreep hardeskywe). Kaarte is met ’n Ricoh Aficio 220 en ’n Hewlett-Packard Deskjet 656C drukker voorberei.

#### 4.8 Slotopmerking

In die hoofstuk is ’n teoretiese agtergrond gegee vir die metodes wat in die studie gebruik is. Die teorie word in die volgende hoofstuk toegepas om ’n digitale terreinmodel vir die studiegebied te konstrueer. Uit die databronne wat ook hier beskryf is, sal die benodigde inligting vir verskeie tipes parameters onttrek word.

## HOOFSTUK 5 DTM-konstruksie en parameteronttrekking

*“Terrain modelling is very definitely not a ‘load and go’ process...”*

(M.J. McCullagh, 1998)

### 5.1 Inleidend

In die vorige twee hoofstukke is verduidelik watter parameters gebruik word in die studie en hoe geografiese inligtingstegnologie aangewend kan word in morfometriese studies. Hoofstuk vyf bestaan uit twee gedeeltes: in die eerste gedeelte word verduidelik hoe die digitale terreinmodel vir die studiegebied gekonstrueer is en in die tweede gedeelte word die onttrekking van parameterwaardes bespreek.

### 5.2 DTM-konstruksie

In die volgende gedeelte word die metodes wat gebruik is in die konstruksie van die digitale terreinmodel van die Modderrivieropvanggebied verduidelik. Die model word ook geëvalueer deur vergelykings met die oorspronklike data te tref.

#### 5.2.1 Voorafverwerking

Die data vir die studie (soos vroeër bespreek) is verkry uit gepubliseerde bronne. Voorafverwerking (preprocessing) was noodsaaklik om die geskiktheid van die data vir die doel van die studie te verseker.

##### 5.2.1.1 Waterskeiding

Die studiegebied bestaan uit tersiêre opvanggebied C52 soos afgebaken deur Middleton, *et al.* (1981) en Midgley, *et al.* (1994) en in digitale formaat verkry vanaf die Waternavorsingskommissie (WVK, 1990). Aangesien dié waterskeiding vermoedelik veralgemeen is, is `n buffer van 5km om die waterskeiding getrek en verskynsels binne die nuwe grens is in die konstruksie van die DTM gebruik. Dit is gedoen om die finale waterskeiding so akkuraat as moontlik af te baken.

### 5.2.1.2 Kontoere

Om 'n digitale terreinmodel met “*Spatial Analyst*” te konstrueer moet die inset-vormlêer punte as objekte hê. Die kontoerpolilyne is na punte omgeskakel deur die roetine “pline2XYZ” (Nobrega, 1998). Die roetine gebruik die nodusse in 'n polilyn om 'n attribuutlêer (\*.dbf) van die punte met koördinate en hoogtewaardes (x-, y- en z-waardes) te skep.

### 5.2.1.3 Hoogtepunte

Die hoogtepunte wat op hierdie manier van kontoere en depressiekontoere verkry is, is aangevul deur die ligging van driehoeksmetingbakens en punthoogtes in die studiegebied ook te gebruik. Driehoeksmetingbakens is normaalweg op die hoogste punt in 'n gebied geleë, maar bakens op geboue en ander strukture is uit die datastel verwyder. Tabel 5.1 gee 'n aanduiding van die aantal hoogtepunte in die verskillende kwaternêre opvanggebiede wat vir interpolasie gebruik is.

Tabel 5.1 Aantal hoogtepunte en oppervlakte per kwaternêre opvanggebied

Opvanggebied	Aantal punte	Oppervlakte (ha)	Punte ha <sup>-1</sup>
C52A	192 395	93 669,25	2.05
C52B	208 917	94 934,54	2.2
C52C	159 751	60 030,88	2.66
C52D	122 359	47 126,51	2.59
C52E	155 813	89 706,03	1.74
C52F	133 277	68 775,81	1.94
C52G	161 039	178 855,38	0.9
C52H	147 867	237 283,03	0.62
C52J	151 247	192 231,77	0.79
C52K	233 707	433 056,26	0.54
C52L	126 662	240 384,26	0.53
Totaal	1 793 034	1 736 521	1,03

### 5.2.2 Ruitgrootte

In die voorstelling van oppervlakke as ruite is vele skrywers dit eens dat die keuse van ruitgrootte 'n bepalende faktor in die uiteindelijke akkuraatheid van die DTM is. Brasington en Richards (1998:311) het, in 'n evaluering van verskillende ruitgroottes, tot die gevolgtrekking gekom dat 'n ruitgrootte van tussen 20 en 50m die effektiëste is vir hulle model (TOPMODEL) in 'n opvanggebied van 4,5km<sup>2</sup>. 'n Belangrike opmerking uit dieselfde studie is dat kleiner ruite, hoewel 'n beter weergawe van

terreinkenmerke, nie 'n merkbare bydrae lewer tot die topografiese inligting nie en selfs artefakte soos vals putte kan veroorsaak wat latere analises negatief mag beïnvloed.

Hutchinson en Gallant (1999:119) noem dat 'n resolusie van tussen 5 en 50m gebruik kan word vir ruimtelik verspreide hidrologiese modellering. Maidment (2001) stel voor dat sy sogenaamde miljoenreël gevolg word om 'n geskikte ruitgrootte vir 'n DTM te bepaal. Die oppervlakte van die bekken (in km<sup>2</sup>) word deur 1 000 000 gedeel om 'n aanduiding van ruitgrootte (in m<sup>2</sup>) te verkry. Hierdie metode gee 'n ruitgrootte van 17 360m<sup>2</sup> (1,7ha) of 132 X 132m (≈100 X 100m) vir die Modderivieropvanggebied. Nogami (1995:57) noem dat “growwe” resolusies van 250m en meer nie geskik is om sekere eienskappe van die topografie te ontleed nie. Hy is van mening is dat die resolusie van 'n DTM sodanig moet wees dat die landvorme ter sprake voorgestel kan word. Volgens sy ondervinding het 'n 1km DTM rofweg dieselfde akkuraatheid as 'n kaart met 'n skaal van 1:1 000 000 en is 'n 50m DTM ekwivalent aan 'n 1:50 000 kaart (of ruitgrootte ≈ kaartskaalnoemer ÷1 000).

'n Ruitgrootte van 50 X 50m (2 500m<sup>2</sup> of 0,25ha) is deurgaans gebruik as 'n kompromis tussen verwerkingstyd en akkuraatheid (vergeelyk tabel 5.2). Ten einde die keuse van ruitgrootte te toets, is die hoogtepunte van 'n ewekansig geselekteerde 1 : 50 000 topografiese kaartvel (2824DD) met verskillende ruitgroottes geïnterpoleer.

'n Uitbreiding, “*MILA Grid Utilities*” (Guissard, 2001), is gebruik om die werklike hoogte (versyferde z-waarde) van punte en die geïnterpoleerde hoogte van dieselfde punt te bepaal. Die attribuuttabel vir elke datastel is in MS Excel verwerk om die vierkant van die gemiddelde kwadraat fout (root mean square error – RMSE) te bereken. Desmet (1997:267) se formule vir die bepaling van RMSE is gebruik:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{i,obs} - Z_{i,int})^2}{n - 1}}$$

Die resultate word in tabel 5.2 voorgestel.

Tabel 5.2 Verwerkingstyd teenoor ruitgrootte (latfunksie op dieselfde datastel)

Ruitgrootte (m)	Verwerkingstyd	RMSE
10	28 min	0,421
20	4 min	0,932
50	43 sek	3,986
100	15 sek	5,667
250	6 sek	37,997
500	4 sek	139,532

### 5.2.3 Evaluering van interpolasietegnieke.

Siska en Hung (2001) het 'n vergelyking getref tussen tendensoppervlakke, Thiessen-poligone, TIN, omgekeerd geweegde afstande en kriging waarin getoon word dat TIN die kleinste fout lewer. Ten einde die geskikste interpolasietegniek vir die studie te gebruik, is alle beskikbare tegnieke geëvalueer. Dieselfde toetsgebied (2824DD) as hierbo is gebruik. Die kriteria wat vir die evaluering gebruik is, is gebaseer op dié van Carrara *et al.* (1997: 453).

In die eerste plek is die model getoets deur die RMSE van die modelwaardes (geïnterpoleerde hoogte) in vergelyking met die hoogtepunt te bepaal. Wise (1998:139) beskou hierdie metode as onsensitief en stel voor dat die RMSE van aspek (direk van die kontoere) in vergelyking met die DTM eerder gebruik moet word maar daar is gevoel dat aspek reeds 'n afgeleide komponent van reliëf is en dus nie meer 'n betroubare weergawe van die akkuraatheid van die model sal gee nie.

'n Verdere kriterium is die aantal punte in die datastel waarvan die werklike hoogte en die geïnterpoleerde hoogte met meer as 5% van die kontoerinterval (20m) verskil (Carrara *et al.* 1997:453). Dieselfde metode wat gebruik is om ruitgrootte te evalueer, is hier gebruik. Die resultate van beide evaluasies word in tabel 5.3 voorgestel.

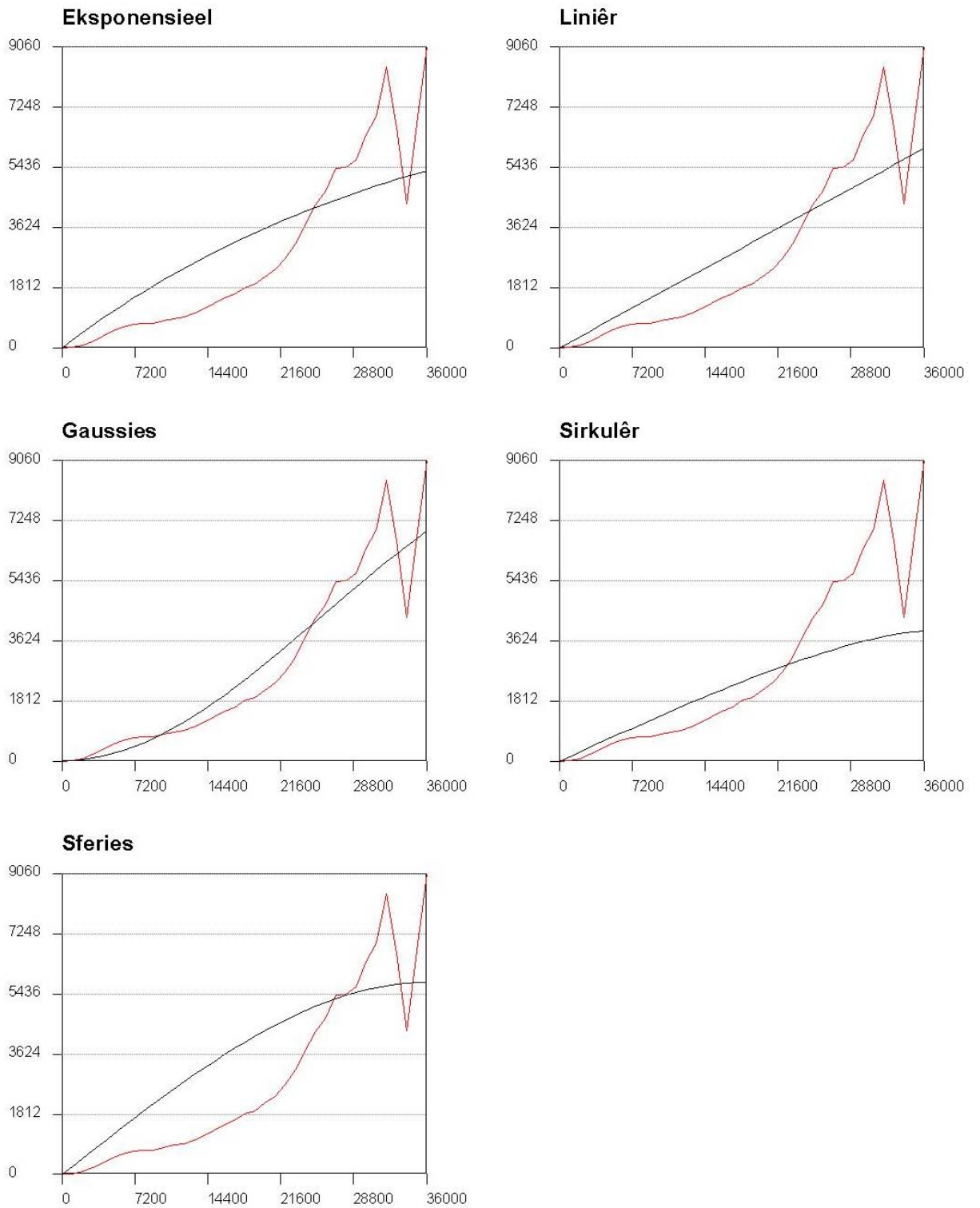
Tabel 5.3 Foute as gevolg van interpolasietegnieke

Interpolasietegniek	RMSE (m)	% >1m
Tendens	4,65	76,00
Latfunksie		
Reëlmatig	670,91	12,32
Spanning	6,82	7,02
Omgekeerd geweegde afstand	3,21	1,04
TIN <sup>6</sup>	7,12	1,24
Kriging (Gewone)		
Gaussies	16,58	31,86
Sferies	1,41	4,93
Sirkulêr	51,25	39,54
Eksponeensiël	2,83	0,57
Liniêr	2,83	1,01
Kriging (Universeel)		
Liniêr	2,82	1,01
Kwadratiese	2,85	1,01

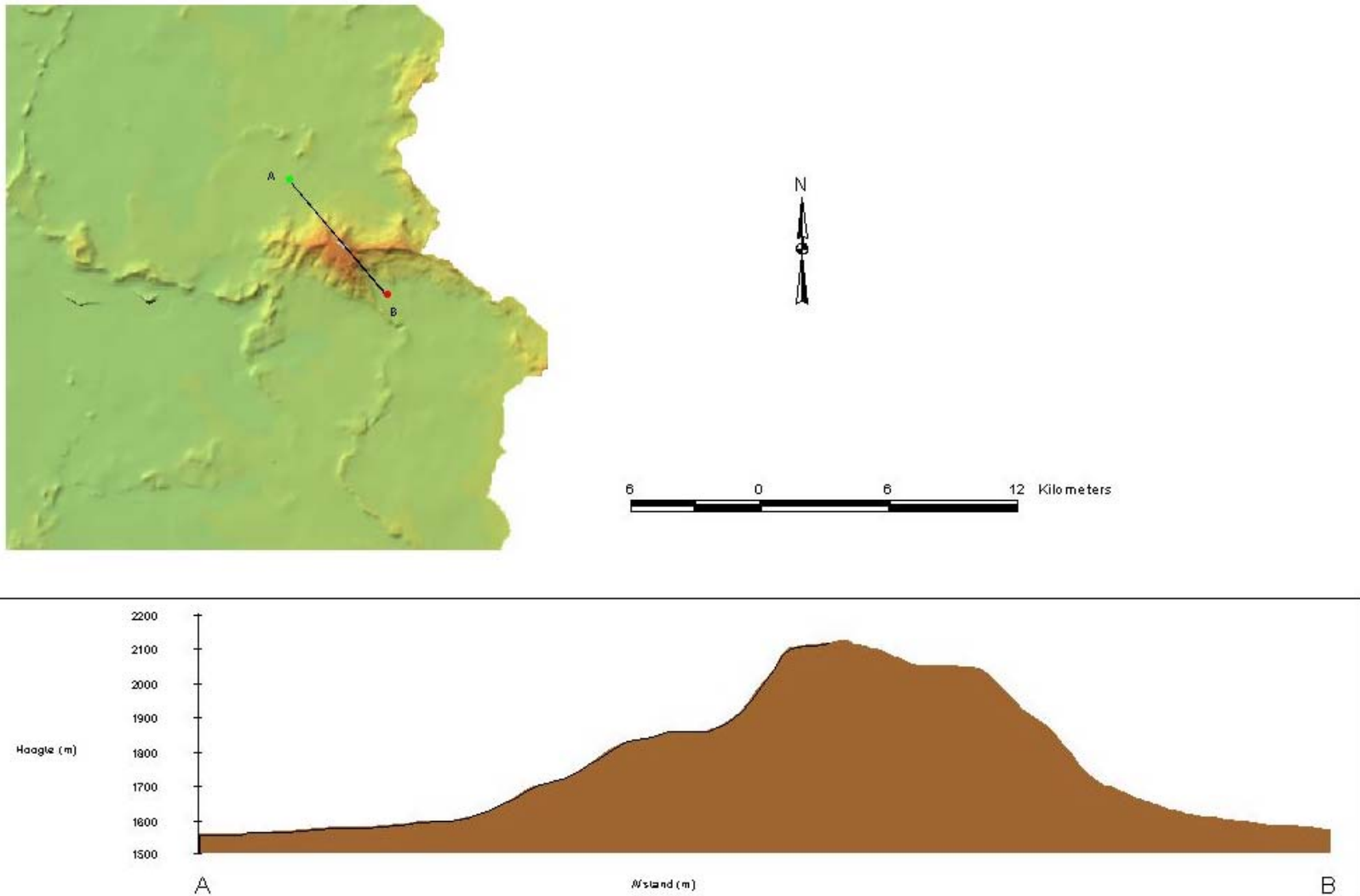
Tendens oppervlak (’n globale tegniek) is uitgeskakel aangesien die aantal punte wat met meer as 1m (5% van 20m) van die werklike hoogte verskil, te veel was (76%). Beide latfunksies het swak resultate gelewer. Semivariogramme vir die toetsgebied (figuur 5.1 en vergelyk ook 4.6.4.2.3) dui aan dat gaussiese kriging die beste passing van die datapunte (in rooi) op die teoretiese model (in swart) toon maar tog groot afwykings van die werklikheid (RMSE) lewer. Sirkulêre kriging toon ook groot afwykings. Liniêre en eksponensiële kriging presteer beter ten opsigte van RMSE maar toon swak passings op die model. Die twee universele kriging funksies het die beste resultate gelewer. Universele kriging met liniêre passing het heelwat meer vals putte in die DTM veroorsaak as met kwadratiese drywing. Universele kriging met kwadratiese drywing het die beste resultate gelewer en is gebruik vir die finale DTM konstruksie.

Die derde kriterium wat gebruik is, is die voorkoms van die gemodelleerde oppervlak. In ’n gebied begrens deur twee kontoere moet die waardes van die model liniêr tussen die kontoerwaardes wees en ’n realistiese morfologiese oppervlak weergee. Hier is van profiele gebruik gemaak om die resultate te evalueer. Een van die profiele word in figuur 5.2 getoon. Die profiele is met die "Profiler" uitbreiding (Eichenlaub, 1998) getrek.

<sup>6</sup> Die TIN is omgeskakel na ’n ruitnet met 50m ruite ten einde die RMSE te bepaal



Figuur 5.1 Eksperimentele variogramme vir kaartvel 2824DD

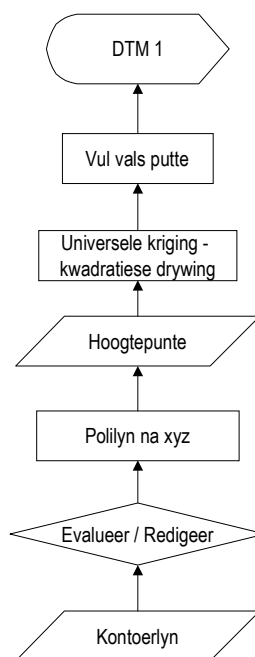


Figuur 5.2    n Profiel deur Thaba Nchu

## 5.2.4 Konstruksie van die primêre DTM

Aanvanklik is gepoog om hoogtewaardes aan alle verskynsels (kontoere, strome, panne, damme en kruine) wat in die DTM aanwesig moet wees, toe te ken. Die gedagte was om van getrianguleerde oneweredige netwerke gebruik te maak omdat ArcView se 3D Aanalyst-uitbreiding oor die moontlikheid beskik om ook polilyne en poligone in 'n DTM te inkorporeer. Om egter sinvol in die TIN gebruik te word, moet die polilyne en poligone hoogtewaardes hê. Verskeie pogings om hoogtes aan die verskynsels te koppel, het nie die gewenste resultate en betroubaarheid gelewer nie. Hoogtes kan byvoorbeeld nie aan poligone toegeken word nie en om hoogtewaardes direk van die kontoere aan stroomlynsegmente toe te ken, het "trappe" in die strome veroorsaak.

Die DTM is daarom in twee stappe gekonstrueer. Die konstruksie van die eerste DTM behels die interpolasie van die hoogtepunte met universele kriging en kwadratiese drywing. Vals putte in die geïnterpoleerde ruitnet is geïdentifiseer en gevul om 'n raster-DTM (DTM1) te verskaf (figuur 5.3).



Figuur 5.3 Konstruksie van die primêre DTM vir die Modderrivieropvanggebied

#### 5.2.4.1 Vloeirigting en vloeiakkumulاسie

Die spil van hidrologiese modellering in 'n rasterruitnet is die bepaling van vloeirigting en vloeiakkumulاسie. Reeds sedert die tagtigerjare van die vorige eeu ontwikkel skrywers soos Band (1986), Jenson en Domingue (1988) en Moore, *et al.* (1990) metodes waardeur die rigting van vloei en die akkumulاسie van water deur 'n ruitnet gemodelleer kan word. Die rigting van vloei deur 'n 3X3 matriks van gelyksydige selle en die aantal selle wat 'n bydrae lewer tot die vloei deur 'n sel, word in die studie toegepas om dreineringsbekkens en vloeielyne af te baken. Twee uitbreidings: ArcFlow Surface Water Model (Kohler, 2000<sup>7</sup>) en ArcView se Hidrologiese modelleringuitbreiding (ESRI, 1996b) is gebruik. Die prosedure is soos volg:-

Die geïnterpoleerde ruitnet moet die aktiewe tema in die sigdokument van ArcView wees. Die "*fill sinks*"-opdrag in die keuseskerm gaan deur 'n herhalende prosedure om die hoogtewaardes van selle laer as dié van die omliggende selle te verhoog totdat dieselfde hoogtewaarde bereik is (ArcView Help: Sink).

'n Vloeirigtingruitnet word dan op die veranderde hoogteruitnet geskep. Die "*flow direction*"-opdrag volg die sogenaamde D8-prosedure waarby agt omliggende selle van 'n sentrale sel geklassifiseer word op grond van die steilste helling weg van die middelste of verwerkingsel (processing cell). Die D8 algoritme bepaal die rigting van vloei deur:

$$s_i = \frac{|z_0 - z_i|}{\lambda \phi_i}$$

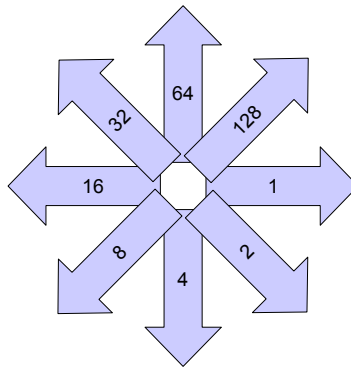
waar  $s_i$  die helling,  $z_0$  die hoogte van die sentrale sel in 'n 3X3 matriks,  $z_i$  die hoogte van 'n aangrensende sel ( $i = 1,8$ ),  $\lambda$  die ruitgrootte en  $\phi_i = 1$  vir kardinale rigtings en  $\sqrt{2}$  vir diagonale rigtings is. Hierdie algoritme laat egter slegs parallelle en konvergente vloei toe. Wilson en Gallant (1998:223) verwys na twee verdere algoritmes; Rho8 en FD8/FRho8. Desmet en Govers (1996:42 e.v.) ondersoek ses (veelvuldige) vloei algoritmes. Die D8-algoritme is egter die enigste wat vir die studie beskikbaar was.

Die uitsetwaardes ( $2^0$  tot  $2^7$  kloksgewys van die sel direk regs van die verwerkingsel) van die verwerking word in figuur 5.4 weergegee met 'n uittreksel uit die vloeirigtingruit as figuur 5.5. Indien vloei uit 'n sel na meer as een rigting moontlik is, word die

---

<sup>7</sup> Die roetines vir hierdie uitbreiding is deur MF Kohler ontwikkel as deel van 'n verhandeling getiteld "Using Geographic Information Systems to Produce Time Area Diagrams for the Clark Hydrograph Method". Die uitbreiding is deur Kohler aan die skrywer beskikbaar gestel maar was ook in die handel beskikbaar op <http://www.spatial-online.com/> as "Surface Water Analysis Tools" en "Arcflow Basin".

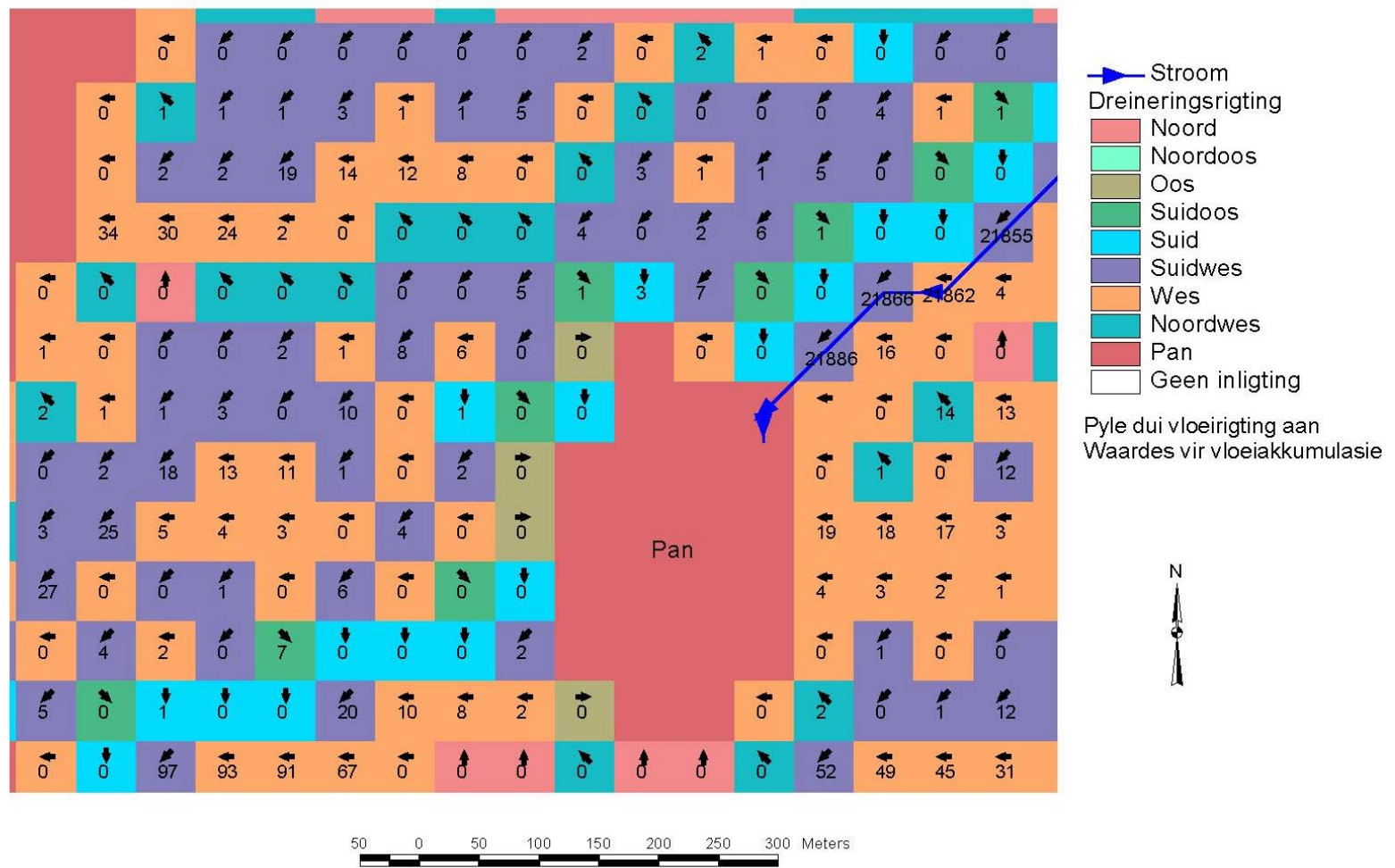
waardes bymekaargetel (bv.  $128+1+2 = 131$ ) en word as 'n ongedefinieerde vloeirigting beskou. Waardes van 1 tot 255 is moontlik. Selle met 'n ongedefinieerde vloeirigting kan slegs vloei ontvang maar kan geen bydrae lewer tot vloei stroomaf nie (ArcView Help: FlowDirection, FlowAccumulation, FocalFlow en Kohler, 2001:47). Hierdie beginsel is later in die modelleringsproses gebruik om vloei deur panne te verhoed.



Aangepas uit Kohler, 2000

Figuur 5.4 Waardes van die verwerkingsel vir vloeirigting

Die volgende stap behels die akkumulasie van vloei na 'n bepaalde sel. Vir vloeiakkumulasie word 'n soortgelyke proses as vir vloeirigting gevolg maar die rigtingwaardes is omgekeerd van die vloeirigtingwaardes. Dit word gedoen om vas te stel of 'n sel vloei ontvang, indien nie word 'n waarde van 0 toegeken. Die aantal selle wat stroomop 'n bydrae lewer tot die vloei na die sel word as waarde aan die sel toegeken (ArcView Help: FlowAccumulation). Die "*flow accumulation*"-opdrag is gebruik. Figuur 5.5 toon 'n gedeelte van die opvanggebied se vloeiakkumulasieruit.

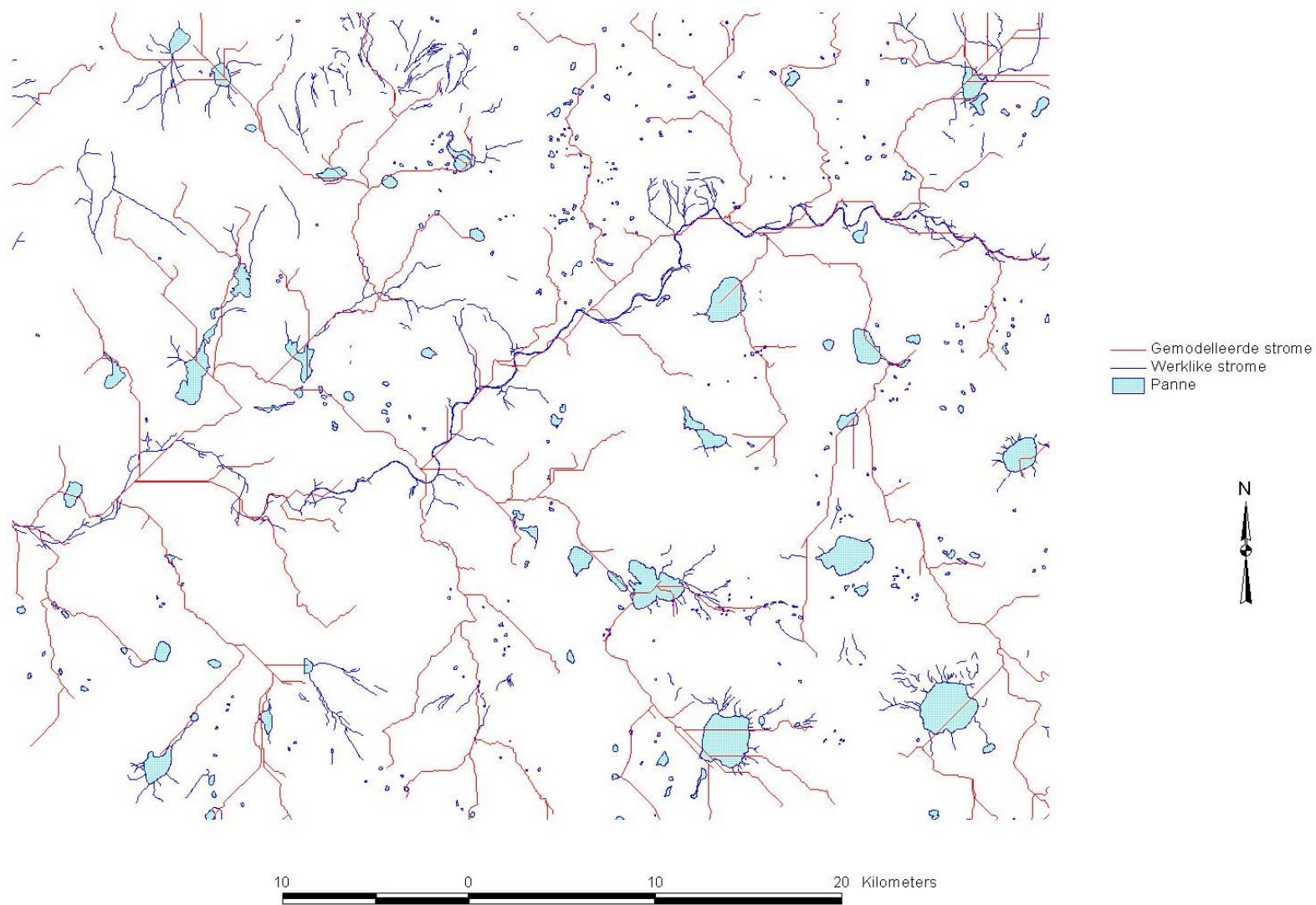


Figuur 5.5 Vloei rigting en vloeiakkumulاسie in die Modderivieropvanggebied

### 5.2.5 Konstruksie van die sekondêre DTM

Met DTM1 as inset is etlike eienskappe van die gemodelleerde terrein onttrek om die finale DTM te verfyn. Figuur 5.6 toon gemodelleerde strome op DTM1 wat, veral in die weste van die studiegebied, drasties van die werklike posisie van strome verskil, in so 'n mate dat die korrekte posisie van strome in die finale DTM geïnkorporeer moes word. Uit die literatuur (onder andere, Jenson & Domingue, 1988; Hutchinson, 1989; Saunders, 1999 en Maidment, 2001) is dit dan ook duidelik dat 'n wyse gevind moet word om stroomlyne in 'n DTM te inkorporeer. Maidment (2001) stel 'n proses van stroom-etsing (streamburning) voor wat behels dat die landskap se hoogte "met 'n waarde van ten minste hoër as die hoogste punt in die DTM" verhoog word terwyl die hoogte van die stroom dieselfde bly. Dit veroorsaak 'n lang, diep kanaal waardeur vloei móét plaasvind sodra dit die kanaal bereik. Maidment se metode is in die studiegebied getoets maar het onbevredigende resultate gelewer.

Ten einde strome in die konstruksie van die DTM in te bring, is 'n nuwe proses van stroom-etsing gebruik. Daar is besluit om nié die hoogtes van strome van die oppervlak van die DTM af te lei soos in bogenoemde metodes voorgestel word nie. 'n Kumulatiewe afstandswaarde is vir strome bereken met die *CostDistance*-funksie van ArcView en hierdie waarde is as 'n gewigsfaktor by die minimum hoogte (1 107m) van die stroom getel. Die proses het 'n liniêre toename in stroomhoogte vanaf die monding van die stroom na die oorsprong van die netwerk gelewer ten einde ook vloei in die regte rigting te laat plaasvind. Die metode laat ook die moontlikheid om 'n logaritmiëse toename in stroomhoogte te modelleer.



Figuur 5.6 Gemodelleerde stroomlyne in die weste van die studiegebied

Aangesien kruine ook in die literatuur genoem word as belangrik in die modellering van 'n landskap, is gepoog om hierdie terreinkenmerke in die konstruksie van die finale DTM te gebruik. 'n Vloeirigting- en vloeiakkumulasieruitnet is van die primêre DTM onttrek en met behulp van ArcView se kaartrekenaar (map calculator) is gebiede met 'n vloeiakkumulasie van 0 bepaal. Die resulterende ruitnet is uitgedun en met behulp van McVay (1998) se raster-na-vektoromskakeling na polilyne verander. Polilyne met 'n lengte van minder as 300m (6 selle) is uit die datastel verwyder.

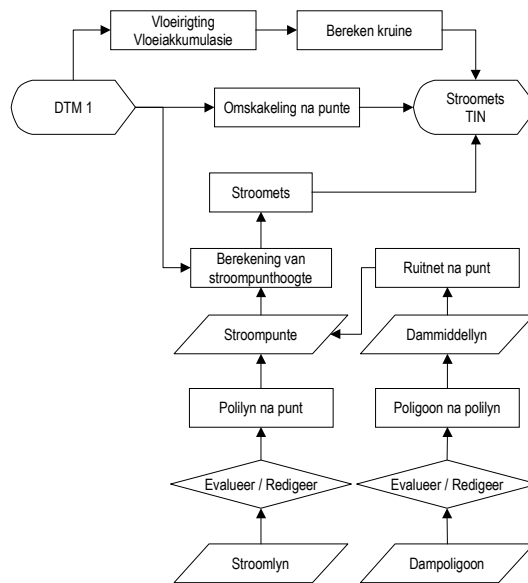
Die primêre raster-DTM is weer na punte omgeskakel en hierna is ArcView se 3-D Analyst-uitbreiding gebruik om 'n TIN van die gebied te skep. Stroomlyne is as harde<sup>8</sup> onderbrekingslyne (hard break lines), kruine as sagte onderbrekingslyne (soft break lines), die grens (5km buffer) van die studiegebied as 'n sagte knippoligoon (soft clip polygon) en die stroompunthoogtes en punthoogtes van DTM1 as massa hoogtepunte (mass points) gebruik. Die TIN is daarna na 'n rasterruitnet (DTM2) omgeskakel en die ruitnet is verder in die afbakening van strome en dreineringsbekkens gebruik. Met die omskakelings is sorg gedra dat die hoogtes van die punte in die DTM nie verander nie en dat slegs die nuwe hoogtes van strome bygevoeg word.

Panne is 'n belangrike (gegewe) komponent van die morfologie in die studiegebied en daar moet in die modellering van die landskap voorsiening vir hierdie verskynsels gemaak word. Soos reeds vroeër opgemerk, vind oppervlakovloei baie selde deur panne plaas. Aangesien die D8-algoritme wat gebruik is in die deliniëring van strome, aanvaar dat oppervlakovloei deur 'n bekken plaasvind, moes enkele aanpassings in die konstruksie van die DTM van die Modderivieropvanggebied gemaak word. Turcotte *et al.* (2001:230) stel voor dat mere (in dié geval, panne) poligone en onderskeibaar van "plat gebiede op land" moet wees. In die primêre DTM is slegs die oppervlak gemodelleer sonder om enigsins natuurlike depressies soos panne in ag te neem. Stroomlyne wat op hierdie manier gevorm is, het dan wel deur panne gesny.

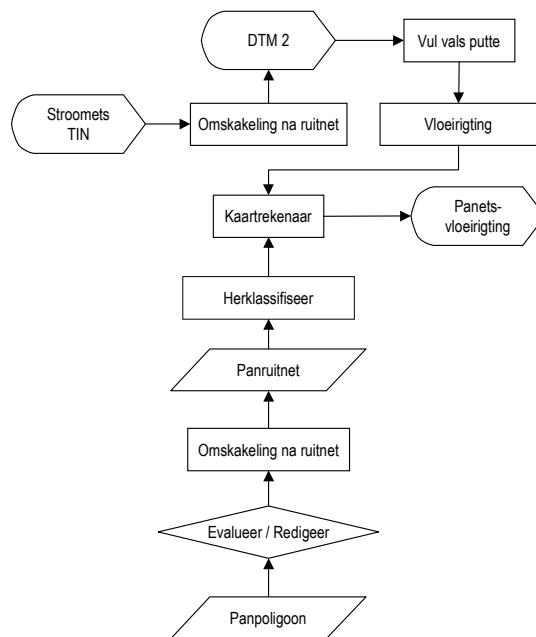
Panne is na 50X50m ruite omgeskakel en 'n waarde van 5 (die kleinste waarde wat na bewerking 'n identifiseerbare resultaat lewer) is aan die selle toegeken. Nie-pansele kry 'n waarde van 0. Deur die panruit by die vloeirigtingruit te tel, is gebiede geskep waardeur vloei nie plaasvind nie maar wat wel vloei ontvang. Vloei na panne kon met sukses so na as moontlik aan die werklikheid gemodelleer word. Die metode maak dit moontlik om modelle te skep waar panne nie aanwesig is nie.

---

<sup>8</sup> "Hard" en "sag" in die geval van lyne verwys onderskeidelik na 'n merkbare en 'n geleidelike oorgang in helling. In die geval van poligone verwys die terme na onderskeidelik die algehele verwydering van die verskynsel uit die TIN en die grens van interpolasie (ESRI, 1999:30).

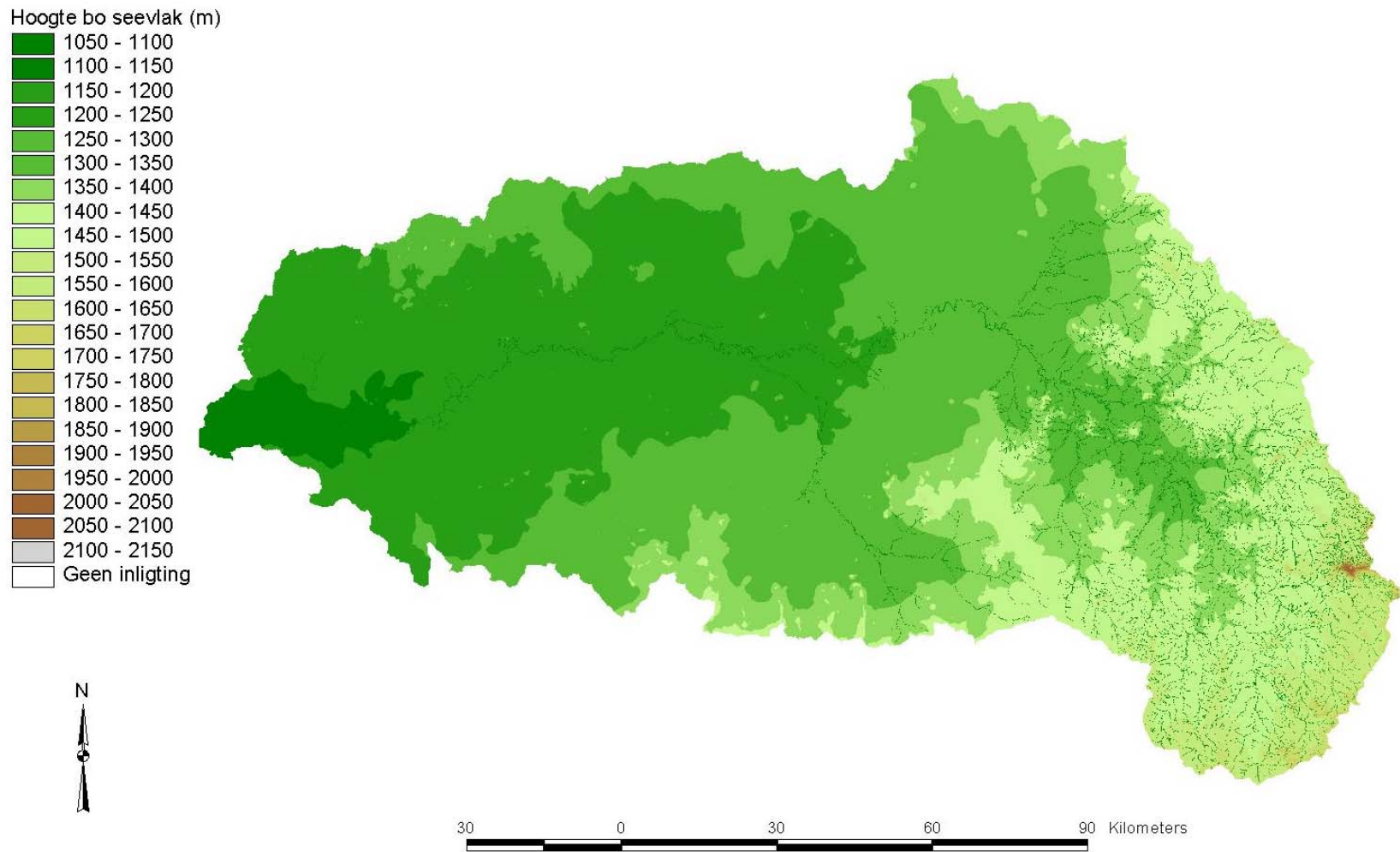


Figuur 5.7 Konstruksie van die sekondêre DTM vir die Modderivieropvanggebied



Figuur 5.8 Prosedure gevolg vir panetsing

Met hierdie metode is daarin geslaag om die model so getrou moontlik aan die werklikheid as moontlik te hou. Die finale DTM vir die studiegebied word in figuur 5.9 gegee. Die leser word egter daarop gewys dat die figuur in hierdie stadium bloot as illustrasie dien.



Figuur 5.9 'n Digitale terreinmodel van die Modderrivieropvanggebied

## 5.2.6 Afbakening van vloeielyne en dreineringsbekkens

Die volgende stap in die studie was die afbakening van dreineringsbekkens. Vloeiakkumulاسie vanaf die panetsvloei rigtingruitnet is bepaal en daarna is die vloeielyne deur middel van Kohler (2000) se “*find streams*”-opdrag bepaal. `n Drumpelwaarde, wat aandui bo watter waarde `n sel beskou kan word as `n stroomsel in die vloeiakkumulاسieruitnet, moet gebruik word (Kohler, 2001:50).

Hoewel `n drumpelwaarde arbitrêr toegeken kan word, is besluit om `n waarde so na as moontlik aan die werklikheid te gebruik (vgl. Tarboton, *et al.*, 1991:81). In die eerste plek is gekyk na die oppervlakte van eerste-ordebekkens uit die literatuur. Tabel 5.4 gee die aantal 50X50m selle wat `n eerste-ordebekken sou voorstel. Hier is veral die Mooirivier van belang omdat daar ook, soos in die weste van die studiegebied, baie min oppervlakdreinerings is. Die Grootspuit, aan die ander kant, is soortgelyk aan die oostelike dele van die Modderrivier. Die voorbeelde uit Strahler se werk is bloot vir vergelyking.

Tabel 5.4 Voorbeelde van die gemiddelde oppervlakte van eerste-ordebekkens

Bekken	Oppervlakte (ha)	Aantal selle	Skrywer
Mooirivier	218.2ha	872	Barker (1985)
Grootspuit	49,7ha	199	De Villiers (1981)
Allegeny	12.9ha	52	Strahler (1975)
Fern Canyon	0.69ha	3	Strahler (1975)
Mill creek	6.47ha	26	Strahler (1975)

Carrara, *et al.* (1991:434) noem dat die beste resultate in grondverskuiwings-risikoanalise verkry is deur gebruik te maak van `n minimum eerste-orde bekkengrootte van  $0,125\text{km}^2$  ( $12.5\text{ha} \approx 50$  selle) en `n minimum eerste-orde stroomlengte van 300m. Hulle motiveer die keuse as `n kompromis tussen die statistiese akkuraatheid van kleiner eenhede en die identifikasie van spesifieke landvorme (grondverskuiwings). Maidment (2001) stel 1 000 selle as drumpelwaarde voor – volgens sy duisend/miljoen reël. Tarboton *et al.* (1991) gebruik twee van Horton se “wette”; die “*constant drop law*” en die “*power law scaling of slope with area*” om `n geskikte ondersteuningsgebied ( $S_a$ ) vir gemodelleerde strome te bepaal. Tarboton en Ames (2001) het hierdie metode op dreineringsbekkens in Nieu-Seeland en Amerika toegepas en `n verwantskap van

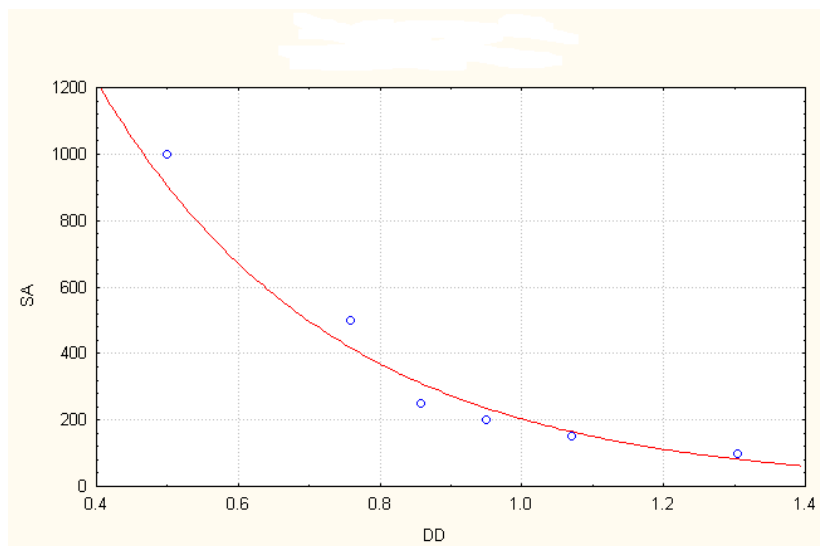
$D_d = 760S_a^{-0,507}$  gevind. Die oppervlakte van die ondersteuningsgebied kan bepaal word deur die vergelyking

$$S_a = \sqrt[{-0,507}]{\frac{D_d}{760}}$$

Tarboton, *et al.* (1991:85) stel dat daar 'n direkte verhouding tussen dreineringsdigtheid en die ondersteuningsoppervlakte is en volgens Horton (1945:284) is die gemiddelde afstand van oorlandvloei (en by implikasie, die oppervlakte waarvoor vloei plaasvind) gelyk aan die helfte van die omgekeerde van dreineringsdigtheid. Deur verskillende waardes vir die ondersteuningsoppervlakte te gebruik en met die resulterende dreineringsdigtheid te vergelyk, is 'n verhouding van

$$S_a = 4021,325e^{-2,985D_d}$$

in die studiegebied verkry (figuur 5.10). Die beraamde ondersteuningsoppervlakte in ha en die aantal selle in die ondersteuningsoppervlakte word in tabel 5.5 gegee.



Figuur 5.10 'n Eksponensiële kromme vir die bepaling van  $S_a$

Tabel 5.5 Dreineringsdigtheid en ondersteuningsoppervlakte in die studiegebied

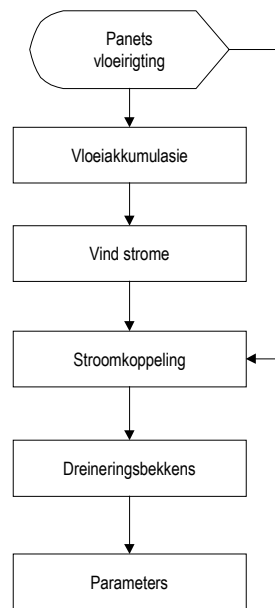
Bekken	$D_d$ ( $\text{km km}^{-2}$ )	$S_a$ Tarboton(ha)	$S_a$ Tarboton (Selle)	$S_a$ Studiegebied (Selle)
C52A	1,13234	37,6369	150	137
C52B	1,29232	29,0010	116	85
C52C	1,30693	25,8731	103	81
C52D	0,92829	55,6952	223	252
C52E	0,93226	55,2284	220	249
C52F	0,64235	115,1400	460	591
C52G	0,52283	172,8144	691	844
C52H	0,17204	1 547,7910	6 191	2 406
C52J	0,26431	663,5803	2 654	1 827
C52K	0,17326	1 526,3682	6 105	2 397
C52L	0,24489	771,3711	3 085	1 936

Aanvanklik is gepoog om die bekkens van elke kwaternêre opvanggebied apart en met 'n unieke ondersteuningsoppervlakte te delinieer. Die vloeiakkumulasieruitnet kon egter nie daarna met sukses saamgevoeg word nie. Om die dreineringsbekkens van die hele opvanggebied te identifiseer is 'n waarde van 250 selle (62,5ha) gebruik. Hierdie waarde is minder as die gemiddelde waarde vir die opvanggebied maar daar is waargeneem dat dit 'n realistiese weergawe van die dreineringsdigtheid in die gebied lewer.

Om stroomnetwerke af te baken, moet die vloeiakkumulasieruitnet die aktiewe tema in ArcView wees. Die "*locate streams*"-opdrag in die keuseskerm word gebruik om stroomselle te identifiseer. Hierna word die selle verbind (met behulp van die vloeiingruutnet) deur die "*stream link*"-opdrag. Die stroomselle kan dan na 'n polilyn omgeskakel word (die stroomvormlêer). Die "*watershed*"-opdrag bepaal die stroomopbydraende selle vanaf 'n bepaalde sel. Hierdie sel kan aan 'n stroomnetwerk verbind wees. Die uitset van hierdie stap is 'n ruitnet met 'n unieke waarde vir elke sel wat die nommer van die opvanggebied aandui. Die ruitnet kan na vektorformaat omgeskakel word deur die opdrag "*convert to shape*". Die resultaat is 'n vormlêer met dreineringsbekkens (die bekkenvormlêer). Die proses word skematies in figuur 5.11 voorgestel.

Hierna is die uitvloeipunte van alle bekkens bepaal. Vanweë die manier waarop bekkens in ArcView afgebaken word ('n bekken vir elke stroomsegment), is daar vir tweede- en hoër-ordebekkens meer as een uitvloeipunt. As voorbeeld word 'n vierde-ordebekken, met die oorspronklike uitvloeipunte waar laer-ordestrome by die vierde-orde-segment aansluit, in figuur 5.12 getoon. Die uitvloeipunte is op grond van Strahler

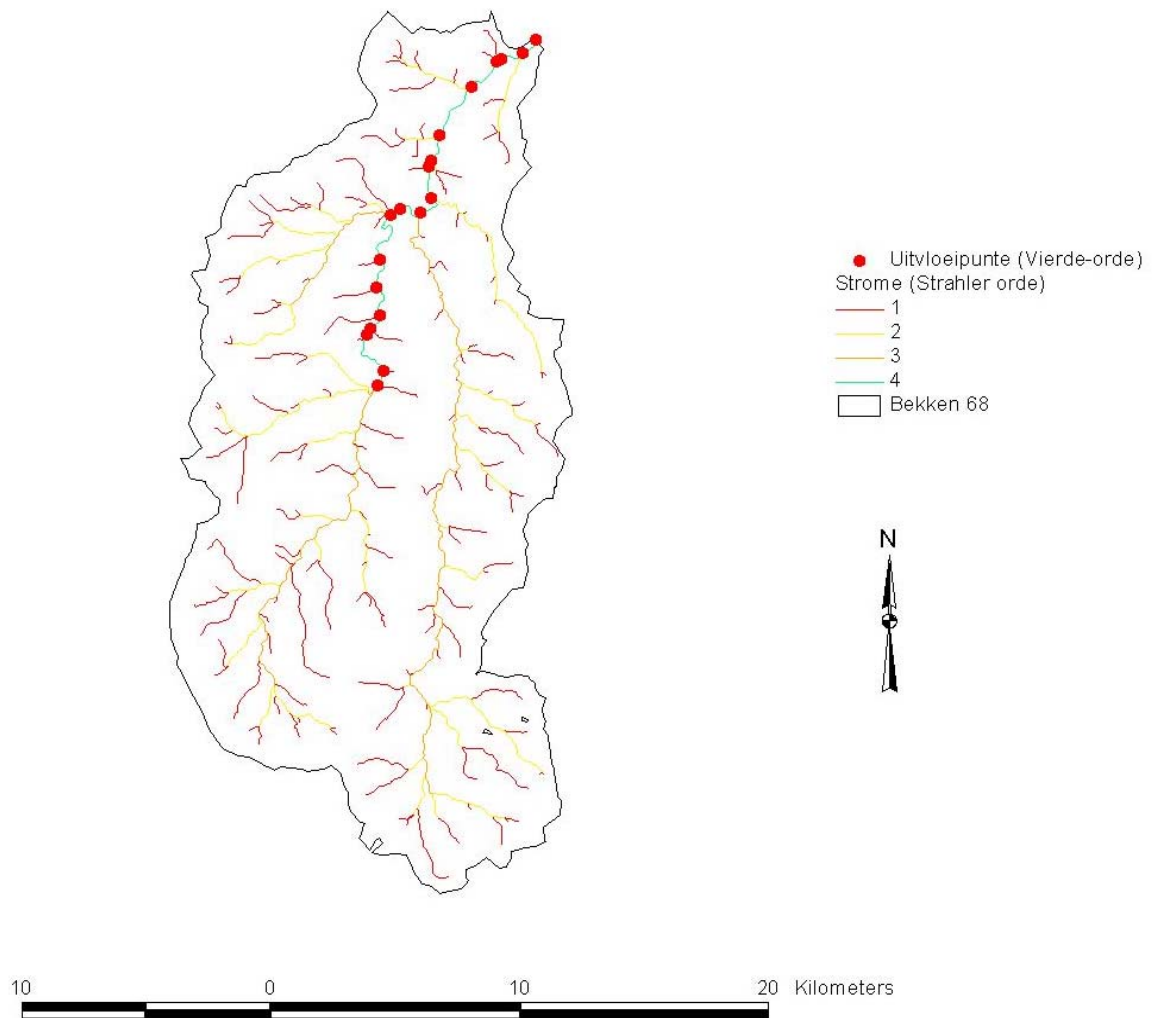
se ordes geïdentifiseer en in aparte vormlêers geberg. Alle uitvloeipunte behalwe die werklike punt by die mond van die stroomsegment is verwyder. Met behulp van hierdie uitvloeipunte is daar 'n stroomopwaartse dreineringsgebied vir die punt geïdentifiseer. Hierdie gebiede is met die oorspronklike bekkens gekontroleer maar geen afwykings is gevind nie. Op hierdie wyse is daarin geslaag om bekkens van 'n spesifieke orde uit al die samestellende bekkens te vorm. Die bekkens is na 'n vektorformaat omgeskakel.



Figuur 5.11 Die deliniëring van strome en afbakening van bekkens

Die aantal bekkens van elke orde word in tabel 5.6 gegee en grafies in figuur 5.13 voorgestel. Uit die figuur is dit duidelik dat die aantal bekkens feitlik 'n geometriese verhouding teenoor die orde vorm. De Villiers (1981:13) beskou 'n bekken waarvan die eienskappe ooreenstem met dié van bekkens wat deur onder andere Horton en Strahler ondersoek is, as normaal. Die vertakkingsverhouding vir die opvanggebied (tabel 5.6) toon verder 'n afwyking tussen 4<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> en tussen 5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> ordebekkens wat by implikasie beteken dat daar "te min" vyfde- en sesde-ordebekkens in die gebied teenwoordig is (vgl. Horton, 1945:286).

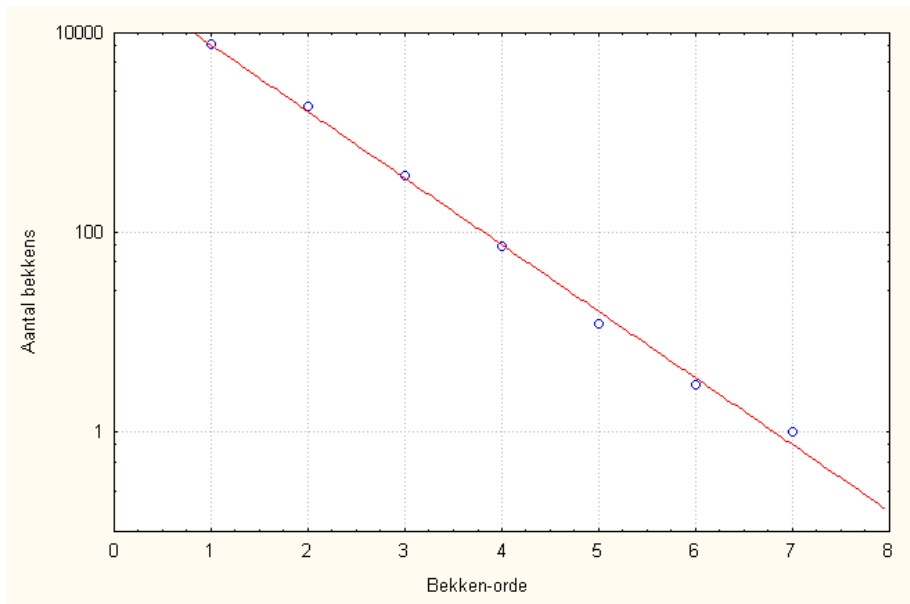
Figuur 5.14 is die dreineringsbekkenkaart van die Modderrivieropvanggebied. Hierdie lêers is vir die dreineringsbekkenanalises in die studie gebruik.



Figuur 5.12 Uitvloeipunte in 'n vierde-ordebekken

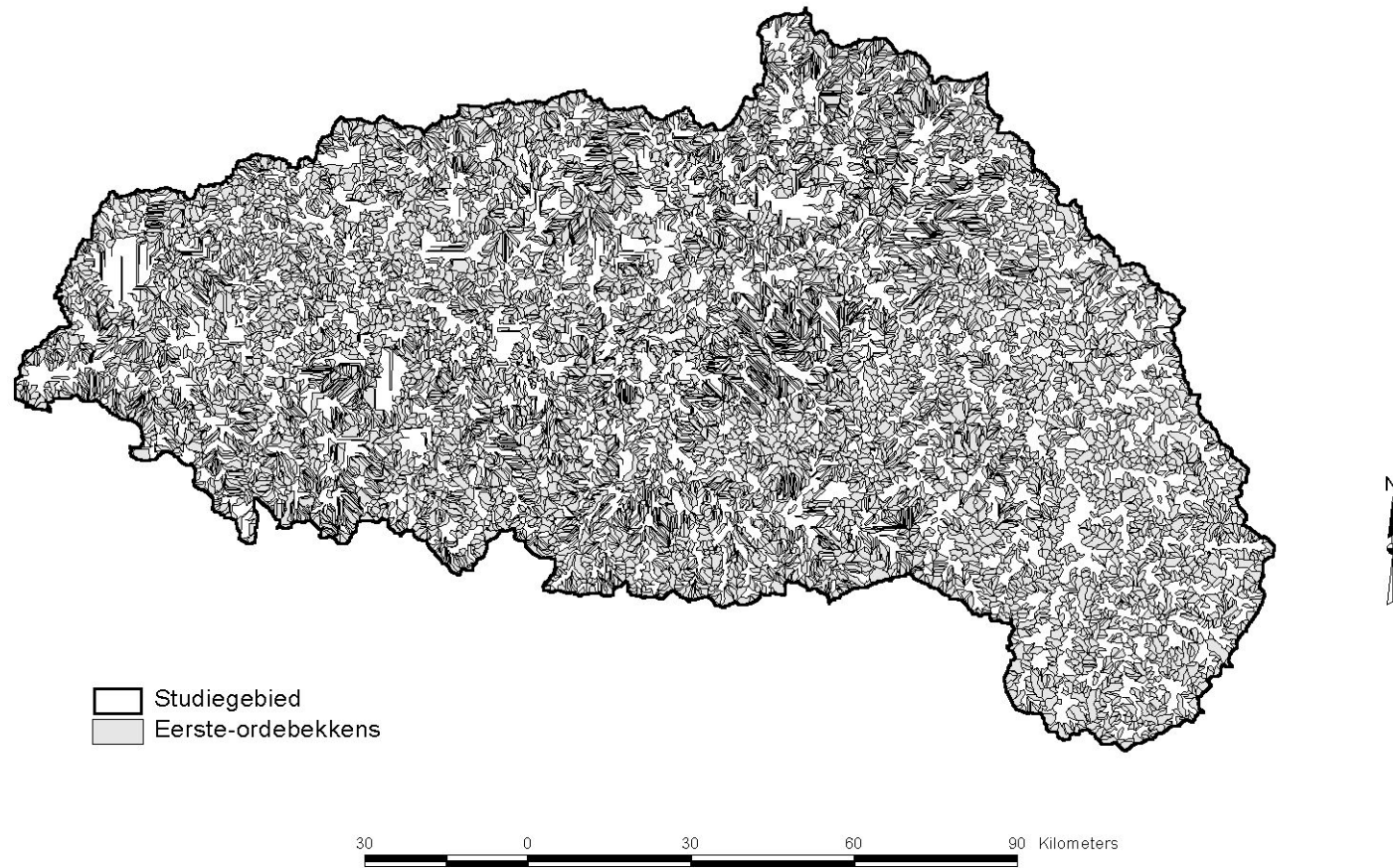
Tabel 5.6 Eienskappe van dreineringskomponente in die Modderrivier

Komponent	Aantal bekkens	Vertakkingsverhouding	% van totale oppervlakte
1 <sup>e</sup> orde	7 697	4,226	60,09
2 <sup>e</sup> orde	1 821	4,934	56,60
3 <sup>e</sup> orde	369	5,125	50,34
4 <sup>e</sup> orde	72	6	41,17
5 <sup>e</sup> orde	12	4	30,01
6 <sup>e</sup> orde	3	3	29,28
7 <sup>e</sup> orde	1	-	48,28
Panne	-	-	2,02
Interbekken	-	-	9,20

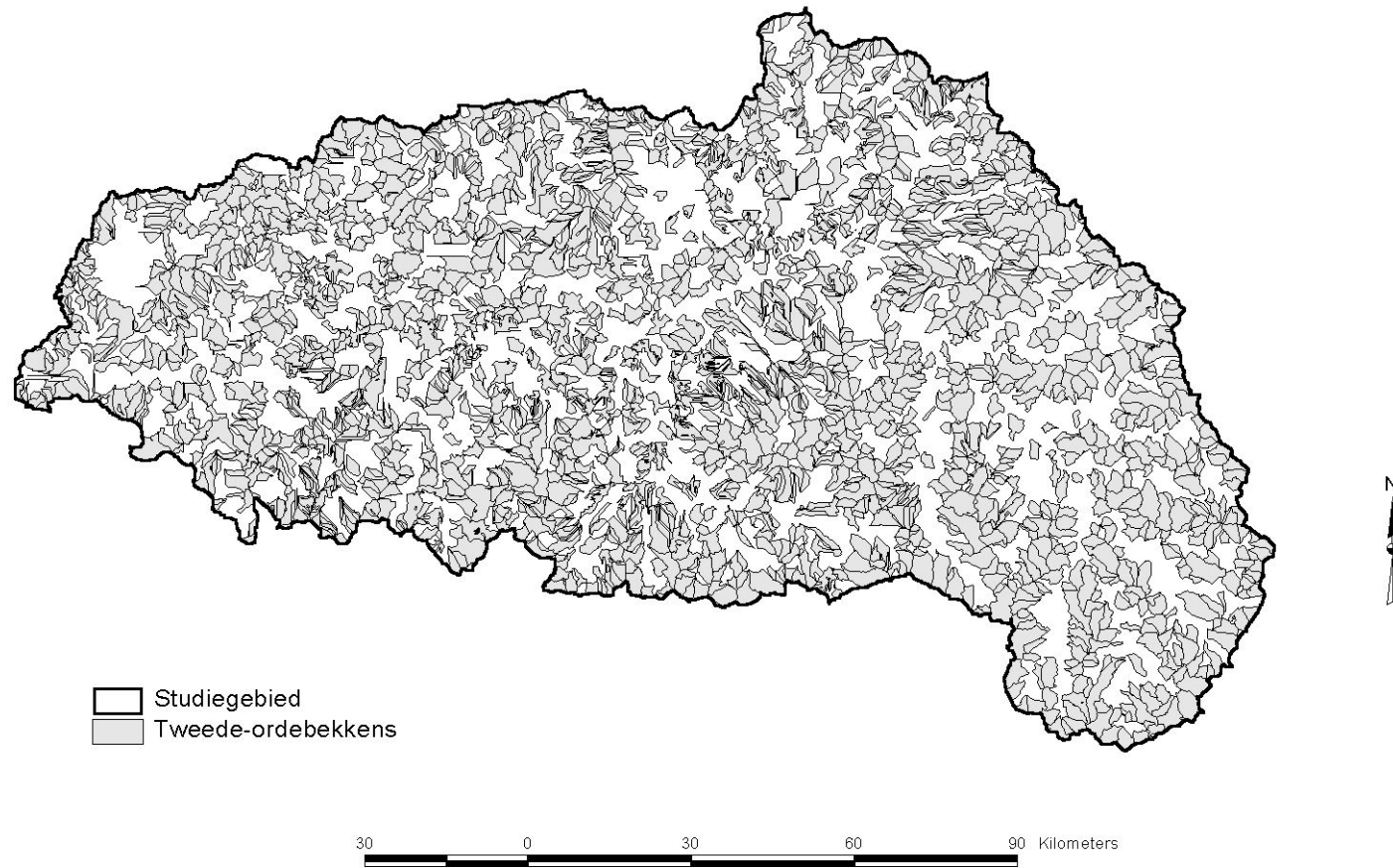


Figuur 5.13 Aantal bekkens per orde

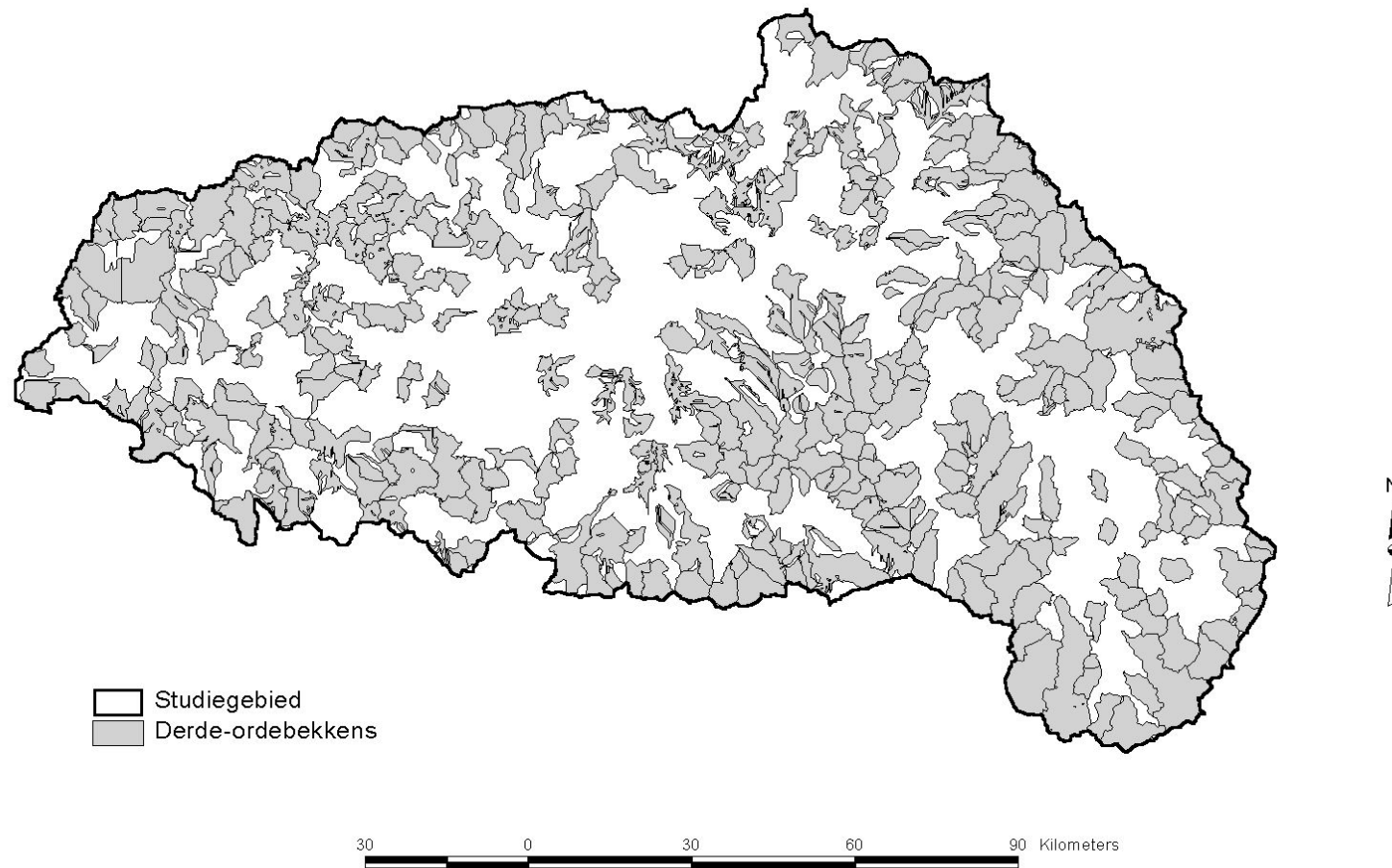
In hierdie gedeelte is verduidelik hoe beskikbare inligting vir die Modderrivieropvanggebied in 'n digitale terreinmodel omskep is. Deur van verskillende tegnieke en kombinasies van tegnieke gebruik te maak, is daarin geslaag om 'n betroubare DTM vir die studiegebied te skep. Etlke van die tekortkominge waarteen in die literatuur gewaarsku word, is oorkom en ander moontlike foute in die konstruksie van 'n DTM vanaf kontoere is beperk tot aanvaarbare limiete. Hierdie model is gebruik om die morfometriese eienskappe van dreineringsbekkens te onttrek.



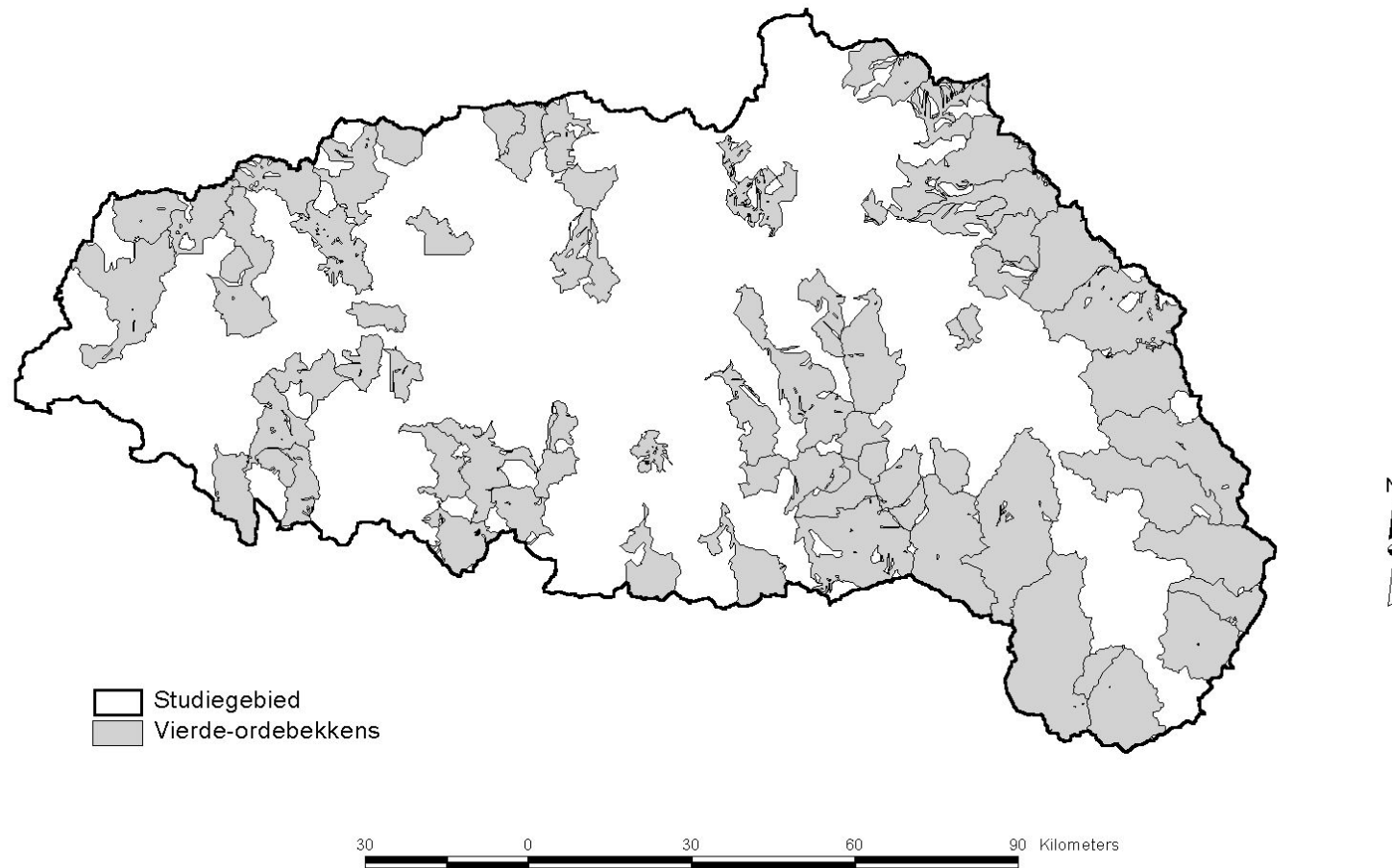
Figuur 5.14a Eerste-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



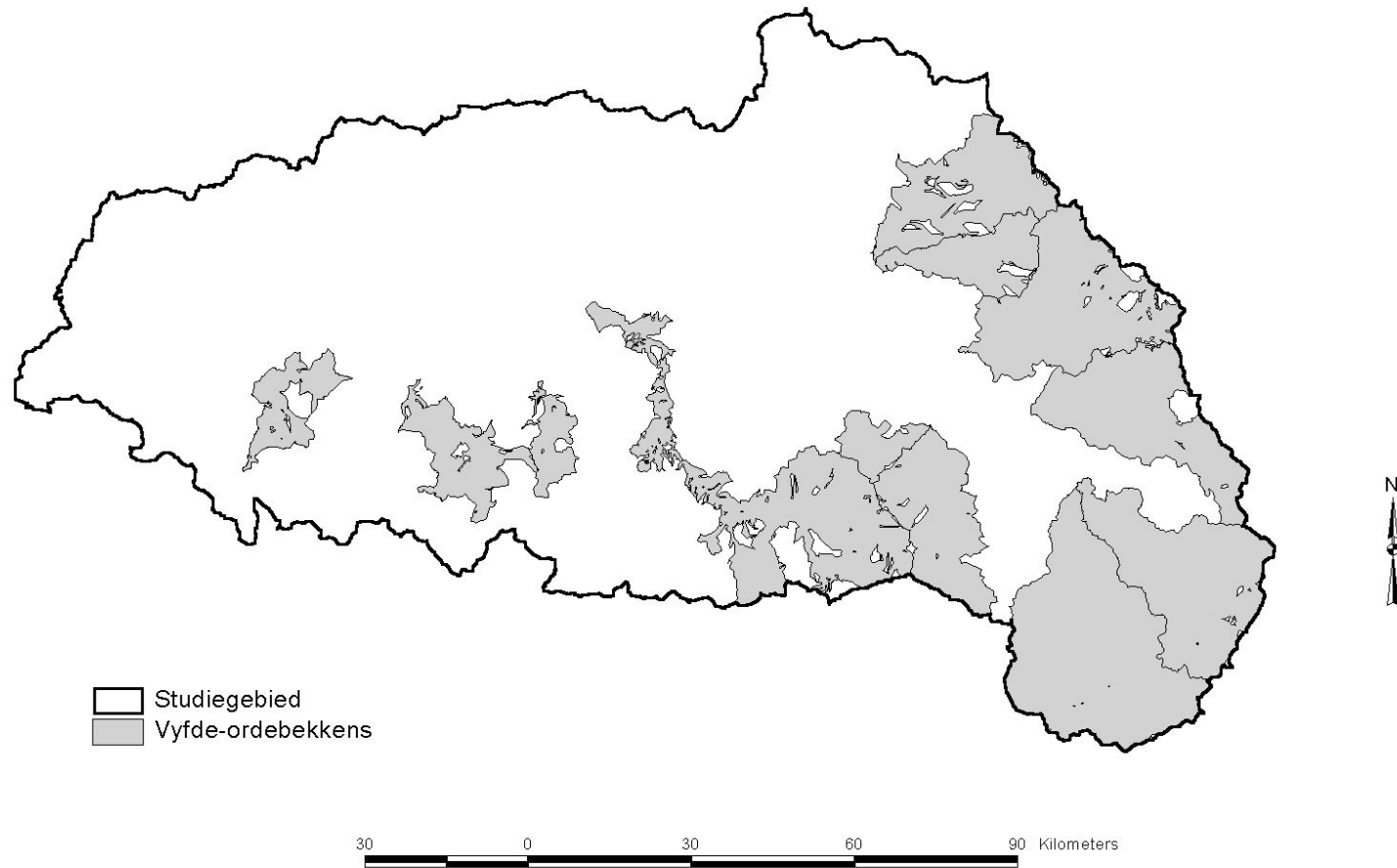
Figuur 5.14b Tweede-ordredreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



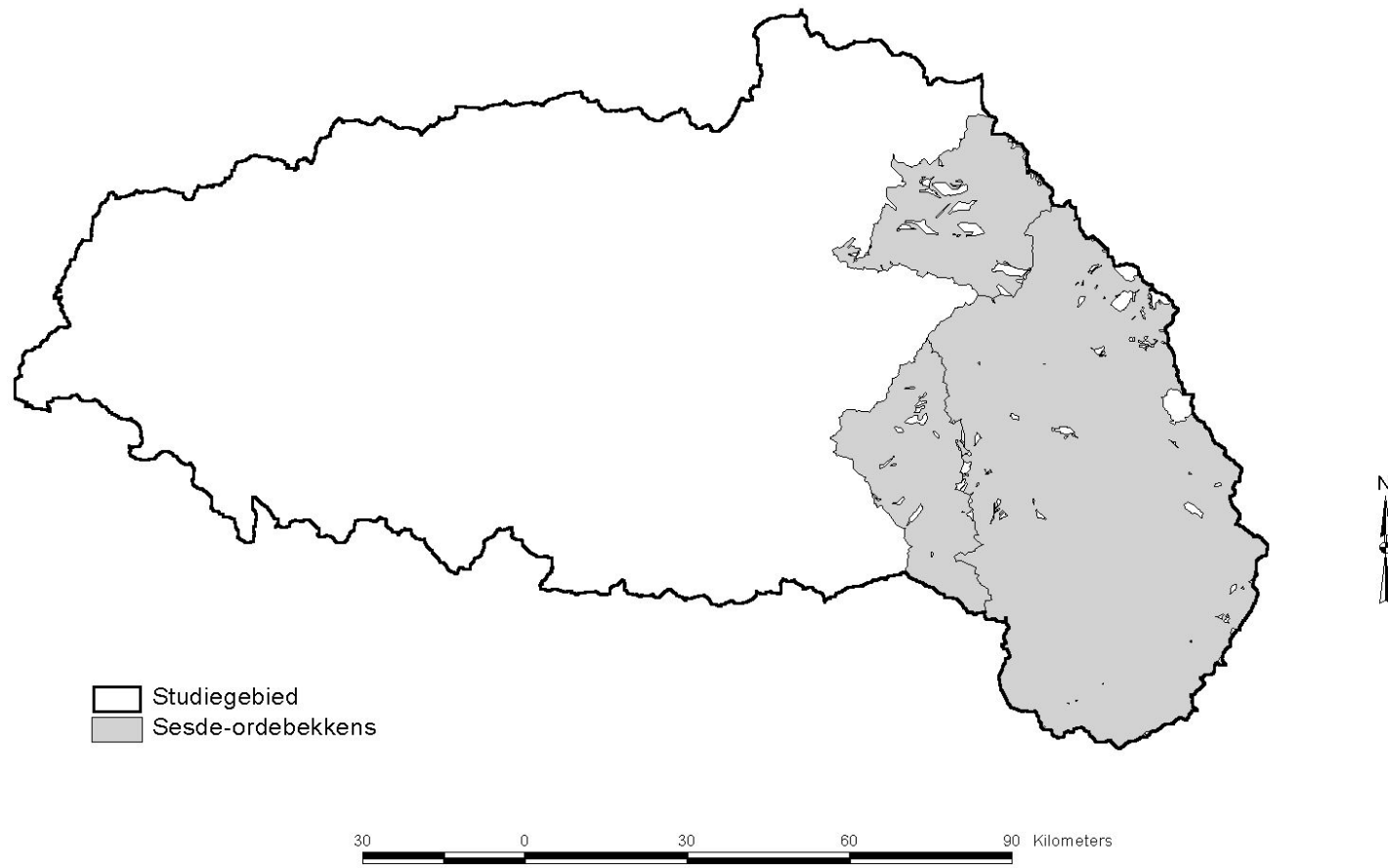
Figuur 5.14c Derde-ordreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



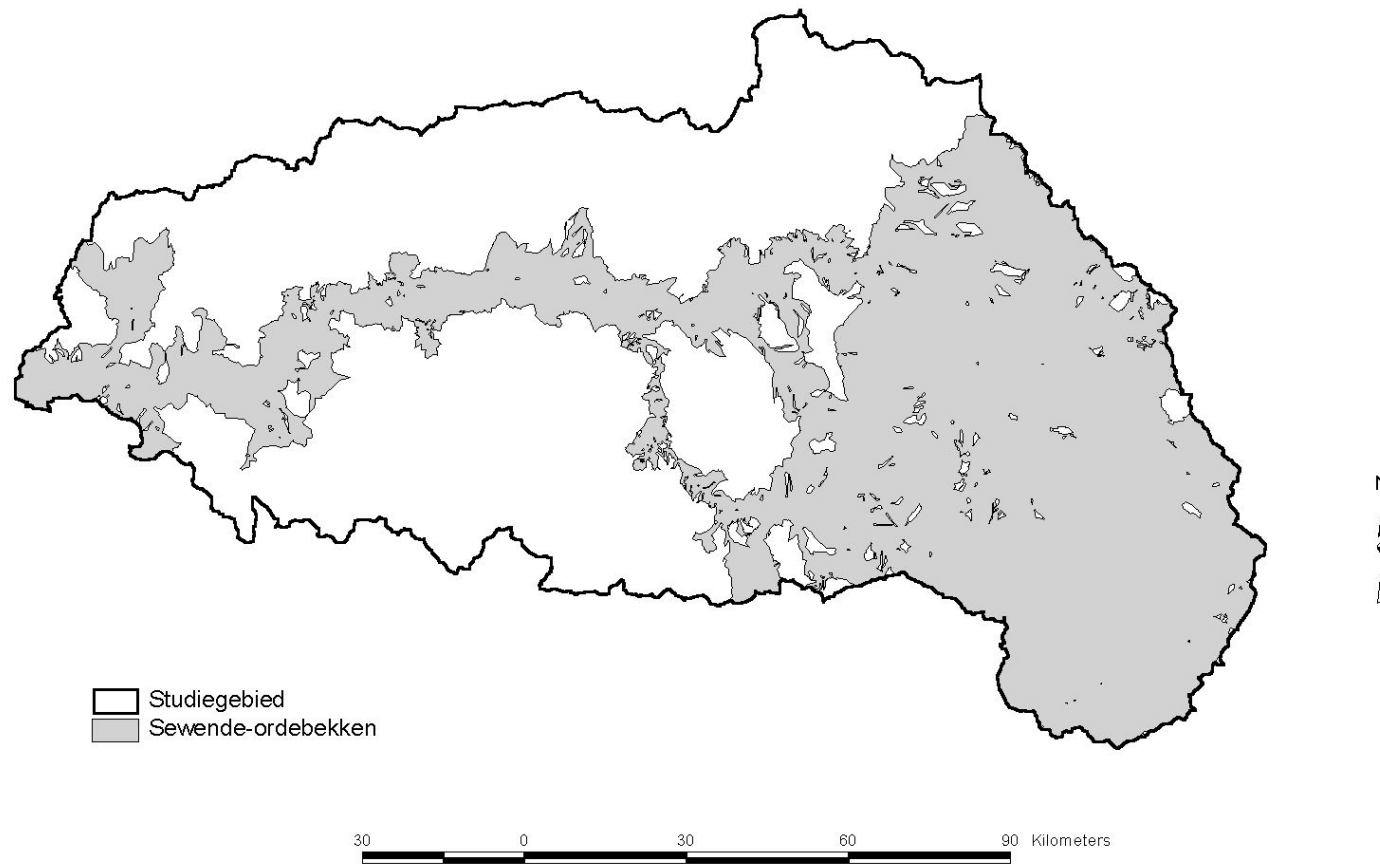
Figuur 5.14d Vierde-ordreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



Figuur 5.14e Vyfde-ordedreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



Figuur 5.14f Sesde-orddreineringsbekkens in die Modderrivieropvanggebied



Figuur 5.14g Die sewende-orddreineringsbekken in die Modderrivieropvanggebied

### 5.3 Onttrekking van bekkenparameters

Ten einde die volgende gedeelte van die proefskrif in perspektief te stel, is dit gepas om hier eers te verduidelik watter bekkens gebruik is vir analise. Die beskikbaarheid van 'n rekenaar maak dit wel moontlik om die totale populasie van bekkens in 'n groot opvanggebied in analises te gebruik, maar dit is nie noodwendig 'n effektiewe werkswyse nie. Daar is op tweede-ordebekkers besluit omdat die groep sowat 56% van die studiegebied beslaan (tabel 5.6) en 91,9% van eerste-ordebekkers insluit. Aangesien groot gedeeltes van die opvanggebied nie deur bekkens van derde- en hoër-orde gedek word nie, is analises met hierdie bekkens sinloos (figuur 5.14). Hoewel waardes vir alle bekkens beskikbaar is, word slegs die waardes vir die tweede-ordebekkers gebruik. Beide raster- en vektordatamodelle is in die studie gebruik. Daar is dus van twee metodes gebruik gemaak om data te onttrek.

#### 5.3.1 Vektorgebaseerde parameters

Bekkenomtrek en bekkenoppervlakte is direk van die vormlêer verkry (bekkenoppervlakte sou ook bereken kan word deur die aantal selle in die bekken met die selgrootte te vermenigvuldig). Die aantal en die lengte van strome is verkry deur 'n ruimtelike koppeling tussen die bekkenvormlêer en die stroomvormlêer te doen en dan die lêer op die bekkennommer te sommer. Bekkenlengte is vanaf die bekkenvormlêer bepaal. Die vormparameters, bekkenverlenging, bekkensirkelvormigheid en die vormfaktor, asook die vloeilengte is met behulp van die rasterruitnet bereken maar kan ook met behulp van die vektordata bereken word. Dreineringsdigtheid is bereken deur die stroomlengte deur die bekkenoppervlakte te deel. Die eenheid ( $\text{m ha}^{-1}$ ) word gebruik om leesbaarheid te vergemaklik. Beskrywende statistiek vir tweede-ordebekkenparameters word in tabel 5.7 gegee en kaarte wat die waardes van die onderskeie parameters vir tweede-ordebekkers voorstel, word in bylae B getoon.

Tabel 5.7 Beskrywende statistiek vir enkele tweede-ordebekkenparameters

Parameter	Gemiddeld	Minimum	Maksimum	Standaardafwyking
Bekkenoppervlakte (ha)	542,44	65,23	2 796,00	389,72
Bekkenomtrek (m)	13 169,98	4 364,58	56 197,20	5 977,57
Bekkenlengte (m)	4 277,09	1 509,33	12 721,46	1 492,79
Stroomlengte (m)	4 843,88	156,07	30 650,00	3 683,23
Dreineringsdigtheid (m ha <sup>-1</sup> )	8,97	1,17	39,20	3,32
Vloeilengte (m)	6 349,06	1 857,11	301 350,20	13 626,92
Aantal strome	4,95	1,00	31,00	3,05
Sirkelvormigheid	0,27	0,035	0,60	0,11
Verlengingsverhouding	0,46	0,006	0,80	0,11
Vormverhouding	0,18	0,000	0,50	0,08

### 5.3.2 Rastergebaseerde parameters

Dertien van die parameters wat in die studie gebruik is, is in die vorm van ruitnette geskep. Die bedekkingsfaktor, erodeerbaarheidsfaktor en neerslagfaktor is uit vektordata geskep. Die erosiefaktor is die produk van die bedekkingsfaktor, die neerslagfaktor, die erodeerbaarheidsfaktor en die helling-lengteverhouding. ArcView se kaartrekenaar is hiervoor gebruik. Al die ander parameters is van die DTM afgelei. Roetines uit Arcflow Surface Water Model (Kohler, 2000) is hiervoor gebruik.

Alle rastergebaseerde parameters is met behulp van ArcView se soneopsomming-opdrag (summarize zones) onttrek. Die bekkenvormlêer is as insetpoligoon gebruik en die waardes vir elke parameterruitnet is volgens die bekkens as sones onttrek. Die statistiek wat onttrek is, is minimum, maksimum en gemiddeld vir elke parameter. Helling is ook in radiale bereken vir gebruik in verskeie van die afgeleide parameters.

Die oorsprong van die data word in tabel 5.8 aangedui. Dit is egter sinloos om die waardes vir die parameters in tabelvorm voor te stel en daarom word kaarte vir die parameters in bylae B ingesluit.

Tabel 5.8 Rastergebaseerde parameters

Parameter	Brondatastel
Benattingsindeks	Afgelei uit DTM
Helling (°)	Afgelei uit DTM
Helling-lengteverhouding	Afgelei uit DTM
Plankromming	Afgelei uit DTM
Profielkromming	Afgelei uit DTM
Reliëf	Afgelei uit DTM
Hoogte bo seevlak	Afgelei uit DTM
Sedimentvervoerindeks	Afgelei uit DTM
Stroomkragindeks	Afgelei uit DTM
Vloeiakkumulاسie	Afgelei uit DTM en vloeirigting
Erosie	Bereken vanaf P1 parameters
Bedekking	Grondgebruik en grondbedekking
Erodeerbaarheid	Landtipes
Erosiwiteit	Reënval

#### 5.4 Slotopmerking

In hierdie hoofstuk is getoon dat 'n dreineringsbekken suksesvol met behulp van 'n geografiese inligtingstelsel op 'n persoonlike rekenaar geanaliseer kan word. Die gebruik van die GIS het egter net gestrek tot die versameling en verwerking van ruimtelike data. 'n Tweede programmpakket moes wel nog gebruik word om die statistiese analise op bekkens en parameters te doen. Die gereedlike koppeling van die dataformaat tussen die pakkette was egter nie 'n onoorkomelike probleem nie en die resultate kon weer na die GIS uitgevoer word om die finale voorstelling van die analises te toon. In die volgende hoofstuk word die resultate van die analises bespreek en geïnterpreteer.

## HOOFSTUK 6 Data-analise en resultate

### 6.1 Inleidend

Tot dusver is aandag gegee aan die versameling en onttrekking van parameters wat moontlik gebruik kan word om die vorm van en prosesse in die Modderrivier-opvanggebied te verklaar. In die volgende gedeeltes word gekonsentreer op metodes waardeur getoon kan word dat daar 'n verwantskap tussen proses en vorm bestaan.

In die studie is drie tipes data ter sprake: *ruimtelike* data verskaf inligting oor die ligging van die objek, *attribuut*-data bevat inligting oor die objek self en *topologiese* data beskryf die verwantskap tussen objekte. Uit die literatuur blyk dat verskillende metodes gebruik word om dié tipes data te analiseer. Chorley noem reeds in 1972 (p3) verskeie voorbeelde waarin die toepassing van statistiese tegnieke suksesvol in geomorfologie gebruik is. Ebdon (1977:1) en Williams (1992:4) beskou statistiek as die vertakking van toegepaste wiskunde wat betrokke is in die interpretasie van numeriese inligting en word deur Cressie (1993:1) gesien as die wetenskap van onsekerheid. Konvensionele statistiek aanvaar dat datapunte onafhanklik is en nie deur mekaar beïnvloed word nie. Ruimtelike statistiek (of “geostatistiek” volgens Ingram, 199?) aanvaar net die teenoorgestelde (Longley, *et al.*, 1999:235). Getis (1999:240) staaf hierdie standpunt. Davis (1986:239) raak in sy boek aan die onsekerheid wat geoloë (aardwetenskaplikes) bind in terme van hulle waarneming van 'n gekose studieveld en omskryf geostatistiek as 'n spesifieke vertakking van toegepaste statistiek wat oorspronklik ontwikkel is om (ruimtelik gebonde) veranderinge in die aard van ertsliggame in myne te beskryf maar in ander wetenskappe ook 'n toepassing kan vind. Ruimtelike data-analise (Bailey & Gatrell, 1995:7) is gemik op die analise van waargenome data ten einde tot die basiese begrip vir prosesse, die ondersteuning vir verklarende hipoteses en moontlike voorspellings te kom. Daar is volgens hulle (p8) 'n duidelike onderskeid tussen **ruimtelike** en **nie-ruimtelike** data en die analise daarvan.

Jones (1997:18) onderskei tussen **statistiese** data wat gebruik word in die beskrywing van die nie-ruimtelike komponent van die inligting en data wat gebruik word om die **ruimtelike** aspekte soos ligging, dimensies, vorm, patroon, interaksie en verwantskap van die inligting te beskryf. Vanneste (1999) onderskei tussen statistiek en data-analise. Onder “**statistiek**” beskou sy tegnieke wat ten doel het om die verspreiding (verdeling) van “*ruimtelijke en ruimte-gebonden*” data te analiseer (deur tegnieke soos regressie, variansie en kovariansie) terwyl “**data-analise**” poog om die inligting te

vereenvoudig of te klassifiseer deur tegnieke soos faktor- en trosanalise. De Villiers (1981:77 en 93) gebruik faktor- en trosanalises in 'n studie van 'n opvanggebied "*om data met 'n groot hoeveelheid veranderlikes en variante te vereenvoudig en te organiseer in 'n meer hanteerbare struktuur*".

Verder word aanvaar dat geografiese inligtingstegnologie 'n belangrike rol in die hantering van geomorfometriese inligting kan speel (Band, 1999:528). Rogerson en Fotheringham (1994:1) merk op dat 'n geografiese inligtingstelsel nie absoluut noodsaaklik vir die ruimtelike analise van verskynsels is nie maar dat die gebruik van 'n GIS dit moontlik maak om die analise van data en die voorstelling van resultate "interaktief" te doen. So 'n koppeling tussen statistiese metodes en die voorstellingsvermoë van 'n GIS kan dalk verwantskappe aantoon wat andersins nie sigbaar sou wees nie.

Drie tegnieke is in die studie gebruik. Bekkenparameters is met behulp van faktoranalise geklassifiseer, bekkens is met behulp van trosanalises gegroepeer en die verwantskappe tussen parameters is met behulp van korrelasie- en regressieanalises ondersoek. In die volgende gedeeltes word dié tegnieke en die resultate daarvan beskryf.

## 6.2 Data-analise en resultate

### 6.2.1 Faktoranalise

Faktoranalise word beskou as 'n metode om groot hoeveelhede data te klassifiseer in verwante groepe of faktore. Volgens De Villiers (1981:78) is die korrelasie tussen veranderlikes binne 'n groep hoog terwyl die korrelasie tussen die groepe laag is. Vir hierdie studie is parameters met behulp van faktoranalise ontleed om te bepaal of die parameters wel gegroepeer kan word en indien wel, wat die betekenis van die groepering is.

Die proses is met behulp van CSS-Statistica uitgevoer. Die databasislêer (attribute) van die tweede-ordebekkers met die waardes van al die parameters is in CSS ingevoer en as 'n datalêer geberg. Hoofkomponente is gebruik as faktoronttrekkingsmetode en daar is van die Varimaxrotasiemetode gebruik gemaak (De Villiers, 1981:83). Swan en Sandilands (1995: 371) noem dat die keuse van die aantal faktore van die gebruiker afhang maar dat die aantal faktore 'n invloed op die resultaat kan hê. CSS het egter 'n maksimum van 12 faktore vir die totale datastel van

52 parameters onttrek. Drie parameters<sup>9</sup>, TPT\_min, POW\_min en FACC\_min toon geen variasie nie (0 vir alle bekkens) en is uit die analise gelaat. Die hoogste faktorbelading is telkens gebruik om 'n parameter in 'n faktor te plaas. 'n Inspeksie van die resultate het die vraag laat ontstaan of die datastel verder vereenvoudig kon word deur net die gemiddelde waardes van elke parameter te gebruik en hoe dit die verdeling sal beïnvloed. In die tweede analise is 'n maksimum van sewe faktore onttrek (tabel 6.9). Die tweede analise verklaar 82,5% (teenoor 84,5%) van die variansie in die datastel.

Die erodeerbaarheidparameter (K) en die benattingsindeks (WET) toon geen duidelike belading nie en 'n moontlike alternatiewe faktor word aangedui. Faktor 1 bestaan uit helling-lengteverhouding, reliëf en twee van die vervoerparameters (die stroomkrag- en sedimentvervoerindeks). Erodeerbaarheid word ook deur die analise hier ingesluit maar sou ook in faktor 4 geplaas kon word. Aangesien helling die komponent was waaruit die vervoerparameters bereken is, maak die verdeling sin. Faktor 2 bestaan uit die bekkens se beskrywingsparameters en die gemiddelde vloeiakkumulاسie. Faktor 3 is die bekkenvormparameters en dreineringsdigtheid wat 'n negatiewe verwantskap toon. Aangesien die hoogste reënval en die hoogste gedeeltes van die studiegebied albei in die ooste geleë is, is dit maklik om te verstaan hoekom faktor 4 erosiwiteit en hoogte bo seevlak saamgroepeer. Benattingsindeks word ook hier geplaas maar sou ook in faktor 6 gegroepeer kon word. Faktor 5 klassifiseer die erosiemodel en die bedekkingswaarde saam. Profiel- en plankromming en moontlik die benattingsindeks word as faktor 6 geklassifiseer. Uit hierdie groepering is dit duidelik dat plan-en profielkromming eerder as vormparameters beskou moet word en nie as vervoerparameters nie. Die enigste parameter in faktor 7 is die vloeilengte.

In die volgende gedeeltes word hierdie klassifikasie gebruik om die verwantskappe tussen die parameters te ondersoek.

---

<sup>9</sup> Die leser word vir die res van die hoofstuk verwys na die omskrywing van die parametersimbole in tabel 3.8. 'n Uitvoublad agter in die proefskrif verskaf dieselfde inligting.

Tabel 6.1 Faktorbelading vir tweede-ordebekkenparameters

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7
TPT	0,9399						
POW	0,9186						
SLDEG	0,8206						
LS	0,8639						
REL	0,7361						
K	-0,3992			-0,3460			
PERIMETER		0,8673					
HECTARES		0,9497					
COUNT		0,8715					
S_LENGTH		0,9556					
B_LENGTH		0,8966					
FACC		0,6644					
ELONG			0,9183				
CIRCLE			0,7069				
BV_SHAPE			0,9024				
DD			-0,6408				
R				0,8862			
ALT				0,8745			
WET				-0,4948		-0,4941	
C_LU					0,8918		
USLE_LU					0,8251		
PROF						0,9076	
PLAN						0,8833	
F_LENGTH							-0,8514
% variansie	19,09	19,75	12,86	9,59	6,45	10,35	4,43

### 6.2.2 Trosanalise

Ten einde die invloed van parameters op die ruimtelike verspreiding van bekkens te ondersoek, is van trosanalise gebruik gemaak. Die analyses is met CSS-Statistica uitgevoer. Dieselfde datastel as vir die faktoranalise is gebruik. Drie metodes van analise is in die sagteware beskikbaar; koppeling (joining), tweerigtingkoppeling (two-way joining) en k-gemiddeldes (k-means). Die aantal bekkens en parameters was te veel vir twee van die tegnieke en daar is van k-gemiddeldes gebruik gemaak as metode. Hierdie metode stel die gebruiker in staat om `n keuse uit te oefen wat die aantal trosse betref. `n Toets met die dendrogram vir vierde-ordebekke (N = 72) het

twalf trosse op `n koppelingsafstand van minder as tien getoon en daar is besluit om ook twalf trosse te gebruik vir die analise.

Die k-gemiddeldemetode begin met `n aantal ewekansige trosse en “skuif” dan die objekte (in dié geval bekkens) tussen die trosse om die veranderlikheid in die trosse te minimaliseer en tussen trosse te maksimaliseer.

Tabel 6.2 toon die gemiddeldes van die parameters in die 12 trosse. Die tabel is gegroepeer volgens die sewe faktore uit die vorige afdeling. Slegs die gemiddelde waardes van die parameters word voorgestel. Figuur 6.1 toon die verspreiding van die bekkenswaartepunte en standaardafwykingsellipsee vir die ruimtelike verspreiding van elk van die trosse. Die ruimtelike verspreiding van die trosse word in `n volgende afdeling bespreek.

As die gemiddeldes van elke parameter in `n tros van hoog na laag gerangskik word, is dit duidelik dat die helling/vervoerfaktor (faktor 1) en die faktor met die bekkenparameters (faktor 2) oorwegend gebruik is om die trosse af te baken. Van die uitstaande kenmerke is:-

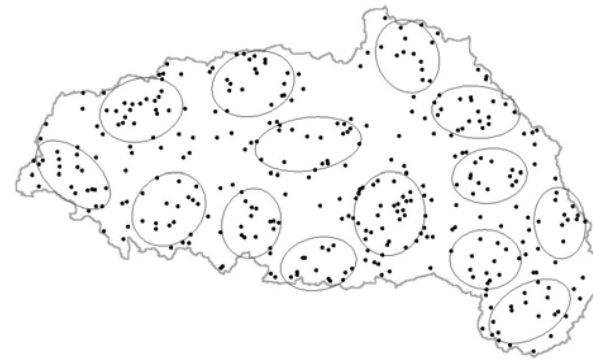
- Trosse 1 en 10 is in gebiede met hoë hellings en reliëf geleë en toon daarom ook die hoogste waardes vir die erosieparameter.
- Tros 6 toon die laagste waarde vir erosie en het dan ook die laagste gemiddelde waardes vir helling en vervoer. Die bekkens is ook oorwegend (60%) in die endoreïese gedeelte van die opvanggebied geleë.
- Trosse 8 en 11 toon die hoogste gemiddeldes vir die bekkenparameters en terwyl tros 8 `n redelike hoë waarde vir erosie toon, is die waarde vir tros 11 die derde laagste. 63% van tros 8 se bekkens is in die eksoreïese gebied en 53% van tros 11 se bekkens is in die endoreïese gebied geleë.
- Trosse 7 en 9 toon die laagste gemiddeldes vir die bekkenparameters en is ook die twee trosse met die hoogste aantal bekkens.

Tabel 6.2 Gemiddelde parameterwaardes vir 12 trosse

	Tros 1	Tros 2	Tros 3	Tros 4	Tros 5	Tros 6	Tros 7	Tros 8	Tros 9	Tros 10	Tros 11	Tros 12
Aantal bekkens	17	359	86	182	46	125	467	84	409	7	32	6
POW	51 825,85	1 091,02	303,18	1 536,76	16 876,73	200,96	830,97	2 371,69	826,52	161 125,3	440,51	293,06
TPT	75,3133	9,0644	5,1218	10,3650	38,0890	4,3964	7,7395	12,2180	7,7690	141,7861	5,8567	5,9814
LS	31,5725	2,6997	1,1318	3,1827	16,3388	0,9457	2,2154	3,8626	2,3742	42,6596	1,2701	1,1977
SLDEG	7,23	1,03	0,54	1,15	4,22	0,48	0,89	1,31	0,94	9,15	0,57	0,59
REL	335,54	70,23	57,91	91,82	205,01	42,40	53,43	117,79	43,21	458,91	76,32	54,07
K	0,1392	0,1776	0,1777	0,1764	0,1616	0,1778	0,1781	0,1786	0,1778	0,1247	0,1776	0,1810
S_LENGTH	4 496,03	5 257,03	8 128,33	8 597,20	5 197,54	4 351,43	2 952,32	14 343,57	1 596,34	3 871,57	15 801,63	6 025,66
HECTARES	492,39	564,22	844,80	918,01	554,29	491,60	359,76	1 506,32	234,51	385,40	1 633,58	699,59
B_LENGTH	3 946,88	4 559,68	5 873,94	5 657,46	4 118,16	4 585,31	3 631,89	7 450,64	2 816,44	3 547,35	7 906,30	5 191,46
COUNT	4,12	4,89	6,99	7,50	4,59	4,47	3,75	11,49	3,04	3,43	13,34	5,50
PERIMETER	11 260,51	12 899,45	23 273,29	16 425,49	11 728,87	17 346,47	10 553,24	23 376,55	7 657,33	9 253,94	38 896,82	19 153,36
FACC	44,79	53,62	71,43	69,13	58,36	54,02	44,40	92,37	33,69	40,62	109,08	58,64
ELONG	0,4962	0,4686	0,4150	0,4651	0,4915	0,4337	0,4641	0,4476	0,4929	0,5035	0,3846	0,0128
BV_SHAPE	0,1995	0,1805	0,1410	0,1778	0,1935	0,1561	0,1785	0,1637	0,1992	0,2100	0,1204	0,0001
CIRCLE	0,3115	0,2748	0,1317	0,2771	0,3128	0,1350	0,2708	0,2283	0,3274	0,3509	0,0943	0,1881
DD	9,23	10,07	10,28	10,18	9,49	9,58	8,68	9,98	6,97	10,31	9,98	8,10
ALT	1 525,14	1 329,96	1 289,50	1 334,71	1 434,79	1 279,96	1 309,57	1 339,57	1 301,56	1 598,97	1 291,85	1 342,46
R	194,46	146,14	138,45	148,49	175,17	136,04	142,52	146,65	138,98	200,24	140,28	149,86
WET	12,53	14,62	15,30	14,57	13,07	15,33	14,78	14,50	14,66	12,71	15,28	15,01
C_LU	0,1219	0,1292	0,1654	0,1222	0,1631	0,1622	0,1443	0,1136	0,1333	0,1752	0,1545	0,1988
USLE_LU	34,37	8,11	3,88	7,54	49,12	3,82	6,78	9,73	9,31	115,63	3,99	7,23
PROF	0,0086	0,0015	0,0008	0,0021	0,0086	0,0006	0,0013	0,0025	0,0015	0,0043	0,0008	0,0005
PLAN	0,0089	0,0015	0,0007	0,0021	0,0083	0,0005	0,0013	0,0025	0,0015	0,0076	0,0007	0,0005
F_LENGTH	5 057,54	5 803,67	7 996,32	7 618,23	5 341,71	5 890,15	4 688,36	10 000,8	3 571,06	4 355,42	12 141,9	236 745,8



Tros 1



Tros 2



Tros 3



Tros 4

Figuur 6.1 Swaartepunte en standaardafwykingsellipse van bekkens in trosse



Tros 5



Tros 6



Tros 7



Tros 8

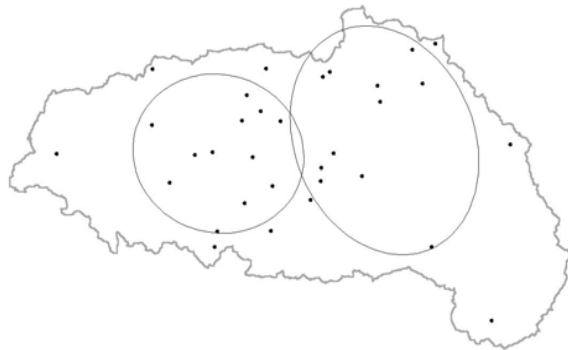
Figuur 6.1 Swaartepunte en standaardafwykingsellipse van bekkens in trosse (vervolg)



Tros 9



Tros 10



Tros 11



Tros 12

Figuur 6.1 Swaartepunte en standaardafwykingsellipse van bekkens in trosse (vervolg)

### 6.2.3 Ruimtelike statistiese analise

Ten einde 'n beeld te verskaf van die ruimtelike verspreiding van die bekkens in die studiegebied is twee verdere analises op die trosse uitgevoer. 'n ArcViewuitbreiding, "Spatial Statistics", is gebruik vir 'n naastebure-analise en CrimeStat vir 'n sekondêre trosanalise. Die naastebure-analise van die bekkens toon (tabel 6.3) dat bekkens in twee trosse (7 en 11) reëlmatig versprei is, in vier trosse is die bekkens gegroepeer (1, 5, 9 en 10) terwyl die verspreiding van die bekkens in die res as ewekansig beskou word.

Tabel 6.3 Rangskikking van bekkens binne trosse

Tros	N	Z	R	Rangskikking	Sekondêre trosse
1	17	-3,19	0,59	Gegroepeer	2
2	359	0,16	1,00	Ewekansig	14
3	86	1,19	1,06	Ewekansig	5
4	182	0,94	1,03	Ewekansig	10
5	46	-4,85	0,62	Gegroepeer	3
6	125	0,14	1,00	Ewekansig	6
7	467	2,17	1,05	Reëlmatig	8
8	84	0,03	1,00	Ewekansig	6
9	409	-1,97	0,94	Gegroepeer	10
10	7	-2,65	0,47	Gegroepeer	1
11	32	2,12	1,19	Reëlmatig	2
12	6	0,21	1,04	Ewekansig	-

Die sekondêre trosanalise is ook met behulp van die k-gemiddelde metode uitgevoer. Daar is gepoog om die maksimum aantal sekondêre trosse in elkeen van die oorspronklike trosse te verkry. Om die rede is die analises dikwels meer as een maal uitgevoer totdat die program nie meer trosse as gespesifiseer kon onttrek nie. Die standaardafwykingsellipse (SAE) (figuur 6.1) toon die langste as in die rigting van hoogste dispersie. Gong (2002:163) argumenteer dat twee eienskappe van die SAE die rangskikking van geografiese eenhede in ruimte kan beskryf. Die verhouding tussen die kort- en die lang-as van die ellips beskryf die kompaktheid (Ebdon, 1977:119) van die voorwerpe terwyl die oppervlakte van die SAE 'n aanduiding van die digtheid van die voorwerpe gee.

### 6.3 Verwantskappe tussen parameters

Die gebruik van korrelasiekoëffisiënte is nie vreemd aan geomorfologie nie. Die beginsel is reeds deur Horton (1945) in die formulering van sy “wette” gebruik.

Alhoewel die faktoranalise reeds die bekkenparameters in korrelerende faktore geklassifiseer het, is daar tog nog probeer om die korrelasies tussen parameters uit verskillende faktore te toets. Die liniêre verwantskappe (Pearson se produk-momentkorrelasie) tussen parameters is met behulp van CSS-Statistica ondersoek. Tabelle 6.4 tot 6.7 toon die verwantskappe tussen parameters. Alle korrelasiekoëffisiënte word getoon en koëffisiënte wat nie betekenisvol is nie ( $p < 0,05$ ) word tussen hakies geskryf.

Tabel 6.4 toon die verwantskappe tussen die bekkenparameters. Vloeilengte korreleer negatief met die vormparameters en toon swak verwantskappe met die oppervlakte, omtrek, aantal strome, stroomlengte en bekkenlengte. Dreineringsdigtheid het 'n merkbare korrelasie met die vormparameters en so ook helling en hoogte bo seevlak.

Uit tabel 6.5 kan nie eintlik gevolgtrekkings gemaak word nie aangesien parameters soos vloeiakkumulاسie gebruik is om die bekkens oorspronklik af te baken. Helling is gebruik vir die berekening van die ander vyf parameters.

Die belangrikste verwantskappe word in tabel 6.6 en 6.7 getoon. Die parameters wat hier ter sprake is, is onafhanklik van mekaar bepaal. Hoogte bo seevlak toon die beste korrelasie met al die prosesparameters maar kan verklaar word deur die verwantskap tussen hoogte en helling. Die hoogste korrelasie van die erosieparameter is met helling en hoogte maar 'n klein verwantskap kom met die vormparameters voor waarvan die beste met die bekkensirkelvormigheid is. Die erodeerbaarheidparameter korreleer negatief met helling.

Soos te wagte kan wees kom die beste verwantskappe tussen die helling/lengte-verhouding en die vervoerparameters voor. Die erodeerbaarheidparameter korreleer negatief met die vervoerparameters, wat moontlik verklaar kan word deur die verspreiding van gronde met 'n lae K-waarde in gebiede waar die vervoer-, stroomkrag- en krommingsindekse hoog is soos kleierige gronde in die omgewing van doleriet heuwels.

Uit die tabelle is dit egter duidelik dat bekkenparameters, met die uitsondering van helling en moontlik die drie vormparameters, nie goeie verwantskap met die erosiemodel toon nie.

Tabel 6.4 Korrelasiekoëffisiënte tussen bekkenparameters

	F_LENGTH	BV_SHAPE	CIRCLE	ELONG	PERIMETER	HECTARES	DD	SLDEG	ALT	COUNT	S_LENGTH
BV_SHAPE	-0,202										
CIRCLE	-0,092	0,543									
ELONG	-0,314	0,982	0,550								
PERIMETER	0,179	-0,214	-0,535	-0,215							
HECTARES	0,143	0,079	(-0,024)	0,090	0,755						
DD	(0,026)	-0,396	-0,453	-0,414	0,233	(-0,016)					
SLDEG	(-0,030)	0,195	0,266	0,197	-0,114	0,052	(0,001)				
ALT	(0,021)	0,214	0,245	0,210	(-0,031)	0,161	-0,108	0,538			
COUNT	0,112	0,069	(-0,039)	0,080	0,658	0,850	(0,017)	(0,002)	0,077		
S_LENGTH	0,148	-0,097	-0,199	-0,088	0,810	0,908	0,316	(0,045)	0,086	0,802	
B_LENGTH	0,164	-0,210	-0,324	-0,204	0,799	0,822	0,242	(-0,039)	0,092	0,685	0,860

Tabel 6.5 Korrelasiekoëffisiënte tussen bekken- en prosesparameters

	TPT	PROF	POW	FACC	WET	PLAN
F_LENGTH	(-0,018)	(-0,023)	(-0,014)	0,116	(0,032)	(-0,023)
BV_SHAPE	0,138	0,121	0,057	-0,321	-0,306	0,119
CIRCLE	0,212	0,172	0,105	-0,348	-0,412	0,176
ELONG	0,139	0,128	0,059	-0,327	-0,309	0,127
PERIMETER	-0,078	-0,059	-0,054	0,596	0,185	-0,066
HECTARES	0,059	0,058	(0,0005)	0,535	-0,082	0,055
DD	(0,023)	(0,031)	(0,025)	0,393	0,107	(0,042)
SLDEG	0,933	0,671	0,668	(-0,011)	-0,781	0,686
ALT	0,509	0,224	0,279	(-0,035)	-0,625	0,233
COUNT	(0,012)	(0,019)	(-0,028)	0,437	(-0,036)	(0,016)
S_LENGTH	0,059	0,069	(0,008)	0,639	(-0,032)	0,069
B_LENGTH	(-0,002)	(-0,032)	(-0,027)	0,619	0,072	(-0,031)

Tabel 6.6 Korrelasiekoëffisiënte tussen bekken- en erosieparameters

	K	R	C_LU	LS	USLE_LU
F_LENGTH	(0,021)	(0,017)	(0,024)	(-0,027)	(-0,011)
BV_SHAPE	-0,091	0,201	-0,050	0,163	0,111
CIRCLE	-0,089	0,223	-0,054	0,219	0,144
ELONG	-0,091	0,199	-0,054	0,165	0,111
PERIMETER	(0,026)	(-0,012)	(0,027)	-0,096	-0,060
HECTARES	(-0,029)	0,145	(-0,038)	(0,041)	(0,019)
DD	(0,025)	-0,156	(0,012)	(0,015)	-0,047
SLDEG	-0,348	0,378	(-0,010)	0,989	0,352
ALT	-0,302	0,859	0,234	0,488	0,297
COUNT	(0,011)	0,066	(-0,028)	(-0,006)	(-0,015)
S_LENGTH	(-0,003)	0,058	(-0,033)	(0,041)	(-0,006)
B_LENGTH	(0,005)	0,092	(0,006)	(-0,035)	(-0,029)

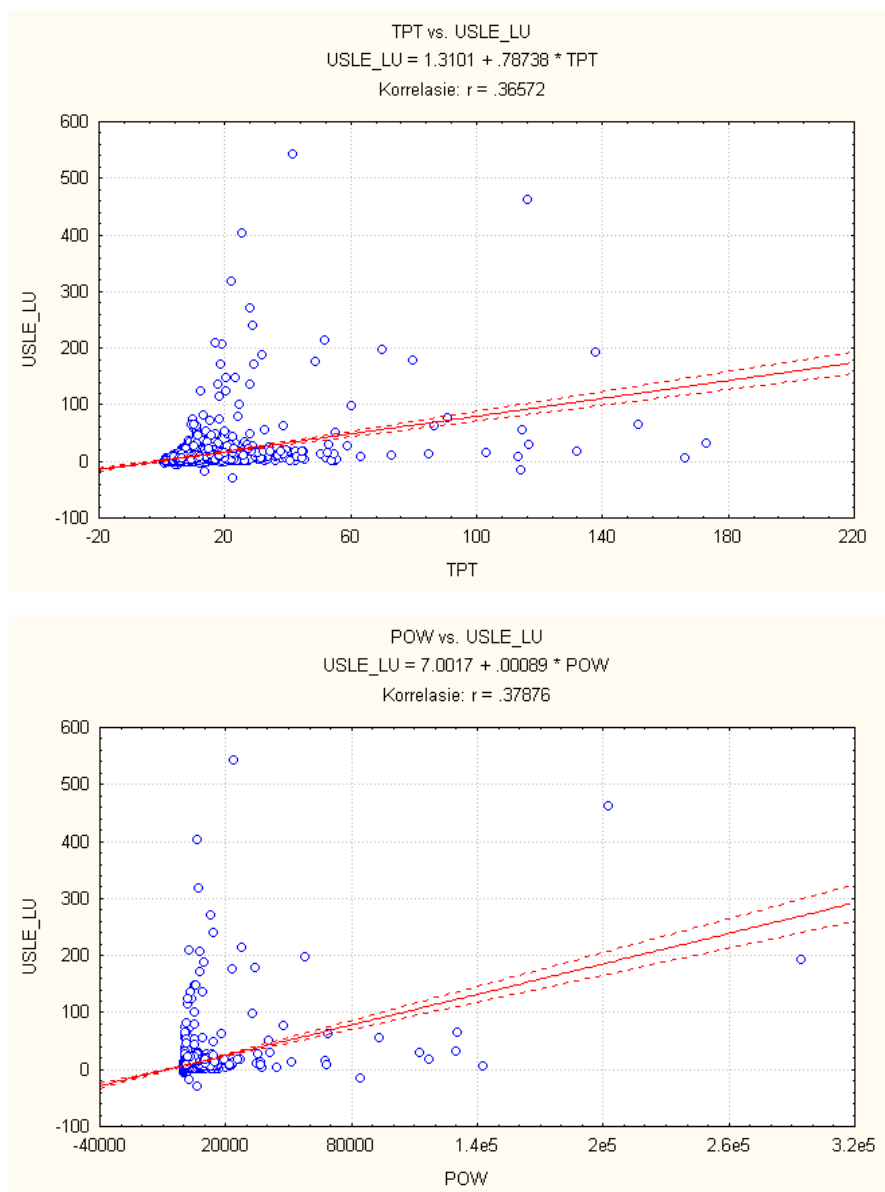
Tabel 6.7 Korrelasiekoëffisiënte tussen proses- en erosieparameters

	K	R	C_LU	LS	USLE_LU
TPT	-0,354	0,364	(0,013)	0,945	0,366
PROF	-0,121	0,087	-0,054	0,647	0,214
POW	-0,244	0,194	(0,039)	0,724	0,379
FACC	(0,007)	-0,056	(-0,019)	(-0,004)	(-0,045)
WET	0,260	-0,445	(-0,016)	-0,693	-0,274
PLAN	-0,127	0,093	-0,056	0,665	0,217

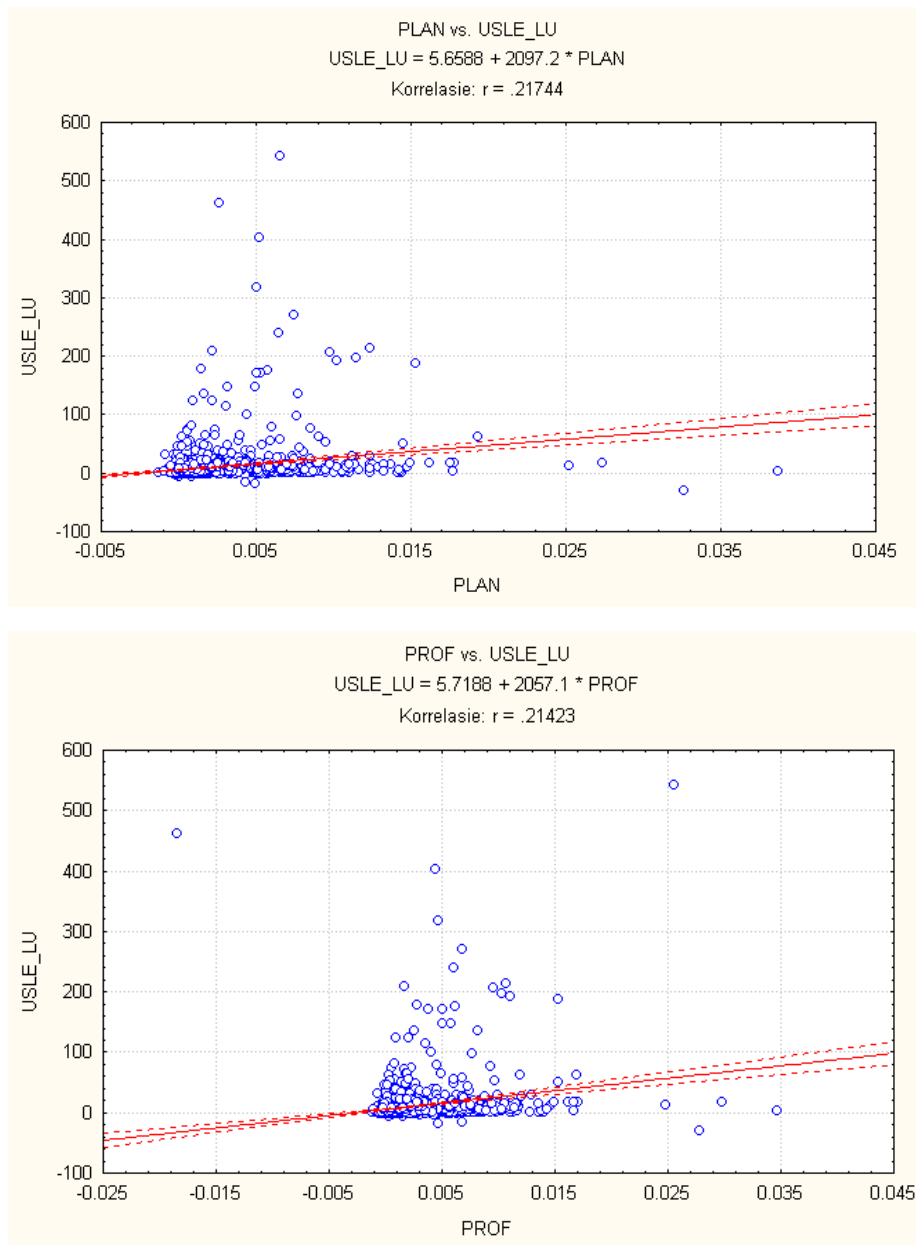
## 6.4 'n Ontwikkelingsmodel vir die Modderrivieropvanggebied

### 6.4.1 Statistiese verwantskappe

Die laaste kolom van tabel 6.7 toon die verband tussen die erosiemodel en die prosesparameters. Hierdie korrelasies is 'n aanduiding van die verwantskap tussen erosieprosesse en die moontlike resultaat daarvan. Die hoogste korrelasie bestaan tussen die erosiemodel en die vervoerparameters (figuur 6.2) met 'n kleiner verwantskap tussen die erosiemodel en die twee vormparameters (figuur 6.3). Laasgenoemde toon dat daar wel 'n verband tussen erosie en landvorm bestaan. Die vergelyking van die regressiekrommes dui die wiskundige verband tussen die parameters aan.

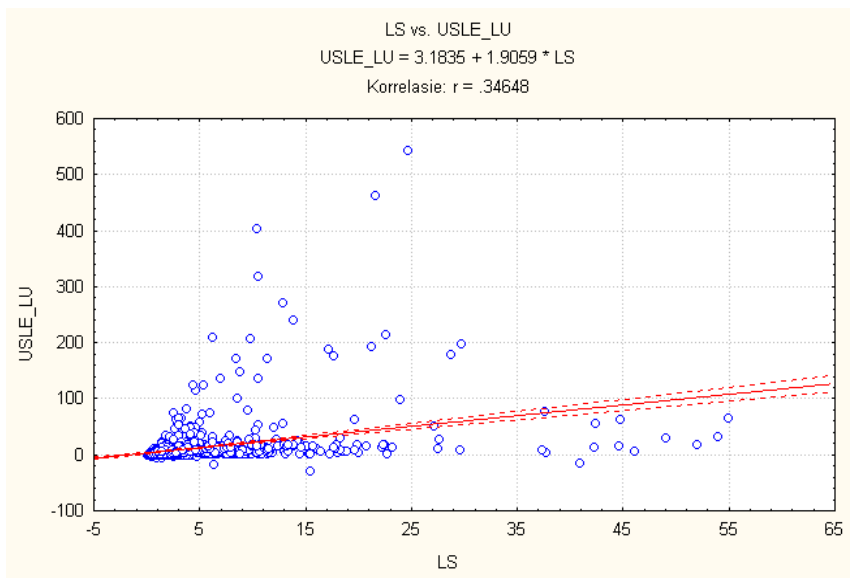
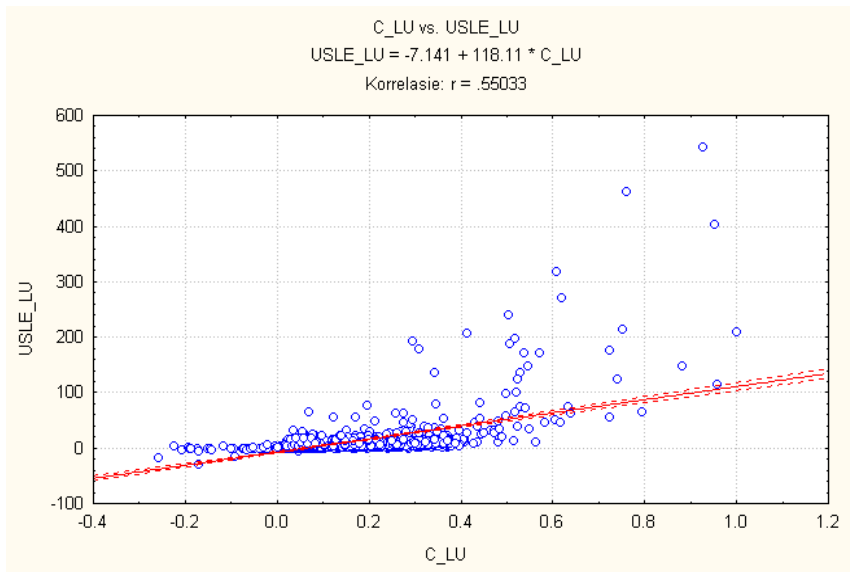


Figuur 6.2 Regressiekrommes vir die erosiemodel met vervoerparameters

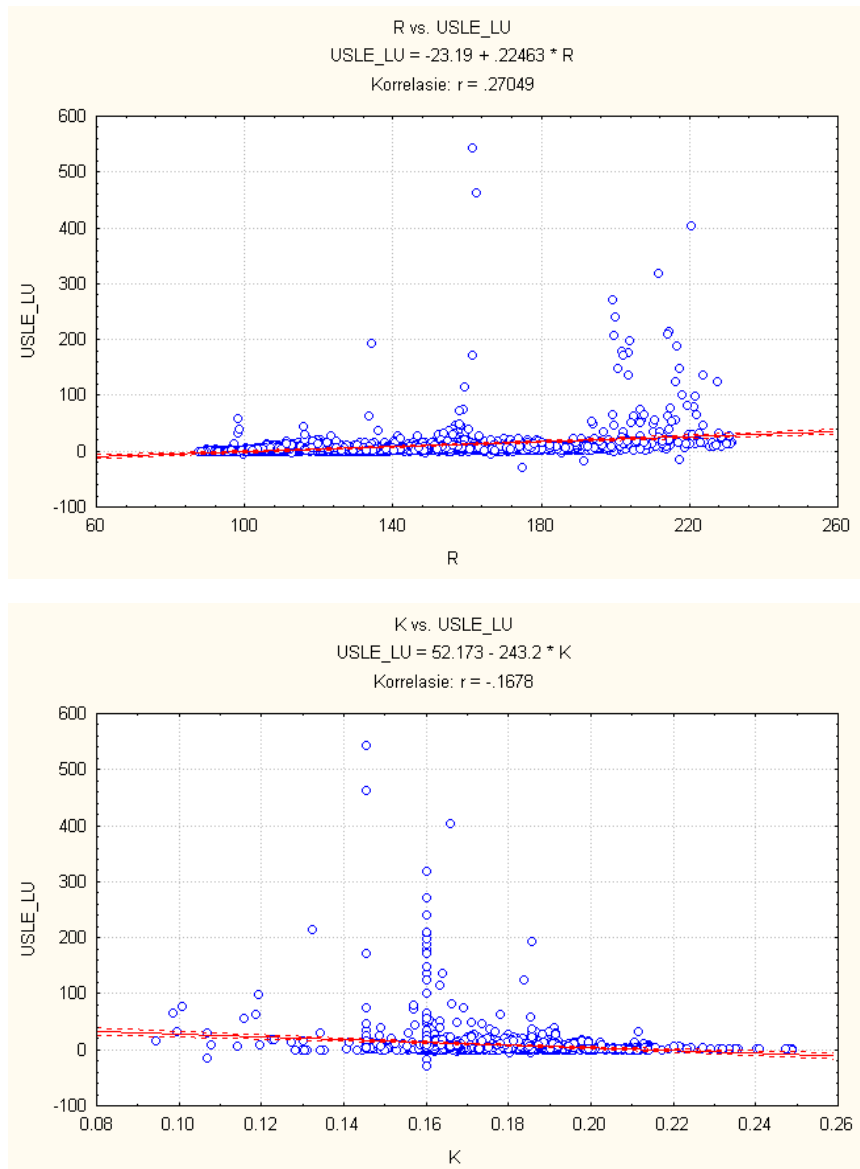


Figuur 6.3 Regressiekrommes vir die erosiemodel met twee vormparameters

Die laaste aspek waarna gekyk kan word, is die verband tussen die erosieparameters en die model as sodanig. Figuur 6.4 toon die regressiekrommes en die korrelasiekoëffisiënte. Uit tabel 6.7 is dit duidelik dat die bedekkingsfaktor die beste korrelasie met die model toon, gevolg deur die helling/lengteparameter en die erosiwiteit. Soos met die vervoerparameters, korreleer die erodeerbaarheidsfaktor negatief met die model en die rede is vermoedelik dieselfde as hier bo genoem.

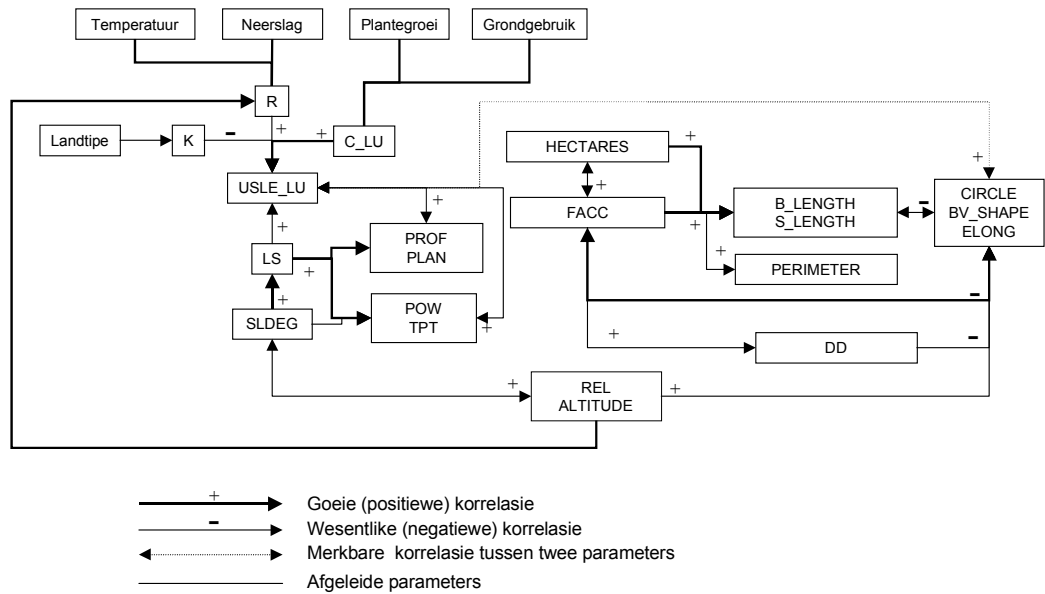


Figuur 6.4 Regressiekrommes vir die erosiemodel met erosieparameters



Figuur 6.4 Regressiekrommes vir die erosiemodel met erosieparameters (vervolg)

Uit figuur 6.3 blyk dit dat die meeste hange in die gebied konkaf is (positiewe profielkromming) en dat die hoogste erosiepotensiaal by 'n waarde van ongeveer 0,005 voorkom. Dieselfde geld vir plankromming. Die erodeerbaarheidswaarde toon die grootste verspreiding by 'n waarde van 0,16 wat dui op 'n baie fyn grondtekstuur wat dan 'n belangrike bydrae tot erosie lewer. 'n Skematiese voorstelling van die Modderrivieropvanggebied waarin die betrokke faktore aangedui word, word as figuur 6.5 ingesluit. Die figuur is 'n uitbreiding van figuur 4.3, die konseptuele model van die opvanggebied. Die erosiepotensiaal van die gebied word in figuur 6.6 voorgestel. Die figuur gee die waardes van die erosiemodel en is geklassifiseer op grond van die standaardafwyking vanaf die gemiddelde (7,984) vir die bekken.



Figuur 6.5 'n Ontwikkelingsmodel vir die Modderrivieropvanggebied

Uit die analise en die figure kom 'n paar aspekte na vore. Die eerste opvallende aspek is die duidelike verband tussen die grondbedekking en die erosiemodel. Hoewel hierdie verband grootliks antropogenies is, is dit onwaarskynlik dat 'n beter natuurlike grondbedekking in die gebied voorgekom het. Alle aanduidings bestaan dat die gebied gedurende die laaste 20 000 jaar 'n laer reënval as die huidige gehad het (Tyson & Preston-Whyte, 2000:314) wat 'n laer bedekking sou impliseer.

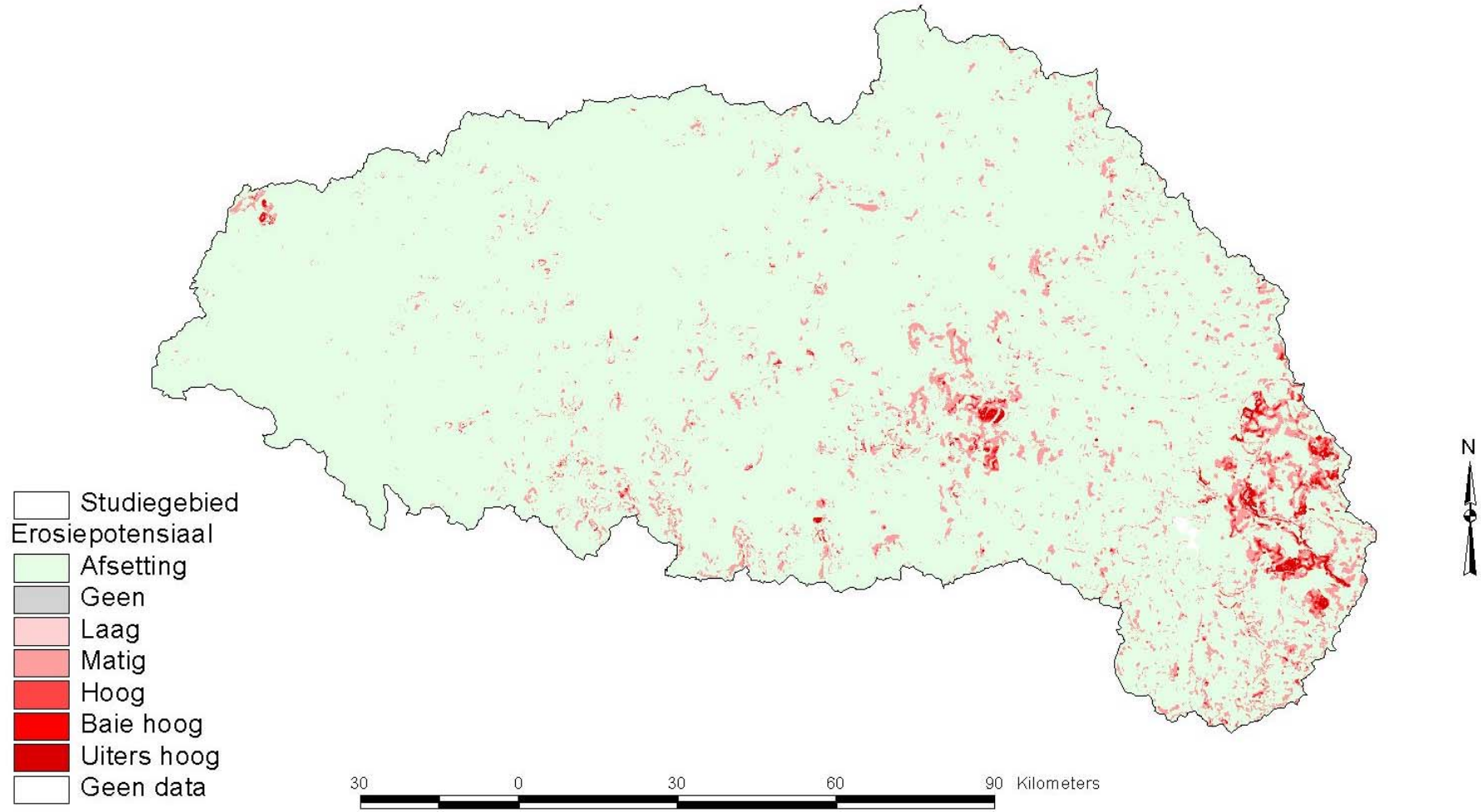
Uit die bespreking van die geomorfologiese ontwikkeling van die gebied (hoofstuk 2) is dit duidelik dat 'n groter mate van opheffing moontlik in die westelike gedeeltes van die studiegebied plaasgevind het. Hierdie opheffing impliseer 'n afname in effektiewe reliëf en daarmee saam 'n afname in erosiepotensiaal (vgl paragraaf 3.2.2.1). Die lae reliëf in dié gedeeltes het dan nog steeds 'n lae erosiepotensiaal tot gevolg. Die meer prominente reliëf, gekoppel aan weerstandbiedende gesteentes soos doleriet in die sentrale en ooste van die gebied, verhoog die erosiepotensiaal maar sedimentlewering word moontlik beperk deur die lae erodeerbaarheid van kleierige gronde. Huidige erosieprosesse blyk dus die aktiefste te wees in gebiede met hoë reliëf, hoë erodeerbaarheid en 'n lae bedekkingswaarde (figuur 6.6).

'n Dreineringsmodel van die Modderrivier sonder die invloed van panne (figuur 6.7) verskaf inligting oor die moontlike toekomstige aard van die opvanggebied. Die model toon die ligging van 'n hele paar groter sytakke vir die Modderrivier waarvan die

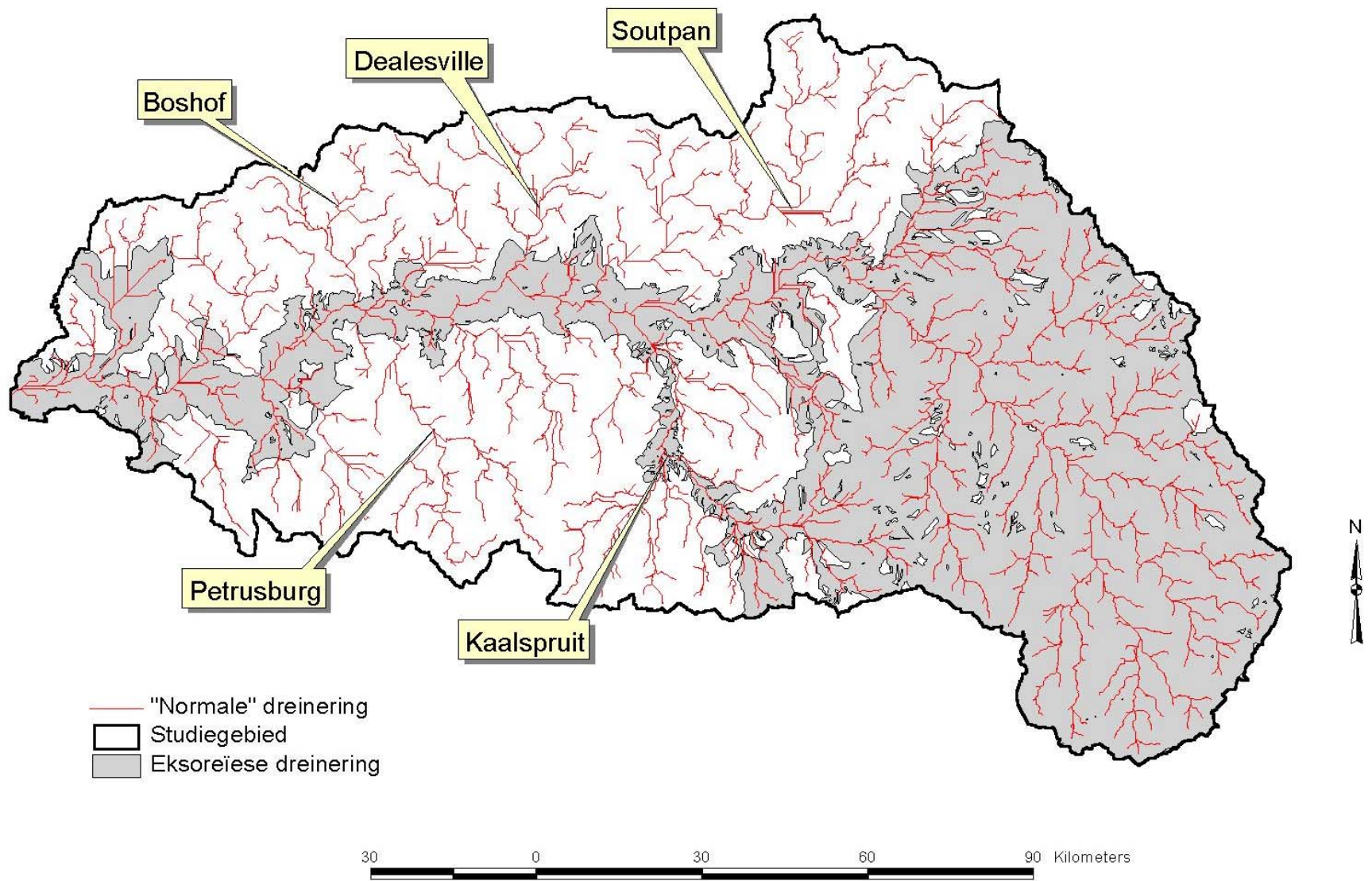
prominentste deur die huidige Soutpanomgewing loop. Verdere sytakke word in die Dealesville/Boshofomgewing en in die Petrusburggebied getoon. `n Vergelyking van hierdie gemodelleerde strome met die eksoreïese dreineringsgebied toon dat hierdie nuwe strome moontlik vanuit die huidige hoofstroom sou kon ontwikkel (soos wat moontlik die geval met die Kaalspruit is). Die gedagte word ondersteun deur `n opvallende ooreenkoms met hierdie gebiede en die verspreiding van die subtrosse van tweede-ordebekkens (trosse 7, 8 en 9 en spesifiek tros 6 in figuur 6.1). Tros 6 toon die laagste erosiewaarde wat sou kon beteken dat oppervlakerosie nie aanleiding sal gee tot kanaalontwikkeling nie. Figuur 6.8 toon die ligging van subtrosse 1, 2, 4, 5, en 6 met betrekking tot gepostuleerde sytakke van die Modderrivier)

## 6.5 Slotopmerking

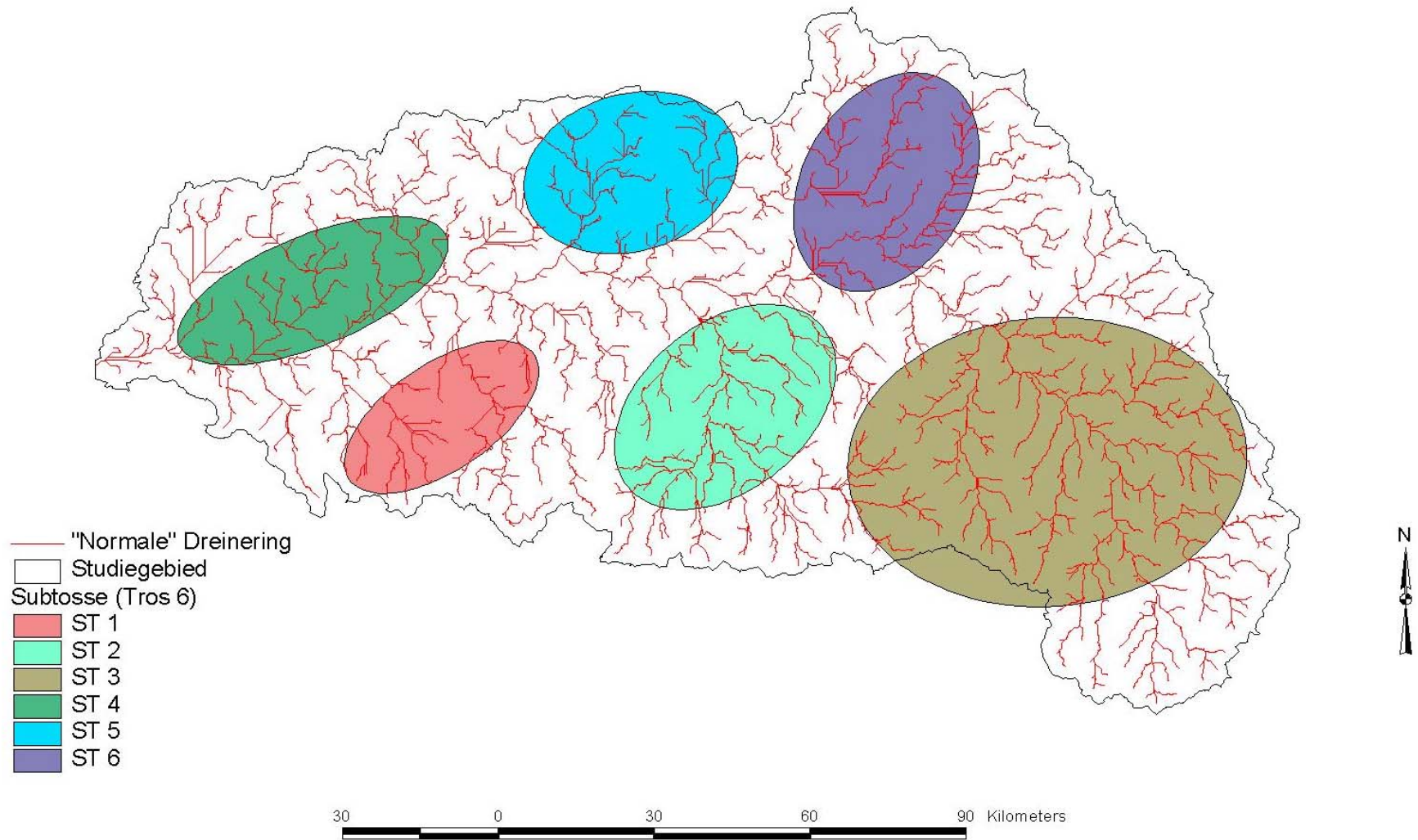
Met die analise van die gekose parameters is daarin geslaag om `n verband te toon tussen sekere vorm- en prosesparameters en potensiële erosie. Wat die omgewing betref is helling en grondbedekking die belangrikste aspekte wat erosie in die studiegebied beïnvloed (tabel 6.7). Profiel- en plankromming is die twee vormeienskappe van die landskap wat `n aanduiding gee van die erosiepotensiaal in die gebied (tabel 6.7). `n Model wat die huidige prosesse in die gebied verklaar en die moontlike toekomstige ontwikkeling van die dreineringsgebied postuleer, is gegee.



Figuur 6.6 Erosiepotensiaal in die Modderrivieropvanggebied



Figuur 6.7 'n "Normale" dreineringsmodel in vergelyking met eksoreïese dreineringsmodel



Figuur 6.8 \n Vergelyking met "normale" dreinerling en die ruimtelike verspreiding van bekens

## HOOFSTUK 7 Samevatting en gevolgtrekking

### 7.1 Inleidend

In hierdie hoofstuk word die belangrikste resultate van die studie saamgevat en die betekenis daarvan uitgelig. Die navorsing word geëvalueer aan die hand van die doelstellings en die hipotese wat aan die begin van die studie gestel is en sekere gevolgtrekkings en aanbevelings word gemaak. Moontlike velde vir verdere navorsing in die gebied word ook aangedui.

### 7.2 Resultate

Ten einde 'n moontlike verband tussen morfometrie en prosesse te ondersoek, is landvorme geïdentifiseer wat later met die eienskappe van verskillende prosesse vergelyk sou word. Die basiese landvorm wat gebruik is, die dreineringsbekken, is gekies omrede die landvorm maklik identifiseerbaar is en verskeie studies reeds oor die kwantitatiewe aard van etlike parameters uitgevoer is. Parameters is so gekies dat dit die aard van die dreineringsbekken sal weergee. Die dertien bekkenparameters (stroom-, bekken- en vormparameters) het voldoen aan die vereistes wat daaraan gestel is, naamlik om die studiegebied so volledig as moontlik te beskryf. Die elf parameters wat gebruik is in die analise van prosesse is in twee groepe verdeel. Die een stel prosesparameters is gebaseer op landvormeienskappe wat nie noodwendig met bakkens verband hou nie en 'n tweede groep was omgewingseienskappe uit 'n werkbare erosiemodel. Die parameters is geskik vir onttrekking deur 'n geografiese inligtingstelsel (afdeling 3.4).

Verder is daarin geslaag om gepubliseerde data sinvol aan te wend in die studie (afd. 4.7). Die data wat gebruik is, is vir die hele land beskikbaar en die metodologie kan dus ook in ander gebiede toegepas word.

Die gebruik van verskeie interpolasie metodes is in hoofstuk vyf geëvalueer en universele kriging met kwadratiese drywing het die beste resultate in die studiegebied gelewer (afd. 5.2.3). Daar is egter ook getoon dat die karakter van die terrein 'n belangrike invloed op die keuse van metode sal hê en hierdie resultaat moet met omsigtigheid in ander gebiede hanteer word.

Die konstruksie van 'n DTM vir die Modderrivieropvanggebied met stroom- en panetsing asook die daaropvolgende onttrekking van parameterwaardes word in

afdelings 5.2.4, 5.2.5 en 5.3 bespreek. Hierdie metodologie sou met sukses in ander gebiede toegepas kan word.

In hoofstuk ses word die resultate van die statistiese analises bespreek. Die parameters is met behulp van faktoranalise geklassifiseer. Die sewe faktore wat onttrek is, is:-

- Die twee vervoerindekse (TPT en POW) saam met helling, helling/lengte en reliëf;
- Die beskrywingsparameters van die dreineringsbekkens;
- Die vormparameters en dreineringsdigtheid;
- Erosiwiteit saam met hoogte bo seevlak;
- Erosiepotensiaal en bedekking;
- Twee vormparameters: plan- en profielkromming, en
- Vloeilengte.

Twee parameters, erodeerbaarheid en die benattingsindeks kon in meer as een faktor geplaas word.

Die klassifikasie van bekkens in trosse het gemengde welslae behaal. Sekere groepe bekkens kon geredelik aan een of meer faktore gekoppel word, maar enkele van die trosse het geen duidelike verband met die proses- of vormparameters getoon nie. Behalwe vir twee van die trosse was daar ook geen duidelike verspreiding van bekkens in die studiegebied nie. Met ruimtelike statistiese analise kon verder binne die trosse onderskei word en is die ruimtelike rangskikking en verspreiding van bekkens aangetoon.

Uit die analises blyk dit dat grondgebruik en -bedekking (natuurlik sowel as antropogenies) 'n belangrike, indien nie die belangrikste, komponent in die prosesse werksaam in die studiegebied is. Dié komponent is dan ook die enigste wat bestuur en beheer kan word.

### 7.3 Betekenis van die studie

In die inleidende hoofstuk is sekere vrae rondom geomorfologie en die bewaring en bestuur van die omgewing gestel om die formulering van die probleemstelling vir die studie te rig. Die meeste hiervan het betrekking gehad op water en grond as natuurlike hulpbronne. Om die betekenis van die studie toe te lig word daar in hierdie afdeling gepoog om antwoorde op sommige van die vrae te verskaf.

### 7.3.1 Geomorfologiese prosesse, bewaring en bestuur

Die beskikbare data ten opsigte van sedimentlewering (tabel 3.1) is gebaseer op die kwaternêre opvanggebiede en is te grof om die verspreiding van erosie op die skaal van die studie te ondersoek. Deur die USLE as basis vir 'n erosiemodel te gebruik is 'n detailkaart van die erosiepotensiaal in die studiegebied geteken (figuur 6.6). Daar is getoon dat sekere erosieprosesse (P2 parameters) en omgewingskomponente (P1 parameters) die erosiepotensiaal in die studiegebied kan verklaar. Hier speel veral die vervoerindeks (TPT), die stroomkragindeks (POW) en bedekking (C\_LU) 'n belangrike rol (tabel 6.7). Die resultate van die studie suggereer dat die sedimentlading in die Modderrivier nie noodwendig die gevolg is van oppervlakerosie nie (afd. 6.4.1). Grondbewaring en hulpbronbestuur in die opvanggebied sal waarskynlik net 'n mate van sukses behaal in die vermindering van die sedimentlading.

### 7.3.2 Geomorfologiese kartering

Morfometriese kartering as sulks (figure B1 tot B8) sal nie noodwendig 'n bydrae maak tot opvanggebiedbestuur nie, maar die resultate van die model wat vir die opvanggebied geskep is (figuur 6.6), sal wel 'n positiewe bydrae kon lewer. Met die hulp van GIS is nie net die resultaat van prosesse (erosiepotensiaal) gekarteer nie, maar kon daar ook na die ruimtelike verspreiding van prosesse self gekyk word (figure B9 tot B14). In kombinasie kan die gegenereerde kaarte wel sinvol aangewend word om sekere "probleemgebiede of -bekkens" in die studiegebied te identifiseer.

### 7.3.3 Metodologie

Met die studie as geheel is daarin geslaag om 'n toepaslike metodologie vir die ontlading van digitale dreineringsisteme en rivierontwikkeling (MODDER) te skep.

## 7.4 Doelstellings van die studie

Twee doelstellings is vir die studie gestel. Die eerste was 'n ondersoek na die verband tussen landvorm en proses en 'n begrip vir natuurlike sisteme. Die tweede doelstelling was die evaluering van geografiese inligtingstegnieke in geomorfologiese navorsing. In die volgende paragrafe word daar gekyk of die doelstellings bereik is.

#### 7.4.1 Die verband tussen die landskap en proses

Uit die literatuur wat vir die studie gebruik is, het dit geblyk dat daar een of ander verband tussen landvorm en proses behoort te wees. Die gebruik van die USLE as basis vir 'n erosiemodel vir die studie het gemengde sukses behaal. Die model kon wel toon waar 'n hoë erosiepotensiaal (figuur 6.6) bestaan, maar behalwe vir bekkensirkelvormigheid, kon 'n wesentlike verband tussen bekkenvorm *per se* en erosie nie getoon word nie. 'n Goeie verband met twee ander vormparameters, plan- en profielkromming, was wel duidelik.

Die eerste doelstelling van die studie is dus bereik: daar bestaan 'n verband tussen landvorme en prosesse in die Modderrivieropvanggebied en die fisiese omgewingsstelsel, soos in die konseptuele model van die opvanggebied uitgebeeld is, kon dus verklaar word (figure 6.2 tot 6.5).

#### 7.4.2 Geografiese inligtingstechnologie

Die geografiese inligtingstelselprogram is met sukses in die studie aangewend. Die gebruik van 'n persoonlike rekenaar en kommersiële sagteware kan aanbeveel word vir gebruik in geomorfologiese studies. Die konstruksie van 'n digitale terreinmodel vanaf geredelik beskikbare topografiese data was suksesvol. Verder is strome en panne met sukses in die DTM geïnkorporeer en die resultaat was 'n digitale terreinmodel wat die werklikheid met 'n groot mate van akkuraatheid weergee. Verfyning van sekere algoritmes, roetines en sagteware kan egter nog gedoen word. As voorbeeld geld die D8 algoritme, wat gebruik is in die afbakening van vloeielyne en dreineringsbekkens. Hierdie algoritme laat slegs parallelle en konvergente vloei toe terwyl 'n meer natuurlike vloeirigting vereis word. Van die ander beskikbare algoritmes kan moontlik aangepas word vir die sagteware wat in die studie gebruik is.

Nieteenstaande die tyd wat dit geneem het om 'n doeltreffende metodologie vir DTM-konstruksie te ontwikkel, het die tyd wat spandeer is aan die werklike konstruksie van die DTM, die onttrekking en die verwerking van data drasties verminder. Hierdie tegnieke kan dit in die toekoms moontlik maak om groter databasisse en in meer detail as tevore, te ondersoek.

#### 7.5 Verifiëring van die hipotese

Die hipotesestelling vir die studie lui eerstens dat 'n dinamiese metastabiele ewewig in die Modderrivieropvanggebied die koppeling tussen vorm en prosesse moontlik maak. Die hoeveelheid bekkens in die studiegebied met 'n konkawe profielkromming (afd.

3.4.5.1 en figuur 6.3), toon dat 'n vorm van ewilibrium wel bestaan. Die eerste gedeelte van die hipotese kan aanvaar word. Uit die bespreking van die eerste doelstelling vir die studie hierbo, is dit duidelik dat 'n verwantskap tussen landvorme en prosesse wel bestaan, maar dat dit nie noodwendig op bekkenvorm betrekking het nie. Die gebruik van die USLE-gebaseerde model kon die huidige prosesse werksaam (en die belang van grondbedekking en helling in die besonder) in die bekken verklaar. Deur voorts een van die komponente van die huidige landskap, die panne, uit die analoë model te laat, is daarin geslaag om 'n moontlike meganisme vir toekomstige ontwikkeling aan te toon. Die hipotese het verder ook daarin geslaag om die navorsing te rig.

## 7.6 Verdere navorsing

In die studie is geen aandag aan rivierwalle as moontlike sedimentbron gegee nie. Uit die resultate blyk dit egter dat die hoë sedimentlading wat in strome in die studiegebied voorkom moontlik eerder uit die rivierwalle afkomstig is, as vanaf die oppervlak van die bekken.

Die hoë korrelasie tussen die bedekkingsfaktor, waarby menslike aktiwiteite ingesluit is, en die erosiepotensiaal, toon die belangrike rol wat grondbedekking in die erosieproses speel. Hierdie faktor moet verder ondersoek word.

Daar moet verder ook aandag aan empiriese studies gegee word ten einde 'n meer volledige databasis vir erosie-navorsing te skep. Hierdie studies moet ook die invloed van windwerking op die erosieproses in die Modderrivieropvanggebied ondersoek.

Met dieselfde metode (MODDER) as wat in die studie gebruik is, kan die bakmaat van damme in die model geïnkorporeer word om, saam met infiltrasie, verdamping en onttrekking van water, die invloed op natuurlike afloop te modelleer en sodoende die verband tussen oppervlak en kanaalprosesse te ondersoek.

## Bronnelys

- ABLER, R., ADAMS, J.S. & GOULD, P. 1971: Spatial Organization: The Geographer's View of the World. Englewood Cliffs; Prentice-Hall.
- ACKERMAN, E.A. 1963: Where is a Research Frontier? *Annals of the Association of American Geographers*, 53(4): 429 - 440.
- ACOCKS, J.P.H. 1975: 1:1 500 000 Map of the Veldtypes of South Africa. Pretoria; Botanical Research Institute.
- ACOCKS, J.P.H. 1988: Veldtypes of South Africa. Memoirs of the Botanical Survey of South Africa No 40 (3<sup>rd</sup> ed.). Pretoria; Botanical Research Institute.
- ADLER, E. 1981: Ons Kwynende Bodem. *Ekos*, 3(1): 6 - 21.
- AHNERT, F. 1976: Brief description of a comprehensive three-dimensional process-response model of landform development. *Zeitschrift Für Geomorphologie N.F. Supplementband*, 25:29 – 49.
- AHNERT, F. 1998: Introduction to Geomorphology. London; Arnold.
- ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. 1990: Process determination in Time and Space. *In* Goudie, A. *et al.* (Eds) *Geomorphological Techniques* (2<sup>nd</sup> Ed). pp 17 – 29. London; Routledge.
- ANDREOLI, M.A.G., DOUCOURÉ, M., VAN BEVER DONKER, J., BRANDT, D. & ANDERSEN, N.J.B. 1996: Neotectonics of southern Africa – a review. *Africa Geoscience Review*, 3(1): 1 – 16.
- ARCVIEW Helplêers Die trefwoord na die verwysing is gebruik om die inligting te onttrek.
- ARMSTRONG, A.C. 1976: A three-dimensional simulation of slope forms. *Zeitschrift für Geomorphologie. N.F. Supplementband*, 25: 20 – 28.
- ARONOFF, S. 1989: Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa; WDL.
- ASPINALL, R.J. & PEARSON, D.M. 1996: Data Quality and Spatial Analysis: Analytical use of GIS in Ecological Modelling. *In* Goodchild, M.F., *et al.* (Eds) *GIS and Environmental modelling: Progress and research issues*. pp 35 – 38. Fort Collins; GIS World.
- ATKINSON, P.M. 1997: Geographical Information Science. *Progress in Physical Geography*, 21(4): 573 – 582.

- BAILEY, T.C. 1994: A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems. *In* Fotheringham, S. & Rogerson, P. (Eds) *Spatial Analysis and GIS*. pp 13 – 44. London; Taylor & Francis.
- BAILEY, T.C. & GATRELL, A.C. 1995: *Interactive Spatial Data Analysis*. Essex; Longman.
- BAKER, V.R. & PYNE, S. 1978: G.K. Gilbert and Modern Geomorphology. *American Journal of Science*, 278: 97 – 123.
- BAND, L.E. 1986 Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 22(1): 15 – 24.
- BAND, L.E. 1999: Spatial Hydrography and Landforms *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) *Geographical Information Systems (2<sup>nd</sup> Ed) Vol 1 Principles and Technical Issues*. pp 527 – 542. New York; Wiley.
- BARKER, C.H. 1985: `n Geomorfologiese Studie van die Mooirivieropvanggebied. Ongepubliseerde MSc Verhandeling. Potchefstroom; Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O.
- BASSET, K. 1994: Comments on Richards: The Problems of 'Real' Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19:273 – 276.
- BAUER, B.O. 1996: Geomorphology, Geography, and Science. *In* Rhoads, B.L. & Thorn, C.E (Eds) *The Scientific Nature of Geomorphology*. pp 381 – 417. Chichester; Wiley.
- BECKEDAHL, H.R., BOWYER-BOWER, T.A.S., DARDIS, G.F. & HANVEY, P.M. 1988: Geomorphic Effects of Soil Erosion *In* Moon, B.P. & Dardis, G.F. (Eds) *The Geomorphology of Southern Africa*. pp 249 – 276. Johannesburg; Southern.
- BERNHARDSEN, T. 1999: *Geographic Information Systems: An Introduction*. New York; Wiley.
- BLAIKIE, P. 1985: *The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries*. Essex; Longman.
- BLIGNAUT, P.J. & MESSERSCHMIDT, H.J. 1999: *Introduction to Programming*. Unpublished study material for Computer Science (RIS114). Bloemfontein; University of the Orange Free State.
- BOERINGA, M. 1999: Kriging Interpolator 2.0 for Spatial Analyst  
**URL:** <http://gis.esri.com/arcscripts/details.cfm?CFGRIDKEY=919067282>
- BOTHA, J.F., VERWEY, J.P., VAN DER VOORT, I., VIVIER, J.J.P., BUYS, J. COLLISTON, W.P. & LOOCK, J.C. 1998: *Karoo Aquifers. Their Geology, Geometry and Physical Properties*. Report to the Water Research Commission No 487/1/98. Pretoria; WRC.

- BRABYN, L. 1997: Classification of macro landforms using GIS. *ITC Journal*, 1997-1: 26 – 40.
- BRADSHAW, M. & WEAVER, R. 1993: *Physical Geography: An Introduction to Earth Environments*. St Louis; Mosby.
- BRASINGTON, J. & RICHARDS, K. 1998: Interactions between model predictions, parameters and DTM scales for TOPMODEL. *Computers & Geosciences*, 24(4): 299 – 314.
- BREDENKAMP, G. & VAN ROOYEN, N. 1996a: Moist Cool Highveld Grassland. *In* Low, A.B. & Rebelo, A.G. (Eds) *Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. p 43. Pretoria; Dept. Environmental Affairs and Tourism.
- BREDENKAMP, G. & VAN ROOYEN, N. 1996b: Dry Sandy Highveld Grassland. *In* Low, A.B. & Rebelo, A.G. (Eds) *Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. p 41 – 42. Pretoria; Dept. Environmental Affairs and Tourism.
- BRINK, A.B.A. 1983: *Engineering Geology of Southern Africa Vol 3 The Karoo Sequence*. Silverton; Building Publications.
- BRINK, A.B.A. 1985: *Engineering Geology of Southern Africa Vol 4 Post-Gondwana Deposits*. Silverton; Building Publications.
- BRUNSDEN, D. 1990: Tablets of Stone: toward the Ten Commandments of Geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie. N.F. Supplementband*, 79: 1 – 37.
- BURKE, K. 1996: The African Plate. *South African Journal of Geology*, 99(4): 341 – 409.
- BURROUGH, P.A. 1992: Are GIS Data Structures Too Simple Minded? *Computers and Geosciences*, 18(4): 395 – 400.
- BURROUGH, P.A. & McDONNELL, R.A. 1998: *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford; Oxford University Press.
- CARRARA, A., BITELLI, G. & CARLA, R. 1997: Comparison of Techniques for Generating Digital Terrain Models from Contour Lines. *International Journal for Geographical Information Science*, 11(5): 451 – 473.
- CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V. & REICHENBACH, P. 1991: GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427 – 445.
- CARTER, J.R. 1988: Digital Representations of Topographic Surfaces *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(11): 1577 – 1580.

- CHANG, K. & JANKOWSKI, P. 2001: Spatial Interpolation. Lecture Notes for Geography 475 S.i.; University of Idaho.  
**URL:** <http://geolibrary.uidaho.edu/courses/geog475/lectures/5/>
- CHORLEY, R.J. 1962: Geomorphology and the General Systems Theory. USGS Professional Paper, 500-B.
- CHORLEY, R.J. 1972: Spatial Analysis in Geomorphology *In* Chorley, R.J. (Ed) Spatial analysis in Geomorphology. pp 3 – 16. London; Methuen.
- CHORLEY, R.J. & KENNEDY, B.A. 1971: Physical Geography: A Systems Approach. London; Prentice-Hall.
- CHORLEY, R.J., BECKINSALE, R.P. & DUNN, A.J. 1973: The History of the Study of Landforms Vol 2. London; Methuen.
- CHORLEY, R.J., DUNN, A.J. & BECKINSALE, R.P. 1964: The History of the Study of Landforms Vol 1. London; Methuen.
- CHOU, G.T. 1989: dBase IV Handbook (3<sup>rd</sup> Ed). Carmel; Que.
- CHRISMAN, N. R. 1997: Exploring Geographic Information Systems. New York; Wiley.
- CHURCH, M. 1996: Space, Time and the Mountain — How do we order what we see? *In* Rhoads, B.L. & Thorn, C.E. (Eds) The Scientific Nature of Geomorphology. pp 147 – 170 Chichester; Wiley.
- CLARK, A.N. 1987: Longman Dictionary of Geography. Essex; Longman.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. 1990: Geomorphology in Environmental Management (2<sup>nd</sup> Ed.). Oxford; Clarendon Press.
- COOKS, J. 1974: Dreineringsdigtheid en Stroomfrekwensie in die Umbilo- en Umhlatuzana-rivierstelsels, Natal. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 77: 151 – 158.
- COOKS, J. 1976: Die Invloed van Litologie en Gebiedsgradiënt op die ontwikkeling van Dreineer komme in die omgewing van Durban: `n Morfometriese Studie. Ongepubliseerde DSc Proefskrif. Pretoria; Universiteit van Pretoria.
- COUCLELIS, H. 1999: Space, Time, Geography. *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) Geographical Information Systems (2<sup>nd</sup> Ed). Vol 1 Principles and Technical Issues. pp 29 – 38. New York; Wiley.
- CRESSIE, N.A.C. 1993: Statistics for Spatial Data (Revised Edition) New York; Wiley.

- DARDIS, G.F., BECKEDAHN, H.R. & STONE, A.W. 1988: Fluvial Systems *In* Moon, B.P. & Dardis, G.F. (Eds) *The Geomorphology of Southern Africa*. pp 30 – 56. Johannesburg; Southern.
- DAVIS, J.C. 1986: *Statistics and Data Analysis in Geology*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York; Wiley.
- DAVIS, W.M. 1954: *Geographical Essays*. [Johnson, D.W. (Ed) Republication of the 1909 Edition] London; Dover.
- DE SWART, A.M.J. & BENNET, G. 1974: Structural and Physiographic Development of Natal Since the Late Jurassic. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 77: 309 - 322.
- DE VILLIERS, A.B. 1981: 'n Kwantitatiewe analise van Sekere Morfolgiese Eienskappe in die Grootspuitopvanggebied in die Oranje Vrystaat. Ongepubliseerde PhD Proefskrif. Bloemfontein; Universiteit van die Oranje Vrystaat.
- DE VILLIERS, A.B. 1988: Morphology of the Mooi River Drainage Basin *In* Dardis, G.F. & Moon, B.P. (Eds) *Geomorphological Studies in Southern Africa*. pp 487 – 494. Rotterdam; Balkema.
- DE VILLIERS, G. DU T. 1975: Reënvalonderskeppingsverliese in die Republiek van Suid-Afrika — 'n Streekstudie. Ongepubliseerde D Phil Proefskrif. Bloemfontein; Universiteit van die Oranje Vrystaat.
- DE WIT, M.C.J. 1999: Post-Gondwana Drainage and the Development of Diamond Placers in Western South Africa. *Economic Geology*, 94:721 – 740.
- DEMEK, J. & EMBLETON, C. (Eds) 1978: *Guide to medium-scale geomorphological mapping*. IGU Commission on geomorphological survey and mapping. Stuttgart; Schweizerbart.
- DEMEK, J. (Ed) 1972: *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. IGU Commission on geomorphological survey and mapping. Prague; Academia.
- DEMERS, M.N. 2000: *Fundamentals of Geographic Information Systems* (2<sup>nd</sup> Ed). New York; Wiley.
- DESMET, P.J.J. 1997: *De Integrasie van Terreinanalyse en Erosiemodellering met Digitale Terreinmodellen en Geografiese Informatiesisteme: Moegelykheden en Beperkinge*. Ongepubliseerde PhD Proefskrif, Leuven; Katholieke Universiteit Leuven.
- DESMET, P.J.J. & GOVERS, G. 1995: GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information. *Catena*, 25: 389 – 401.

- DESMET, P.J.J. & GOVERS, G. 1996: Algorithms to route flow over Digital Landscapes: a comparison and their implications for predicting ephemeral gullies. *Géomorphologie: Relief, processus, environnement*, 1996 (3): 41 – 50.
- DIETRICH, W.E., WILSON, C.J., MONTGOMMERY, D.R. & McKEAN, J. 1993: Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks, and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model. *Journal of Geology*, 101: 259 – 279.
- DINGLE, R.V., SIESSER, W.G. & NEWTON, A.R. 1983: Mesozoic and Tertiary Geology of Southern Africa. Rotterdam; Balkema.
- DIXON, L.F.J., BARKER, R., BRAY, M., FARRES, P., HOOKE, J., INKPEN, R. MEREL, A., PAYNE, D. & SHELFORD, A. 1998: Analytical Photogrammetry for Geomorphological Research. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds) Landform Monitoring, Modelling and Analysis. pp 63 – 94. Chichester; Wiley.
- DOORNKAMP, J.C. & KING, C.A.M. 1971: Numerical Analysis in Geomorphology, An Introduction. New York; St. Martins.
- DOUGLAS, D.H. & PEUCKER, T.K. 1973: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Geographer*, 10(2):112 – 122.
- DU TOIT, A.L. 1933: Crustal Movements as a Factor in the Geographical Evolution of South Africa *South African Geographical Journal*, 16: 3 – 20.
- EASH, D.A. 1994: A Geographic Information System Procedure to Quantify Drainage-basin Characteristics. *Water Resources Bulletin*, 30(1): 1 – 8.
- EBDON, D. 1977: Statistics in Geography. A Practical Approach. Oxford; Blackwell.
- EICHENLAUB, B. 1998: be\_profiler.ave  
**URL:** <http://gis.esri.com/arcscripts/details.cfm?CFGRIDKEY=486049588>
- ELMQUIST, M. 1998: remdup.ave **URL:** [www.swegis.com](http://www.swegis.com)
- ELWELL, H.A. 1978: Modelling Soil Losses in Southern Africa. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23: 117 – 127.
- ENGEL, B. 1999: Estimating Soil Erosion Using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Using ArcView.  
**URL:** <http://abe.www.ecn.purdue.edu/~engelb/agen526/gisrusle/rusle.html>
- ENGELBRECHT, L.N.J. 1973: Die Geologie van die gebied tussen Kimberley en Barkly-Wes, Kaapprovinsie. Ongepubliseerde MSc Verhandeling. Bloemfontein; Universiteit van die Oranje Vrystaat.

- ESRI, [S.a.] Digital Chart of the World **URL:** <http://gis.esri.com>
- ESRI. 1996a: Using ArcView GIS. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 1996b: Using the ArcView Spatial Analyst. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 1996c: Using Avenue. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 1996d: ArcAtlas: Our Earth. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 1998: ESRI Shapefile Technical Description. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 1999: What is new in ArcView GIS v 3.2 Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. 2000: Understanding the ArcView Spatial Analyst Grid Model. Study material for "Introduction to ArcView Spatial Analyst"<sup>10</sup> Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- EVANS, I.S. 1990a: Cartographic Techniques in Geomorphology *In* Goudie, A. *et al.* (Eds) Geomorphological Techniques (2<sup>nd</sup> Ed). pp 97 – 108. London; Routledge.
- EVANS, I.S. 1990b: General geomorphometry *In* Goudie, A. *et al.* (Eds) Geomorphological Techniques (2<sup>nd</sup> Ed). pp 44 – 62. London; Routledge.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1968: Morphotectonics *In* Fairbridge R.W. (Ed) Encyclopedia of Earth Sciences, Vol. 3. Encyclopedia of Geomorphology. pp 733 – 736. Stroudsburg; Bowden, Hutchinson & Ross.
- FLEMING, A., SUMMERFIELD, M.A., STONE, J.O. FIFIELD, L.K. & CRESWELL, R.G. 1999: Denudation Rates for the Southern Drakensberg Escarpment, SE Africa, Derived from *in-situ*-produced <sup>36</sup>Cl: Initial Results. *Journal of the Geological Society of London*, 156: 209 – 212.
- FORTHERINGHAM, S. & ROGERSON, P. (Eds) 1995: Spatial Analysis and GIS. London; Tyler & Francis.
- GARBRECHT, J. & MARTZ, T.W. 1999: Digital Elevation Model Issues in Water Resources Modelling. Proceedings of the ESRI Users conference 1999.  
**URL:** <http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap866/p866.htm>

---

<sup>10</sup> Toegang tot hierdie materiaal is beperk tot geregistreerde studente van ESRI se "Virtual Campus". Die URL vir die materiaal word daarom nie in die bronnelys vermeld nie

- GARLAND, G.G. 1990: The Soil Spoilers. *In*: Indicator Project South Africa 1990 Rotating the Cube. pp 69 – 72. Durban; University of Natal.
- GELLERT, J.F. 1972: The Nature and Aims of Detailed Geomorphological Mapping *In* Demek, J. (Ed) Manual of Detailed Geomorphological Mapping. IGU Commission on geomorphological survey and mapping. pp 15 – 17. Prague; Academia.
- GETIS, A. 1999: Spatial Statistics *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) Geographical Information Systems (2<sup>nd</sup> Ed). Vol 1 Principles and Technical Issues. pp 239 – 251. New York; Wiley.
- GILCHRIST, A.R. & SUMMERFIELD, M.A. 1991: Denudation, isostasy and landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 555 – 562.
- GONG, J. 2002: Clarifying the Standard Deviation Ellipse. *Geographical Analysis*, 34(2):155 – 167.
- GOODCHILD, M.F. & LONGLEY, P.A. 1999: The future of GIS and spatial analysis. *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) Geographical Information Systems Vol 1 Principles and Technical Issues (2<sup>nd</sup> Ed) pp 567 – 580. New York; Wiley.
- GOUDIE, A. 1995: The Changing Earth: Rates of Geomorphological Processes. Oxford; Blackwell.
- GOUDIE, A., ATKINSON, B.W., GREGORY, K.J., SIMMONS, I.G. STODDART, D.R. & SUGDEN, D. (Eds) 1994: The Encyclopedic Dictionary of Physical geography (2<sup>nd</sup> Ed). Oxford; Blackwell.
- GOVERS, G. & VANNESTE, D. 1998: Geografische Informasiesystemen (GIS). Ongepubliceerde studiemateriaal met aanvulling en herwerking in 1991, 1993, 1996 en 1998 - Instituut voor Sociale en Economische Geografie. Leuven; Katholieke Universiteit Leuven.
- GREGORY, K.J. & WALLING, D.E. 1973: Drainage Basin Form and Process, a geomorphological approach. London; Edward Arnold.
- GROBLER, N.J., LOOCK, J.C. & BEHOUNEK, N.J. 1988: Development of Pans in Palaeodrainage in the north-western Orange Free State. *In* Heine, K. (Ed) Palaeoecology of Africa and the Surrounding Islands. Vol 19 pp 87 – 96. Rotterdam; Balkema.
- GRONDKLASSIFIKASIEWERKGROEP 1991: Grondklassifikasie. 'n Taksonomiese Sisteem vir Suid-Afrika. Pretoria; Departement van Landbou-ontwikkeling.

- GRUPE, F.H. 1990: Geographic Information Systems: An Emerging Component of Decision Support. *Journal of Information Systems Management*, 7(3): 74 – 79.
- GUISSARD, V. 2001: MILA Grid Utilities 1.2 Extension. Département des sciences du milieu et de l'aménagement du territoire. Louvain; Université catholique de Louvain.  
**URL:** <http://www.mila.ucl.ac.be/logistique/sig/sig-tools/milagrid/index.html>
- HACK, J.T. 1960: Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions. *American Journal of Science*, Bradley Volume (258-A): 80 – 97.
- HAINING, R. 1994: Designing Spatial Data analysis Modules for Geographic Information Systems. *In* Fotheringham, S & Rogerson, P. (Eds) *Spatial Analysis and GIS*. pp 45 - 63. London; Taylor & Francis.
- HARVEY, D. 1973: *Explanation in Geography*. London; Arnold.
- HELGREN, D.M. 1979: Relict Channelways of the Middle Orange River. *South African Journal of Science*, 75: 462 – 463.
- HEUVELINK, G.B.M. 1998: *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*. London; Taylor & Francis.
- HEYWOOD, I., CORNELIUS, S. & CARVER, S. 1998: *An Introduction to Geographical Information Systems*. Essex; Longman.
- HOFFMAN, T. 1996: Eastern Mixed Nama Karoo. *In* Low, A.B. & Rebelo, A.G. (Eds) *Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. p 53 – 54. Pretoria; Dept. Environmental Affairs and Tourism.
- HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. & COLLINS, J. 1997: *GPS, Theory and Practice*. (4<sup>th</sup> Ed) Vienna; Springer.
- HORTON, R.E. 1945: Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56: 275 – 370.
- HUGGET, R. 1980: *Systems Analysis in Geography*. Oxford; Oxford University Press.
- HUTCHINSON, M.F. 1989: A new procedure for gridding elevation and streamline data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211 – 232.
- HUTCHINSON, M.F. & GALLANT, J.C. 1999: Representation of Terrain *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) *Geographical Information Systems. Vol 1 Principles and Technical Issues* (2<sup>nd</sup> Ed) pp 105 – 124. New York; Wiley.

- IGKW Sien Instituut vir Grond, Klimaat en Water.
- INGRAM, P. 199?: An Introduction to Geostatistics  
**URL:** <http://137.111.98.10/users/pingram/geostat.html>
- INSTITUUT VIR GROND, KLIMAAT EN WATER 1984: Landtipes van die Kaarte 2626 Wes-Rand en 2726 Kroonstad. Pretoria; Landbou Navorsingsraad - Instituut vir Grond, Klimaat en Water.
- INSTITUUT VIR GROND, KLIMAAT EN WATER 2000: Ongepubliseerde Nasionale Landtipe Data vir Suid-Afrika. Pretoria; Landbou Navorsingsraad - Instituut vir Grond, Klimaat en Water.
- INSTITUUT VIR GROND, KLIMAAT EN WATER 2002: Digitale Nasionale Landtipe Data vir Suid-Afrika. Pretoria; Landbou Navorsingsraad - Instituut vir Grond, Klimaat en Water.
- JAMIESON, D.G. & FEDRA, K. 1996: The 'WaterWare' descision-support system for river-basin planning. 1. Conceptual design. *Journal of Hydrology*, 177: 163 – 175.
- JENSEN, S.K. & DOMINGUE, J.O. 1988: Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering. and Remote Sensing*, 54(11): 1593 – 1600.
- JOHANSSON, M. 1999: Analysis of digital elevation data for palaeosurfaces in south-western Sweden. *Geomorphology*, 26: 279 – 295.
- JONES, C.B. 1997: Geographical Information Systems and Computer Cartography. Essex; Longman.
- JOUBERT, A. 1990: Die Kwaterneêre Fontein- en verwante Lakustirene Afsettings by Florisbad, Oranje-Vrystaat. Ongepubliseerde MSc verhandeling. Bloemfontein; Universiteit van die Oranje-Vrystaat.
- KEMP, K.K. 1993: Environmental Modeling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity. NCGIA Technical report 93-3. Santa Barbara; National Center for Geographic Information and Analysis.
- KING, L.C. 1953: Canons of Landscape Development. *Bulletin of the Geological Society of America*, 64: 721 – 752.
- KING, L.C. 1957 The Uniformitarian Nature of Hillslopes. *Transactions of the Edinburgh Geological Society*, 17: 81 – 102.
- KING, L.C. 1962: Morphology of the Earth. Edinburgh; Oliver & Boyd.
- KING, L.C. 1963: South African Scenery (3<sup>rd</sup> Ed). Edinburgh; Oliver & Boyd.

- KING, L.C. 1982: The Natal Monocline: Explaining the Origin and Scenery of Natal, South Africa. Pietermaritzburg; University of Natal Press.
- KIRKBY, M.J. 1993: Long Term Interactions Between Networks and Hillslopes. *In* Beven, K. & Kirkby, M.J. (Eds) Channel Network Hydrology. pp 255 – 293. Chichester; Wiley.
- KIRKBY, M.J. & MORGAN, R.P.C. (Eds) 1980: Soil Erosion. Chichester; Wiley.
- KNIGHTON, D. 1998: Fluvial Forms & Processes. London; Arnold.
- KOHLER, M.F. 2000: ArcFlow Surface Water Model. Programme Help.  
**URL:** [http://www.mindspring.com/~kohlerm/arcflow/af\\_v1\\_help.html](http://www.mindspring.com/~kohlerm/arcflow/af_v1_help.html)
- KOHLER, M.F. 2001: Using Geographic Information Systems to Produce Time Area Diagrams for the Clark Hydrograph Method. Unpublished MSc Thesis. Boca Raton; Florida Atlantic University.
- KORTE, G.B. 2001 The GIS Book: How to Implement, Manage, and Assess the Value of Geographic Information Systems (5<sup>th</sup> Ed). Albany; Onword/Thomson Learning
- KRÖNER, A. & BLIGNAULT, H.J. 1976: Toward a Definition of some Tectonic and Igneous Provinces in western South Africa and southern South West Africa. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 79: 232 - 238.
- LAL, R. (Ed) 1994: Soil Erosion Research Methods (2<sup>nd</sup> Ed). Ankeny; Soil and Water Conservation Society.
- LANE, S.N., CHANDLER, J.H. & RICHARDS, K.S. 1998: Landform Monitoring, Modelling and Analysis: Land *Form* in Geomorphological Research. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds) Landform Monitoring, Modelling and Analysis. pp 1 – 17. Chichester; Wiley.
- LE ROUX, J.S. 1978: The Origin and Distribution of Pans in the Orange Free State. *South African Geographer*, 6: 167 – 176.
- LE ROUX, J.S. 1990a: Die Landvorme en Landskappe van die Oranje-Vrystaat: Produkte van rotsmateriaal, verwerking, erosie en tyd. Professorale intreerede. Bloemfontein; Universiteit van die Oranje-Vrystaat.
- LE ROUX, J.S. 1990b: Spatial variations in the rate of fluvial erosion (sediment production) over South Africa. *Water SA*, 16(3): 185 – 194.
- LE ROUX, J.S. 1991: Is the Pediplanation Cycle a usefull model? Evaluation in the Orange Free State (and elsewhere) in South Africa. *Zeitschrift für Geomorphologie. NF*, 35(2):175 – 185.

- LE ROUX, J.S. & ROOS, Z.N. 1982: Surface Wash on a Low-Angled Slope near Bloemfontein. *South African Geographical Journal*, 64(2):114 – 124.
- LEBERL, F.W. & OLSEN, D. 1982: Raster scanning for operational digitizing of graphic data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(4): 615 – 627.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. 1995: Fluvial Processes in geomorphology. New York; Dover.
- LI, Z. 1992: Variation of the accuracy of digital terrain models with sampling interval *Photogrammetric record*, 14(9):113 – 128.
- LONGLEY, P.A. & BATTY, M. 1996: Analysis, Modelling, Forecasting, and GIS Technology. *In* Longley, P. & Batty, M. (Eds) *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*. pp 1 – 15. Cambridge; GeoInformation.
- LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J. & RHIND, D.W. 1999: Introduction (to Section 1c: Spatial Analysis) *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) *Geographical Information Systems Vol 1 Principles and Technical Issues* (2<sup>nd</sup> Ed) pp 235 – 237. New York; Wiley.
- LOW, A.B. & REBELO, A.G. (Eds) 1996: *Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland*. Pretoria; Dept. of Environmental Affairs and Tourism.
- MACVICAR, C.N., DE VILLIERS, J.M., LOXTON, R.F., VERSTER, E., LAMBRECHTS, J.J.N., MERRYWEATHER, F.R., LE ROUX, J., VAN ROOYEN, T.H. & VON M. HARMSE, H.J. 1977: Grondklassifikasie. `n Binomiese Sisteem vir Suid-Afrika. Pretoria; Departement Landbou-tegniese Dienste.
- MAIDMENT, D.R. 2001: Watershed and Stream Network Delineation Using Digital Elevation Models. Study material for “Spatial Hydrology using ArcView GIS”<sup>11</sup> Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- MALHERBE, S.J., KEYSER, A.W., BOTHA, B.J.V., CORNELISSEN, A., SLABBERT, A.J. & PRINSLOO, M.C. 1986: The Tertiary Koa River and the Development of the Orange River Drainage. *Annals of the Geological Survey of South Africa*, 20: 13 – 23.
- MALING, D.H. 1989: *Measurements from Maps. Principles and Methods of Cartometry*. Oxford; Pergamon.

---

<sup>11</sup> Toegang tot hierdie materiaal is beperk tot geregisteerde studente van ESRI se “Virtual Campus”. Die URL vir die materiaal word daarom nie in die bronnelys vermeld nie

- MARSHALL, T.R. 1987a: Morphotectonic Analysis of the Wesselsbron Panveld. *South African Journal of Geology*, 90(30): 209 – 218.
- MARSHALL, T.R. 1987b: The Morphotectonics of the Orange Free State. Unpublished MSc Dissertation. Johannesburg; University of the Witwatersrand.
- MARSHALL, T.R. 1988: The Origin of the Pans of the western Orange Free State – A Morphotectonic Study of the palaeo-Kimberley River. *In* Heine, K. (Ed) Palaeoecology of Africa and the Surrounding Islands. Vol 19 pp 97 – 108. Rotterdam; Balkema.
- MARSHALL, T.R. & HARMSE, J.T. 1992. A review of the origin and propagation of pans. *SA Geograaf*, 19(1/2): 9 – 21.
- MAUD, R.R., PARTRIDGE, T.C. & DUNLEVY, J.N. 1998: The Lesotho "volcanic" event of February 1983. *South African Journal of Geology*, 101(4): 313 – 322.
- McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. 1986: Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, 37: 617 – 639.
- McCULLAGH, M.J. 1998: Quality, Use and Visualisation in Terrain Modelling. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds) Landform Monitoring, Modelling and Analysis. pp 95 – 117. Chichester; Wiley.
- McCULLAGH, M.J. & ROSS, C.G. 1980: Delaunay triangulation of a random data set for isarithmic mapping *The Cartographic Journal*, 17(2): 93 – 99.
- McFADDEN, L.D. & KNEUPFER, P.L.K. 1990: Soil Geomorphology: The Linkage of Pedology and Surficial Processes. *In* Kneupfer P.L.K. & McFadden L.D. (Eds). Soils and Landscape Evolution. Proceedings of the 21<sup>st</sup> Binghamton Symposium in Geomorphology. pp 197 – 205. Amsterdam; Elsevier.
- McVAY, K.R. 1998: Raster to Vector  
**URL:** <http://gis.esri.com/arcscripts/details.cfm?CFGRIDKEY=-1642936612>
- MEADOWS, M.E. 1988: Landforms and Quaternary Climatic Change. *In* Moon, B.P. & Dardis, G.F. (Eds) The Geomorphology of Southern Africa. pp 296 – 316. Johannesburg; Southern.
- MELTON, M.A. 1957: An Analysis of the Relations among elements of Climate, Surface properties and Geomorphology. Technical report 11. S.i.; US Department of the Navy, Office of Naval Research.

- MIDDLETON, B.J., PITMAN, W.V. & MIDGLEY, D.C. 1981: Surface Water Resources of South Africa, Volume 2, Drainage Region C, The Vaal Basin. Part 2 (Appendices). Report No. 8/81 Johannesburg; Hydrological Research Unit.
- MIDGLEY, D.C., PITMAN, W.V. & MIDDLETON, B.J. 1994a: Surface Water Resources of South Africa, Volume 2, Drainage Region C, Vaal. Appendices. WRC report 298/2.1/94 Pretoria; Water Research Commission.
- MIDGLEY, D.C., PITMAN, W.V. & MIDDLETON, B.J. 1994b: Surface Water Resources of South Africa, Volume 2, Drainage Region C, Vaal. Book of Maps. WRC report 298/2.2/94 Pretoria; Water Research Commission.
- MILLER, G.T. 1996: Living in the Environment (9<sup>th</sup> Ed) Belmont; Wadsworth.
- MILLER, S.N., GUERTIN, D.P. & GOODRICH, D.C. 1996: Investigating Stream Channel Morphology Using a Geographic Information System. Proceedings of the ESRI Users conference 1996.  
**URL:** <http://www.esri.com/library/userconf/proc96/TO300/PAP291/PAP291.HTM>
- MILLWARD, A.A. & MERSEY, J.E. 1999: Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38: 109 – 129.
- MITAS, L. & MITASOVA, H. 1999: Spatial Interpolation *In* Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (Eds) Geographical Information Systems Vol 1 Principles and Technical Issues (2<sup>nd</sup> Ed) pp 481 – 492. New York; Wiley.
- MITCHELL, A. 1999: The ESRI Guide to GIS Analysis. Vol 1 Geographic Patterns and Relationships. Redlands; Environmental Systems Research Institute.
- MITCHELL, J.K. & BUBENZER, G.D. 1980: Soil loss estimation *In* Kirkby, M.J. & Morgan, R.P.C. (Eds) Soil Erosion. pp 17 – 62. Chichester; Wiley.
- MONTGOMERY, D.R., DIETRICH, W.E. & SULLIVAN, K. 1998: The role of GIS in Watershed Analysis. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds.) Landform Monitoring, Modelling and Analysis. pp 241 – 261. Chichester; Wiley.
- MOON, B.P. & DARDIS, G.F. 1988: Introduction. *In* Moon, B.P. & Dardis, G.F (Eds) The Geomorphology of Southern Africa. pp 1 – 11. Johannesburg; Southern.
- MOON, B.P. & PARTRIDGE, T.C. 1993: Geomorphology in Southern Africa *In* Walker, H.J. & Grabau, W.E. (Eds) The Evolution of Geomorphology, A Nation-by-Nation Summary of Development. pp 383 – 395. New York; Wiley.
- MOORE, A.E. 1999: A Reappraisal of Epeirogenic Flexure Axes in Southern Africa. *South African Journal of Geology*, 102(4): 363 – 376.

- MOORE, I.D. & BURCH, G.J. 1986: Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Journal of the Soil Science Society of America*, 50(5): 1294 – 1298.
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A. & PETERSON, G.A. 1993: Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443 – 452.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. 1991: Digital Terrain Modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5: 3 – 30.
- MOORE, I.D., O'LOUGHLIN, E.M. & BURCH, G.J. 1988: A Contour-based Topographic model for Hydrological and Ecological Applications. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13: 305 – 320.
- MOORE, T.W., SASOWSKY, K.C. & DAY, R.L. 1990: Automated extraction of geomorphic properties from digital elevation data. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplementband*, 80: 57 – 68.
- MORGAN, R.P.C. 1995: Soil Erosion and Conservation. Essex; Longman.
- MORISAWA, M. 1958: Measurement of Drainage basin Outline Form. *Journal of Geology*, 66: 587-591.
- MORISAWA, M. 1962: Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau. *Bulletin of the Geological Society of America*, 73: 1025 – 1046.
- MORISAWA, M. 1964: Development of drainage systems on an upraised lake floor. *American Journal of Science*, 262: 340 – 354.
- MORISAWA, M. 1968: Streams, their dynamics and morphology. New York: McGraw-Hill.
- MORISAWA, M. 1985: Rivers. London; Longman.
- MOSTERD, J.W.C., ROBERTS, B.R., HESLINGS, C.F. & COETZEE, P.G.F. 1971: Veldbestuur in die O.V.S.-Streek. Departement van Landbou-Tegniese Dienste Pamflet No. 391. Pretoria; Staatsdrukker.
- MYBURGH, A. 1997: The Geomorphological Evolution of the Northwestern Free State since the Mesozoic. Unpublished PhD Thesis. Bloemfontein; University of the Orange Free State.
- NIR, D. 1983: Man, A Geomorphological Agent: An Introduction to Anthropogenic Geomorphology. Jerusalem; Keter.

NOBREGA, R.P. 1998: pline2XYZ.ave

**URL:** <http://andes.esri.com/arcscripts/details.cfm?/CFGRIDKEY=560007998>

NOGAMI, M. 1995: Geomorphometric Measures for Digital Elevation Models. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplementband*, 101: 53 – 67.

OLLIER, C. 1981: Tectonics and Landforms. London; Longman.

ORMSBY, T. & ALVI, J. 1999: Extending ArcView GIS. Redlands; Environmental Systems Research Institute.

PARSONS, A.J. 1988: Hillslope Form London; Routledge.

PARTRIDGE, T.C. 1998: Of Diamonds, Dinosaurs and Diastrophism: 150 Million Years of Landscape Evolution in Southern Africa. *South African Journal of Geology*, 101(3): 167 – 184.

PARTRIDGE, T.C. & MAUD, R.R. 1987: Geomorphic Evolution of Southern Africa since the Mesozoic. *South African Journal of Geology*, 90(2): 179 – 208.

PEUQUET, D.J. 1988: Representations of Geographic Space: Toward a Conceptual Synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, 78(3): 375 - 394.

PHILLIPS, J.D. 1992: The end of equilibrium? *Geomorphology*, 5: 192 – 201.

PHILLIPS, J.D. & RENWICK, W.H. (Eds) 1992: Geomorphic Systems. Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Binghamton Symposium in Geomorphology. *Geomorphology*, 5.

PIAGET, J.E.H. 1963: Coarse Fraction Mineralogy and Granulometry of Selected Soils of the Western Orange Free State. Unpublished DSc Agric Thesis. Bloemfontein; University of the Orange Free State.

PIKE, R. J. 1995: Geomorphometry - progress, practice, and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F Supplementband*, 101: 221 – 238.

POTGIETER, G.J.A. 1974: The Geology of an area south of Kimberley. Unpublished MSc dissertation. Bloemfontein; University of the Orange Free State.

RAAD VIR GEOWETENSKAPPE. 2001: Digital Metalogenic Map of the Republic of South Africa and the Kingdoms of Lesotho and Swaziland. Pretoria: Council for Geoscience.

RGW Sien RAAD VIR GEOWETENSKAPPE.

RHOADS, B.L. 1994: On Being a 'Real' Geomorphologist. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19: 269 – 272.

RICHARDS, K. 1990: 'Real' Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 195 – 197.

- RITTER, D.F. 1988: Landscape analysis and the search for geomorphic unity. *Geological Society of America Bulletin*, 100: 160 – 171.
- ROESSNER, S. 1999: GIS-based quantification of spatially high resolution denudation rates in the Central Kenya Rift. *In* Dikau, R. & Saurer, H. (Eds) GIS for Earth Surface Systems, Analysis and Modelling of the Natural Environment. pp 109 – 133. Berlin; Borntraeger.
- ROGERSON, P.A. & FOTHERINGHAM, A.S. 1994: GIS and Spatial Analysis: Introduction and Overview *In* Fotheringham, S & Rogerson, P. (Eds) Spatial Analysis and GIS. pp 1 – 10 London; Taylor & Francis.
- ROOSEBOOM, A. 1992: Sediment Transport in Rivers and Reservoirs - A Southern African Perspective. Water Research Commission Report No. 297/1/92 Pretoria; Water Research Commission.
- ROOSEBOOM, A., VERSTER, E., ZIETSMAN, H.L. & LOTRIET, H.H. 1992: The development of the new sediment yield map of Southern Africa. Water Research Commission Report No. 297/2/92 Pretoria; Water Research Commission.
- ROSSITER, D.G. 1994: Land Evaluation. Lecture notes. Ithaca; Cornell University  
**URL:** <http://www.scas.cornell.edu/landeval/landeval.htm>.
- RSA Sien SUID-AFRIKA, REPUBLIEK.
- RUTHERFORD, M.C. & WESTFALL, R.H. 1986: Biomes of Southern Africa – an objective categorization. *Memoirs of the Botanical Survey of South Africa* No 54. Pretoria; Botanical Research Institute.
- SAAG Sien SOUTH AFRICAN ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS.
- SACS Sien SOUTH AFRICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHY.
- SAUNDERS, W. 1999: Preparation of DEMs for use in Environmental Modelling Analysis. Proceedings of the ESRI Users conference 1999.  
**URL:** <http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap802/802.htm>
- SCHEIDEGGER, A.E. 1983: Instability principle in geomorphic equilibrium *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 27(1): 1 – 19.
- SCHEIDEGGER, A.E. 1987: The Fundamental Principles of Landscape Evolution *In* Anherf, F (Ed) Geomorphical Models – Theoretical and Empirical Aspects. pp 199 – 210. Catena Supplement 10.
- SCHMIDT, J. & DIKAU, R. 1999: Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs. *In* Dikau, R. & Saurer, H. (Eds)

GIS for Earth Surface Systems Analysis and Modelling of the Natural Environment.  
pp153 – 173. Berlin; Borntraeger.

SCHULZE, B.R. 1947: The climates of South Africa according to the classifications of Köppen and Thornthwaite. *South African Geographical Journal*, 29: 34 – 42.

SCHUMM, S.A. 1956: Evolution of Drainage systems and slopes in Badlands in Perth Amboy N.J. *Geological Society of America Bulletin*, 67: 597 – 646.

SCHUMM, S.A. 1977: The Fluvial System. New York; Wiley.

SCHUMM, S.A. 1991: To Interpret the Earth; Ten ways to be wrong. Cambridge; Cambridge University Press.

SELBY, M.J. 1993: Hillslope Materials and Processes (2<sup>nd</sup> Ed) Oxford; Oxford University Press.

SEMMELE, A. 1996: The Historic-genetic approach in applied Geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 40(3): 289 – 303.

SEYHAN, E. 1976: Application of Stream ordering to the Areche River basin, Southern France. Geografisch Instituut Serie B.61, Utrecht; Rijksuniversiteit Utrecht.

SISKA, P.P. & HUNG, I-K. 2001: Assessment of Kriging Accuracy in the GIS Environment. Proceedings of the ESRI Users conference 2001.

**URL:**

<http://www.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap280/p280.htm>

SMITH, D.G. 1993: Fluvial Geomorphology: Where do we go from here? *Geomorphology*, 7: 251 – 262.

SMITHE, A.A. & SCHULZE, R.E. 1982: The Spatial Distribution in Southern Africa of Rainfall Erosivity for use in the Universal Soil Loss Equation. *Water SA*, 8: 74 – 78.

SNYMAN, H.A. & VAN RENSBURG, W.L.J. 1987: Sedimentverlies en Oppervlakaafloop vanaf Natuurlike Veld in die Sentrale Oranje-Vrystaat. *Water SA*, 13(4): 245 – 250.

SNYMAN, H.A., VAN RENSBURG, W.L.J. & OPPERMAN, D.P.J. 1986: Toepassing van 'n Gronderosievergelyking op Natuurlike Veld van die Sentrale Oranje-Vrystaat. *Tydskrif van die Weidingsvereniging van Suid-Afrika*, 3(1): 4 – 9.

SOUTH AFRICAN ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS. 1996: Membership list.

SOUTH AFRICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHY, 1980: Stratigraphy of South Africa, Handbook 8 Part 1. Pretoria; Government Printer.

STRAHLER, A.N. 1950: Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. *American Journal of Science*, 248: 673 – 696, 800 – 814.

- STRAHLER, A.N. 1952: Dynamic basis of Geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63: 923 – 938.
- STRAHLER, A.N. 1956: Quantitative Slope Analysis. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67: 571 – 596.
- STRAHLER, A.N. 1975: Physical Geography. 4th ed. New York; John Wiley & Sons.
- STRAHLER, A.N. 1992: Quantitative/dynamic Geomorphology at Columbia 1945 – 60: a retrospective. *Progress in Physical Geography*, 16(1): 65 – 84.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1965a: Klimaat van Suid-Afrika. Deel 8, Algemene oorsig WB28. Weerburo, Departement van Vervoer. Pretoria; Staatsdrukker.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1965b: Klimaat van Suid-Afrika. Deel 9, Gemiddelde Maandelikse en Jaarlikse Reënval en Reën-dae tot op die end van 1960 WB29. Weerburo, Departement Vervoer. Pretoria; Staatsdrukker.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1966: Verklarende Aantekeninge vir 1 : 25 000 Geologiese Reeks, 2926 Bloemfontein. Geologiese Opname. Pretoria; Staatsdrukker.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1975: Klimaat van Suid-Afrika. Deel 12 Oppervlakwinde. Pretoria; Weerburo.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1984: Landtipes van die Kaarte 2626 Wes-Rand 2726 Kroonstad. Memoirs oor die Natuurlike Landbou hulpbronne van Suid-Afrika Nr 4 Pretoria; Departement van Landbou.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1986: Klimaat van Suid-Afrika. Klimaatstatistieke tot 1984. Pretoria; Weerburo.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1989: Die Geologie van die Republieke van Suid-Afrika, Transkei, Bophuthatswana, Venda en Ciskei en die Koninkryke van Lesotho en Swaziland. Toeligting tot die 1:1 000 000 Geologiese Kaart (4<sup>e</sup> Uitgawe). Pretoria; Geologiese Opname, Dept van Minerale en Energiesake.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1992: Toeligting vir 1 : 250 000 Geologiese Reeks, 2924 Koffiefontein. Geologiese Opname. Pretoria; Staatsdrukker.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1993: Toeligting vir 1 : 250 000 Geologiese Reeks, 2824 Kimberley. Geologiese Opname. Pretoria; Staatsdrukker.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1995: Explanation for 1 : 250 000 Geological Series, 2826 Winburg. Pretoria; Council for Geoscience.

- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1998a: 1:50 000 Topografiese reeks (Verskeie<sup>12</sup>). Mowbray; Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1998b: Nasionale Waterwet (Wet 36 van 1998) Juta.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 1999: Environmental Potential Atlas for South Africa (ENPAT) (2<sup>nd</sup> Ed.) Free State & Northern Cape Compact Disks. Pretoria; Dept. Environmental affairs and Tourism.
- SUID-AFRIKA, REPUBLIEK, 2000: Digital Products. Chief Directorate: Surveys and Mapping  
**URL:** <http://w3sli.wcape.gov.za/surveys/Mapping/mapdgtl.htm>
- SUMMERFIELD, M.A. 1996: Tectonics, Geology, and Long-Term Landscape Development. *In* Adams, W.M., Goudie, A.S. & Omre, A.R. (Eds) *The Physical Geography of Africa*. pp 1 – 17. Oxford; Oxford University Press.
- SWAN, A.R.H. & SANDILANDS, M. 1995: *Introduction to Geological Data Analysis*. Oxford; Blackwell.
- TANKARD, A.J., JACKSON, M.P.A., ERIKSSON, K.A., HOBDAV, D.K., HUNTER, D.R. & MINTER, W.E.L. 1982: *Crustal Evolution of Southern Africa. 3.8 Billion Years of Earth History*. New York; Springer.
- TARBOTON, D.G. & AMES, D.P. 2001: Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data. Paper submitted for presentation at the World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida.  
**URL:** <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/asce2001.pdf>
- TARBOTON, D.G., BRAS, R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE, I. 1991: On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological processes*, 5: 81 – 100.
- THORN, C.E. 1988: *Introduction to Theoretical Geomorphology*. Boston; Unwin Hyman.
- THORNE, C.R. 1995: Editorial — Geomorphology at Work. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(7): 583 – 584.
- THORNE, C.R., HEY, R.D. & NEWSON, M.D. (Eds) 1997: *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Chichester; Wiley.
- TILTON, T. 1998: Surface Interpolator Extension.  
**URL:** <http://andes.esri.com/arcscripts/details.cfm?/CFGRIDKEY=-1440758541>

---

<sup>12</sup> Die 1 50 000 kaartvelle wat in die studie gebruik is verskil van uitgawedatum. Die datum in die verwysing het betrekking op die datum van aankope.

- TINKLER, K.J. 1985: A Short History of Geomorphology. Totowa; Barnes & Noble.
- TIVY, J. 1982: Biogeography - A Study of Plants in the Ecosphere (2<sup>nd</sup> Ed). Essex; Longman.
- TOY, T.J. & OSTERKAMP, W.R. 1995: The Applicability of RUSLE to Geomorphic Studies  
*Journal of Soil and Water Conservation*, 50(5): 498 – 503.
- TRUSWELL, J.F. 1977: Geological Evolution of South Africa. Cape Town; Purnell.
- TURCOTTE, R., FORTIN, J-P., ROUSSEAU, S., MASSICOTTE, S. & VILLENEUVE, J-P. 2001:  
Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model  
and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 240: 225 – 242.
- TWIGG, D.R. 1998: The Global Positioning System and its Use for Terrain Mapping and  
Monitoring. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds.) Landform Monitoring,  
Modelling and Analysis. pp 37 – 61. Chichester; Wiley.
- TYSON, P.D. & PRESTON-WHYTE, R.A. 2000: The Weather and Climate of Southern Africa.  
Cape Town; Oxford (South Africa).
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 1997: Map Accuracy Standards. Fact Sheet  
FS-078-96. **URL:** <http://mapping.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/fs07896.html>
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2001: GTOPO30 Project  
**URL:** <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>
- UNWIN, D. 1981: Introductory Spatial Analysis. London; Methuen.
- USGS Sien UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.
- VAN DER MERWE, C.R. 1962: Soil Groups and Subgroups of South Africa. Pretoria;  
Department of Agricultural Technical Services.
- VAN NIEKERK, A. 1996: Die Ontwikkeling van Geografiese Inligtingstelsels vir Omgewings-  
bestuur in die Wes-Kaap. Ongepubliseerde MSc verhandeling. Stellenbosch;  
Universiteit van Stellenbosch.
- VAN ROMPAEY, A 1996: Vergelyking van Analoge en Volautomatiese Terreinopnames voor de  
Grootschalige Topografiese Kaart en het Digitale Terreinmodel. Ongepubliseerde  
Licentiaat Verhandeling. Leuven; Katholieke Universiteit Leuven
- VAN ROOYEN, N. & BREDENKAMP, G. 1996: Kimberley Thorn Bushveld. *In* Low, A.B. &  
Rebello, A.G. (Eds) Vegetation of South Africa, Lesotho and Swaziland. p 36. Pretoria;  
Dept. Environmental Affairs and Tourism.
- VAN VUUREN, D. 1999: How do you spell GIS? Paper read at the 3<sup>rd</sup> Annual FAGIS conference.  
27 October 1999 Bloemfontein; University of the Orange Free State.

- VAN WYK, J.P. & VAN RENSBURG, P.A.J. 1976: 'n Geomorfometriese Vergelyking tussen 3<sup>e</sup> orde Dreineringskomme op Lawa en Graniet in Transvaal. *Suid-Afrikaanse Geograaf*, 3: 205 – 217.
- VANNESTE, D. 1999: Ruimtelijke Analysetechnieken. Ongepubliseerde studiemateriaal - Instituut voor Sociale en Economische Geografie. Leuven; Katholieke Universiteit Leuven.
- VILES, H.A. 1990: 'The Agency of Organic Beings': A Selective Review of Recent Work in Biogeomorphology. *In* Thornes, J.B. (Ed) *Vegetation and Erosion - Processes and Environments*. pp 5 – 24 Chichester; Wiley.
- VISSER, J.N.J. 1986: Geology *In* Cowling, R.M., Roux, P.W. & Pieterse, A.J.H. (Eds) *The Karoo Biome: a preliminary synthesis. Part 1 – Physical Environment*. Pretoria; CSIR.
- WALKER, F. & POLDERVAART, A. 1949: Karroo Dolerites of the Union of South Africa. *Bulletin of the Geological Society of America*, 60: 591 – 706.
- WALKER, H.J. & GRABAU, W.E. (Eds). 1993: *The Evolution of Geomorphology; A Nation by Nation Summary of Development*. Chichester; Wiley.
- WALMSLEY, D.J. 1972: *Systems Theory: A Framework for Human Geographical Enquiry*. Canberra; Australian National University.
- WATERNAVORSINGSKOMMISSIE, 1990: *Surface Water Resources of South Africa 1990. Digital Data (1<sup>st</sup> Ed)* Pretoria; Water Research Commission.
- WATERNAVORSINGSKOMMISSIE, 1996: *Water-related National Concerns. SA Waterbulletin, Special Edition: 7*.
- WATSON, H.K. 1990: *A Comparative Study of Soil Erosion in the Umfolozi Game Reserve and Ajaent KwaZulu Area from 1937 to 1983*. Unpublished D Phil Thesis. Durban; University of Durban-Westville.
- WEIBEL, R. & BRÄNDLI, M. 1995: Adaptive Methods for the Refinement of Digital Terrain Models for Geomorphometric Applications. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F Supplementband*, 101: 13 – 30.
- WEIBEL, R. & HELLER, M. 1991: Digital Terrain Modeling. *In* Maguire, D.J., Goodchild, M.F. & Rhind, D.W. (Eds) *Geographical Information Systems. Vol 1 Principles and Applications* pp 269 – 297. Essex; Longman.
- WETENSKAPLIKE EN NYWERHEIDSNVORSINGSRAAD 1988: Landsat beelde 51432-07384 (01/02/1988) en 51480-07391 (20/03/1988).

- WILLGOOSE, G., BRAS, R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE, I. 1991a: A Coupled Channel Network Growth and Hillslope Evolution Model 1. Theory. *Water Resources Research*, 27(7): 1671 – 1684.
- WILLGOOSE, G., BRAS, R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE, I. 1991b: A Coupled Channel Network Growth and Hillslope Evolution Model 2. Nondimensionalization and Applications. *Water Resources Research*, 27(7): 1685 – 1696.
- WILLIAMS, F. 1992: Reasoning with Statistics. How to Read Quantitative Research (4<sup>th</sup> Ed). Fort Worth; Harcourt Brace Jovanovich.
- WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. 1998: Terrain-based Approaches to Environmental Resource Evaluation. *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds) Landform Monitoring, Modelling and Analysis, pp 219 – 240. Chichester; Wiley.
- WINGLE, W.L. 1992: Examining Common Problems Associated with Various Contouring Methods, Particularly Inverse-Distance Methods, Using Shaded Relief Surfaces. Geotech '92 Conference Proceedings.  
**URL:** [http://www.mines.edu/fs\\_home/wwingle/pub/contour](http://www.mines.edu/fs_home/wwingle/pub/contour)
- WISCHMEIER, W.H. 1976: Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31: 5 – 9.
- WISE, S.M. 1998: The Effect of GIS Interpolation Errors on the Use of Digital Elevation Models in Geomorphology *In* Lane, S.N., Richards, K.S. & Chandler, J.H. (Eds) Landform Monitoring, Modelling and Analysis, pp 139 – 164. Chichester; Wiley.
- WNK Sien WATERNAVORSINGSKOMMISSIE.
- WNNR Sien WETENSKAPLIKE EN NYWERHEIDSNVORSINGSRAAD.
- WRIGHT, D.J., GOODCHILD, M.F. & PROCTOR, J.D. 1997: GIS: Tool or Science? *Annals of the Association of American Geographers*, 87(2): 346 – 362.
- YOUNG, A. 1972: Slopes. London; Longman.
- ZĂVOIANU, I. 1985: Morphometry of Drainage Basins (Translated by A. Ionescu-Pârâu). Amsterdam; Elsevier.

Persoonlike mededelings

CLARK, D. 1999 Hoofdirekteur Opmeting en grondinligting Mowbray (Telefoniese gesprek).

GOVERS, G. 1998 Laboratorium voor Experimentele Geomorfologie, Leuven (Persoonlike gesprekke).

HARMSE, J.T. 2002 Dept. Geografie en Omgewingsbestuur, RAU, Johannesburg. (Telefoniese gesprek).

LOOCK, J.C. 2000 Dept Geologie, UV, Bloemfontein (Persoonlike gesprek).

VAN DER WESTHUIZEN, M. 2000 Vrystaatse Departement Landbou, Glen (Telefoniese gesprek).

**Bylae**

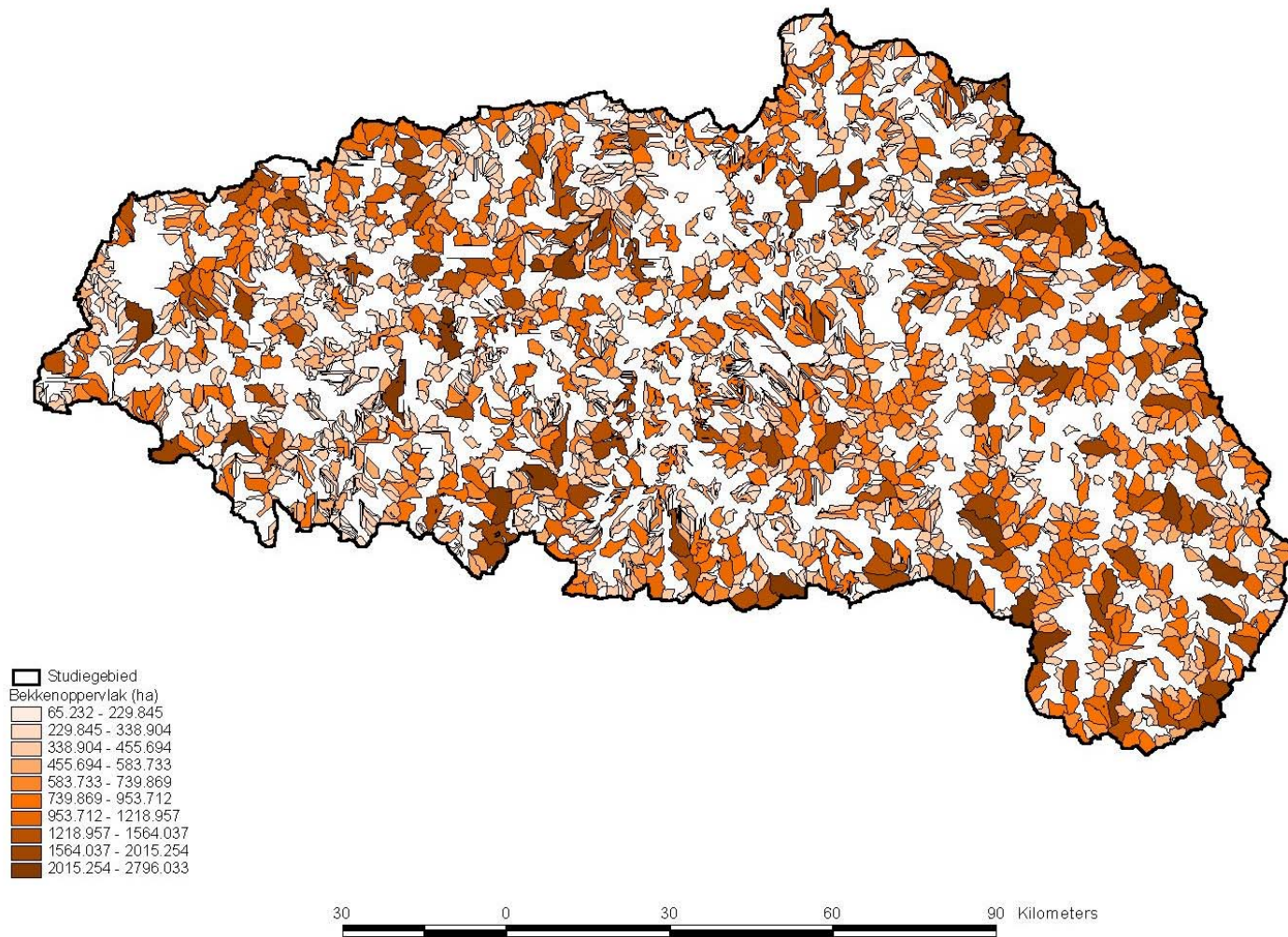
Bylae A Grondvorms

Tabel A1 Diagnostiese horisonte vir enkele grondvorme

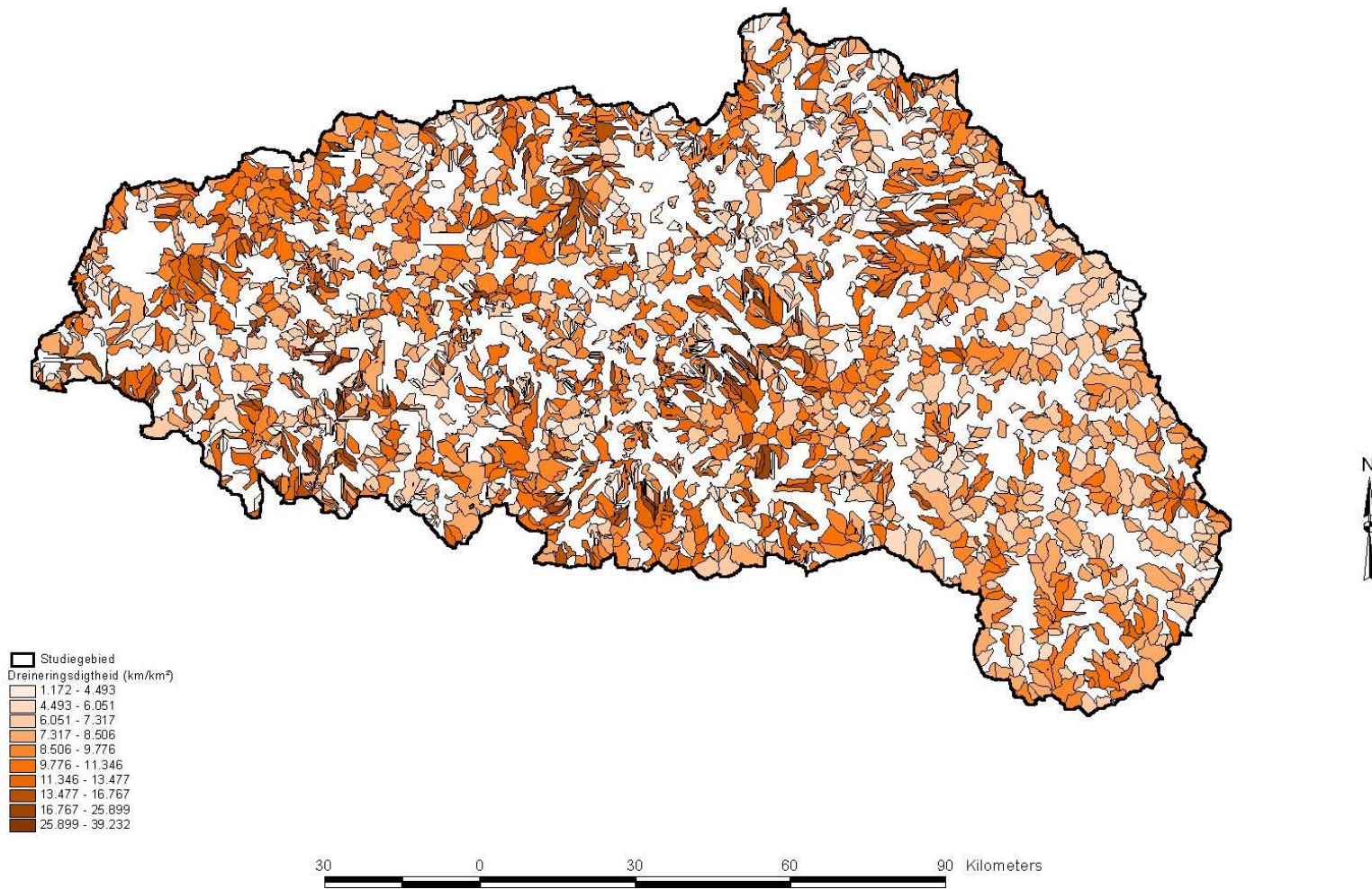
Vorm	Diagnostiese Horisonte		USDA korrelasie
	Bogron	Onderliggende materiaal	
Arcadia	Verties	Nie-gespesifiseer	Vertisols
Avalon	Orties	Geelbruin apedale B / Sagte plintiet	Alfisols, Ultisols
Bainsvlei	Orties	Rooi apedale B / Sagte plintiet	Oxisols, Ultisols, Alfisols
Bonheim	Melanies	Pedokutaniese B	Mollisols
Clovelly	Orties	Geelbruin apedale B	Inceptisols, Oxisols, Aridisols
Dundee	Orties	Gestratifiseerde alluvium	Entisols, Aridisols
Escourt	Orties	E / Prismakutaniese B	Alfisols
Fernwood	Orties	Regiese sand	Entisols
Glencoe	Orties	Geelbruin apedale B / Harde plintiet	Inceptisols, Oxisols, Aridisols
Glenrosa	Orties	Litokutaniese B	Inceptisols, Aridisols
Hutton	Orties	Rooi apedale B	Oxisols, Inceptisols, Entisols, Aridisols, Ultisols
Inhoek	Melanies	Neokutaniese B	Mollisols
Katspruit	Orties	Gley	Inceptisols, Entisols
Kroonstad	Orties	E / gleykutaniese B	Alfisols
Longlands	Orties	E / Sagte plintiet	Inceptisols Alfisols
Mayo	Melanies	Litokutaniese B	Mollisols
Milkwood	Melanies	Harde rots, Ferrikreet, kalkkreet, silkkreet	Mollisols
Mispah	Orties	Harde rots, Ferrikreet, kalkkreet, silkkreet	Entisols, Inceptisols, Aridisols
Oakleaf	Orties	Neokutaniese B	Inceptisols, Aridisols
Pinedene	Orties	Geelbruin apedale / gleykutaniese B	Ultisols, Alfisols
Rensburg	Verties	Gley	Vertisols Mollisols
Shortlands	Orties	Rooi gestrukteerde B	Alfisols,
Sterkspruit	Orties	Prismakutaniese B	Alfisols, Aridisols
Swartland	Orties	Pedokutaniese B / Saproliet	Alfisols, Aridisols
Valsrivier	Orties	Pedokutaniese B / ongekonsolideerde materiaal	Alfisols, Aridisols
Westleigh	Orties	Sagte plintiet	Alfisols, Inceptisols
Willowbrook	Melanies	Gley	Mollisols

Bron: MacVicar *et al.*, 1977

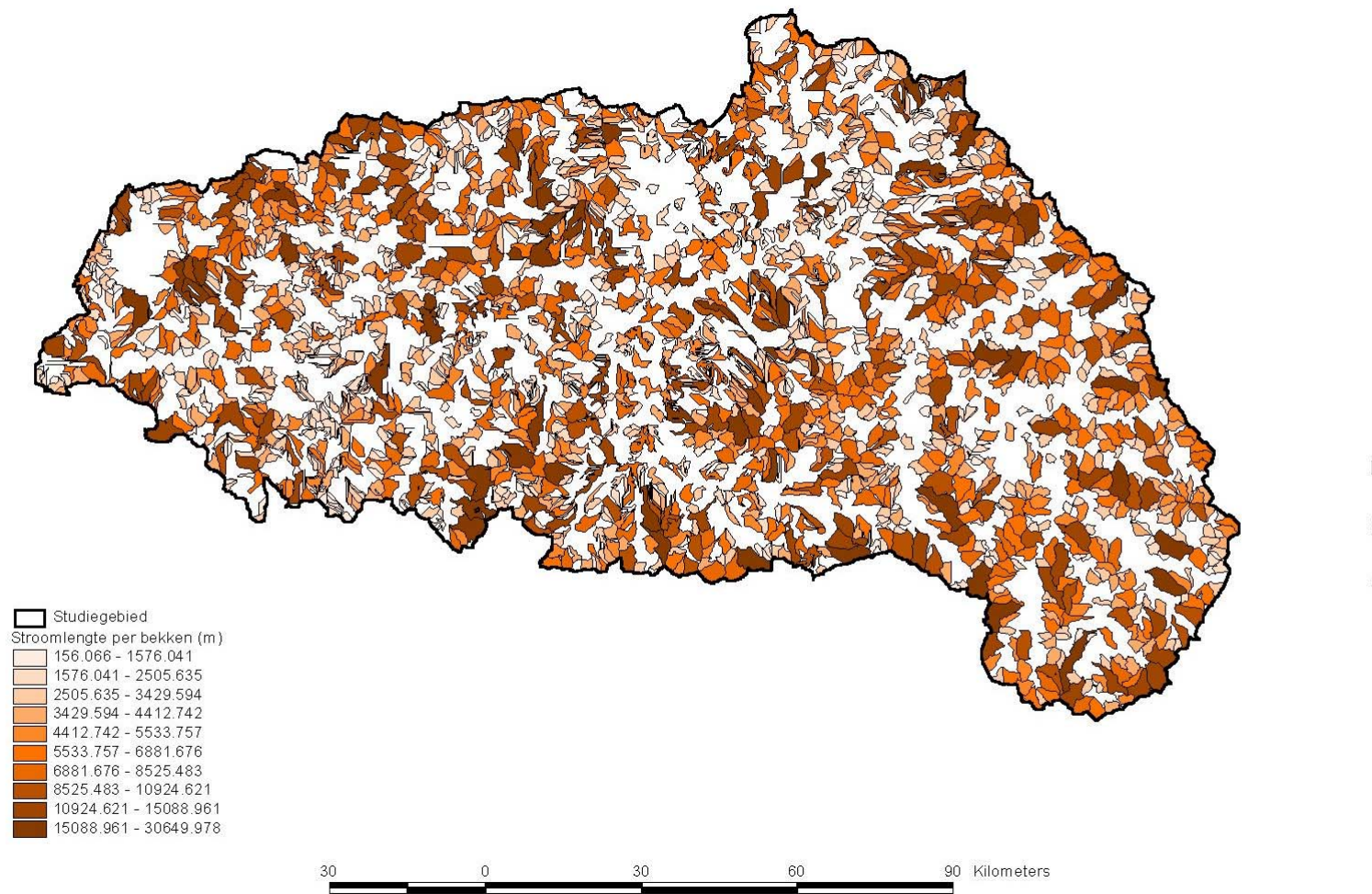
Bylae B Tweede-orde bekkenparameters



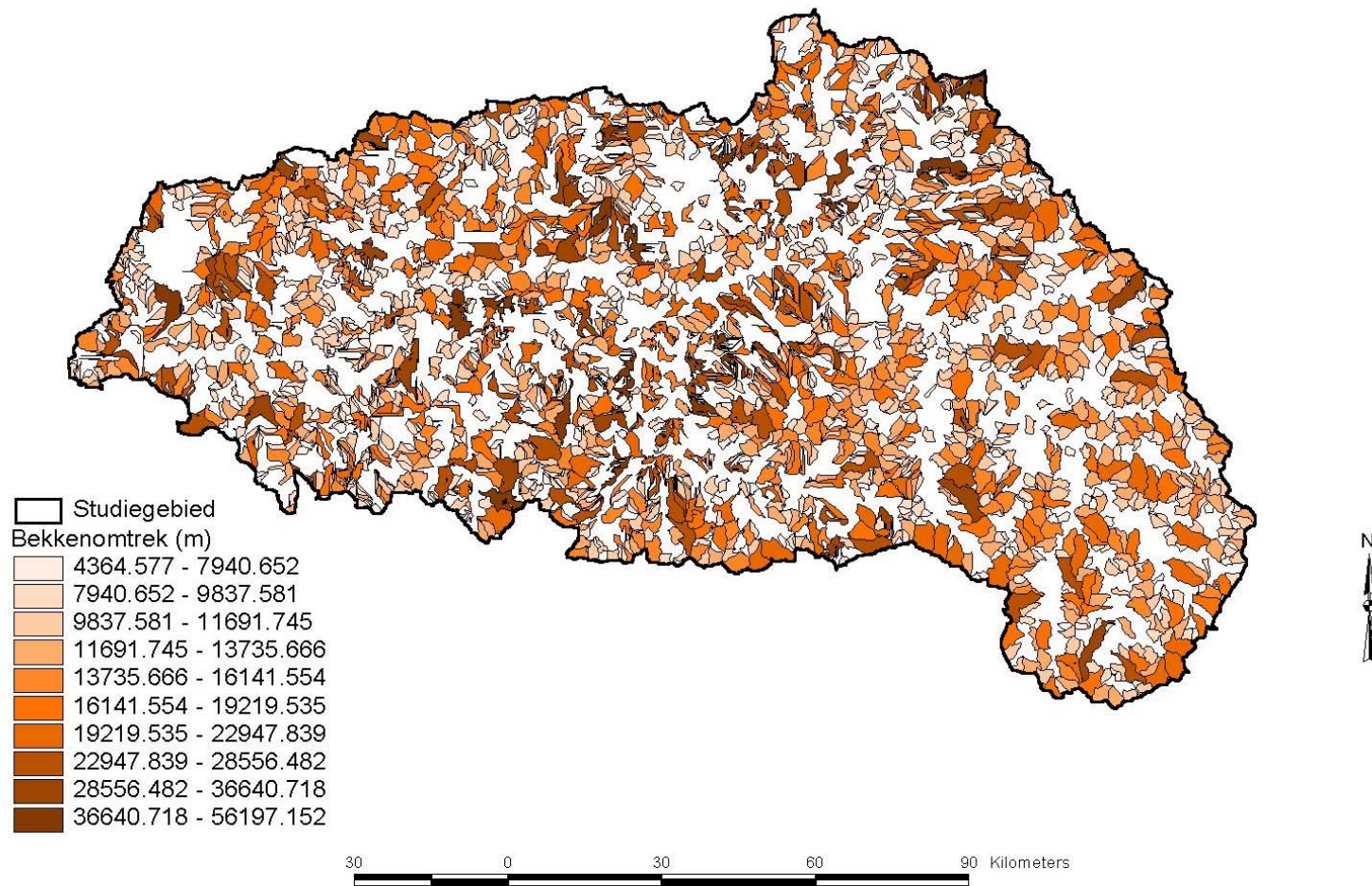
Figuur B1 Bekkenoppervlakte vir tweede-ordebekkens



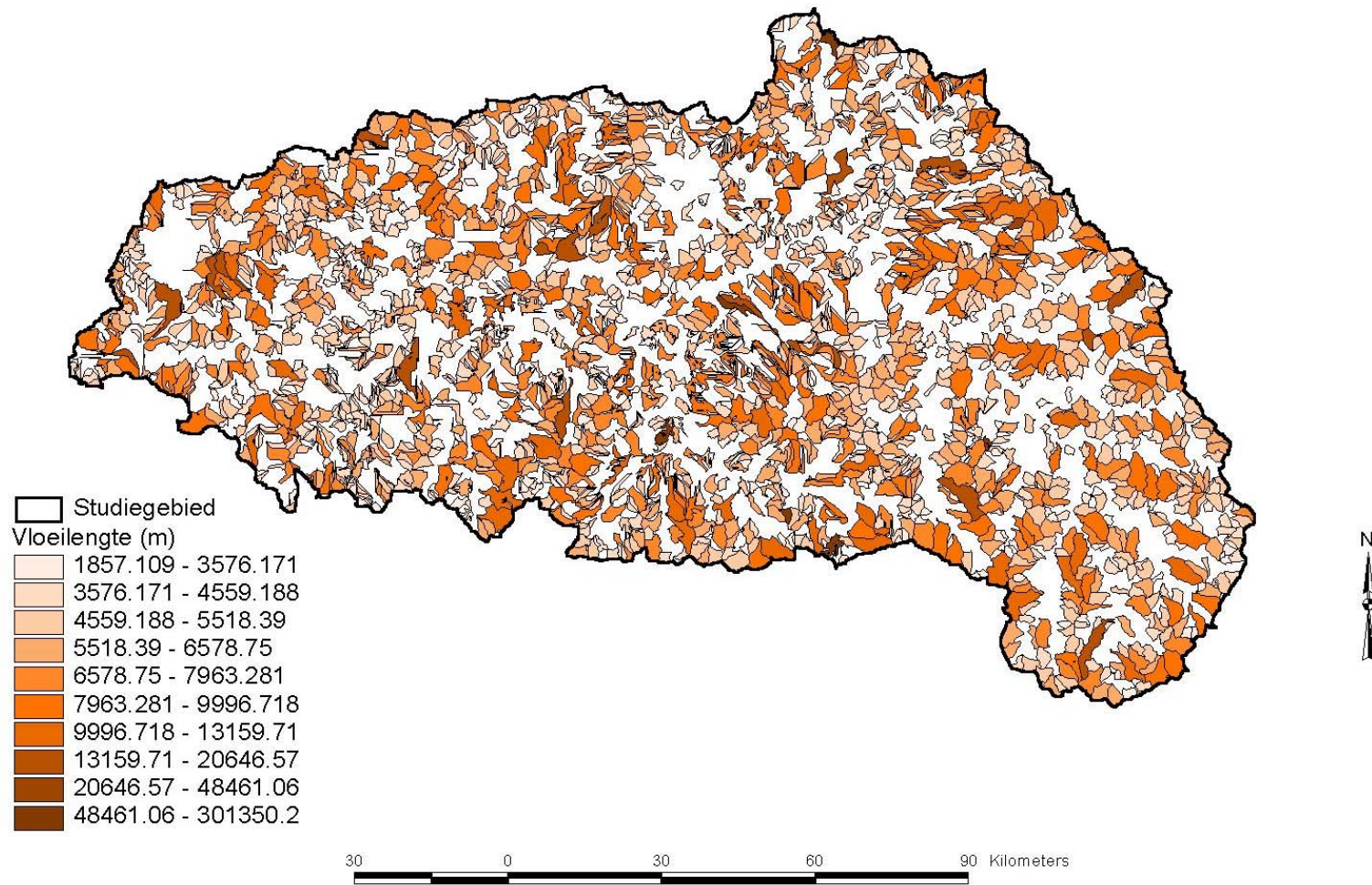
Figuur B2 Dreineringsdigtheid vir tweede-ordebekkens



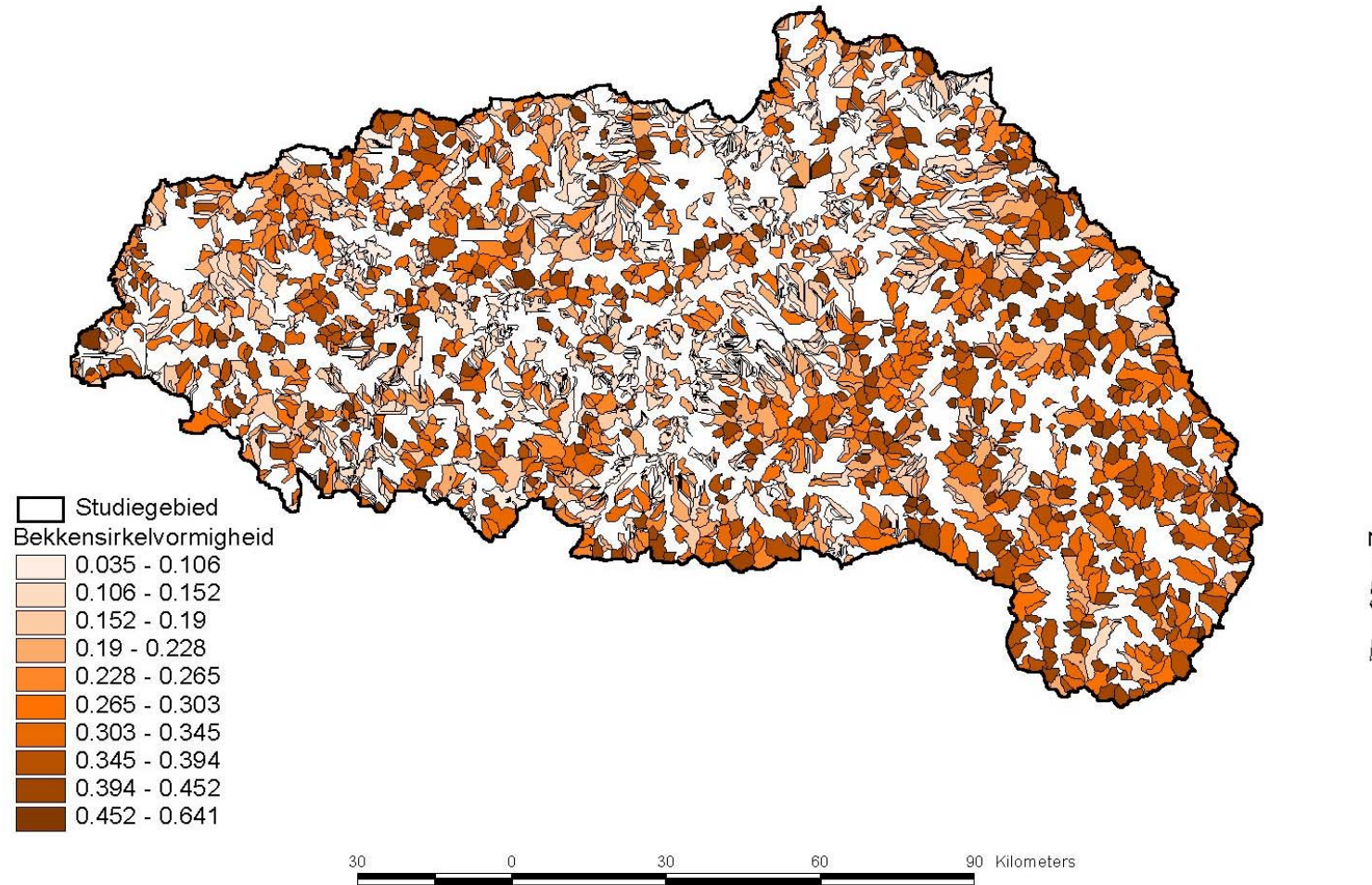
Figuur B3 Stroomlengte vir tweede-ordebekkens



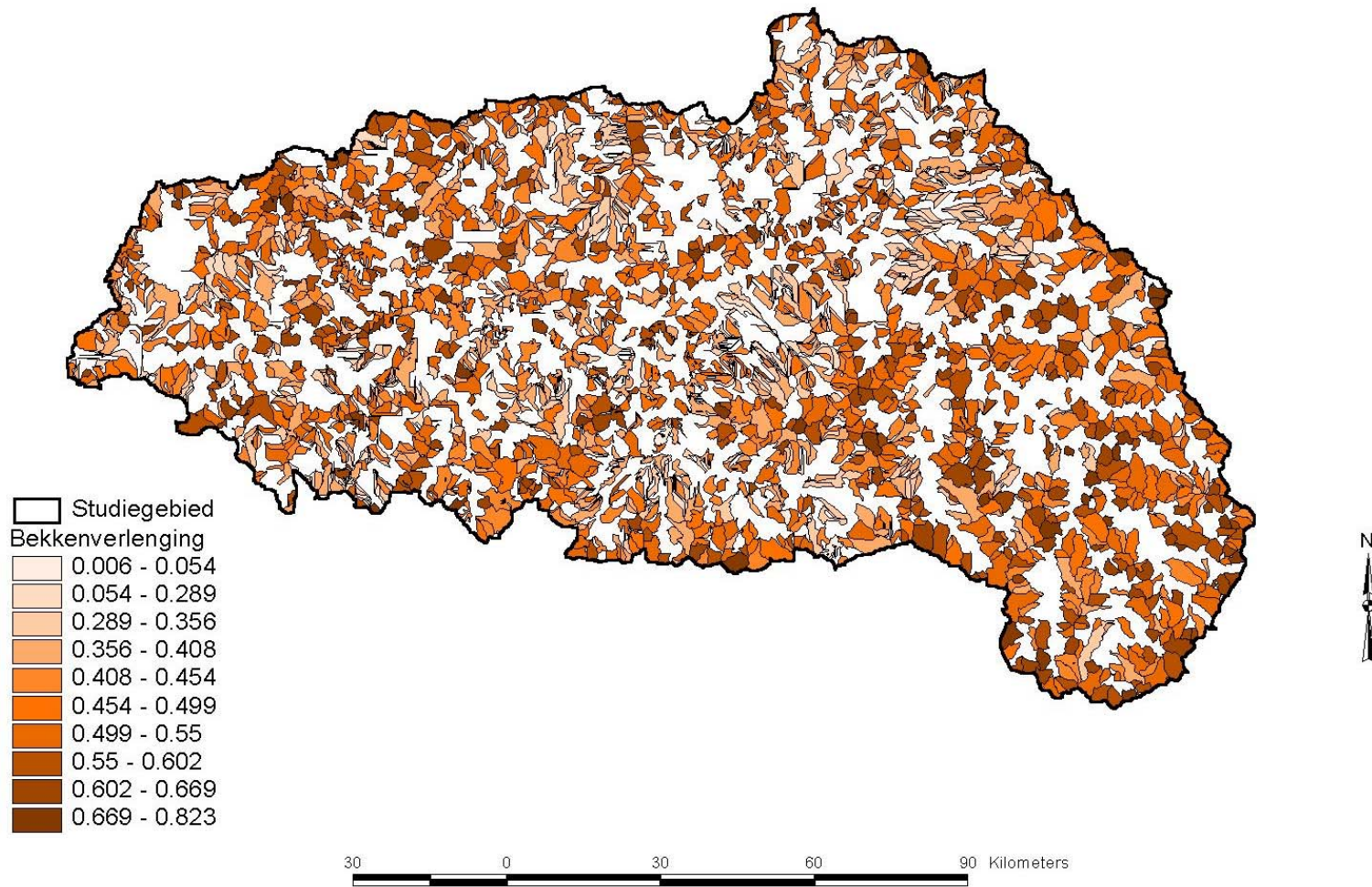
Figuur B4 Bekkenomtrek



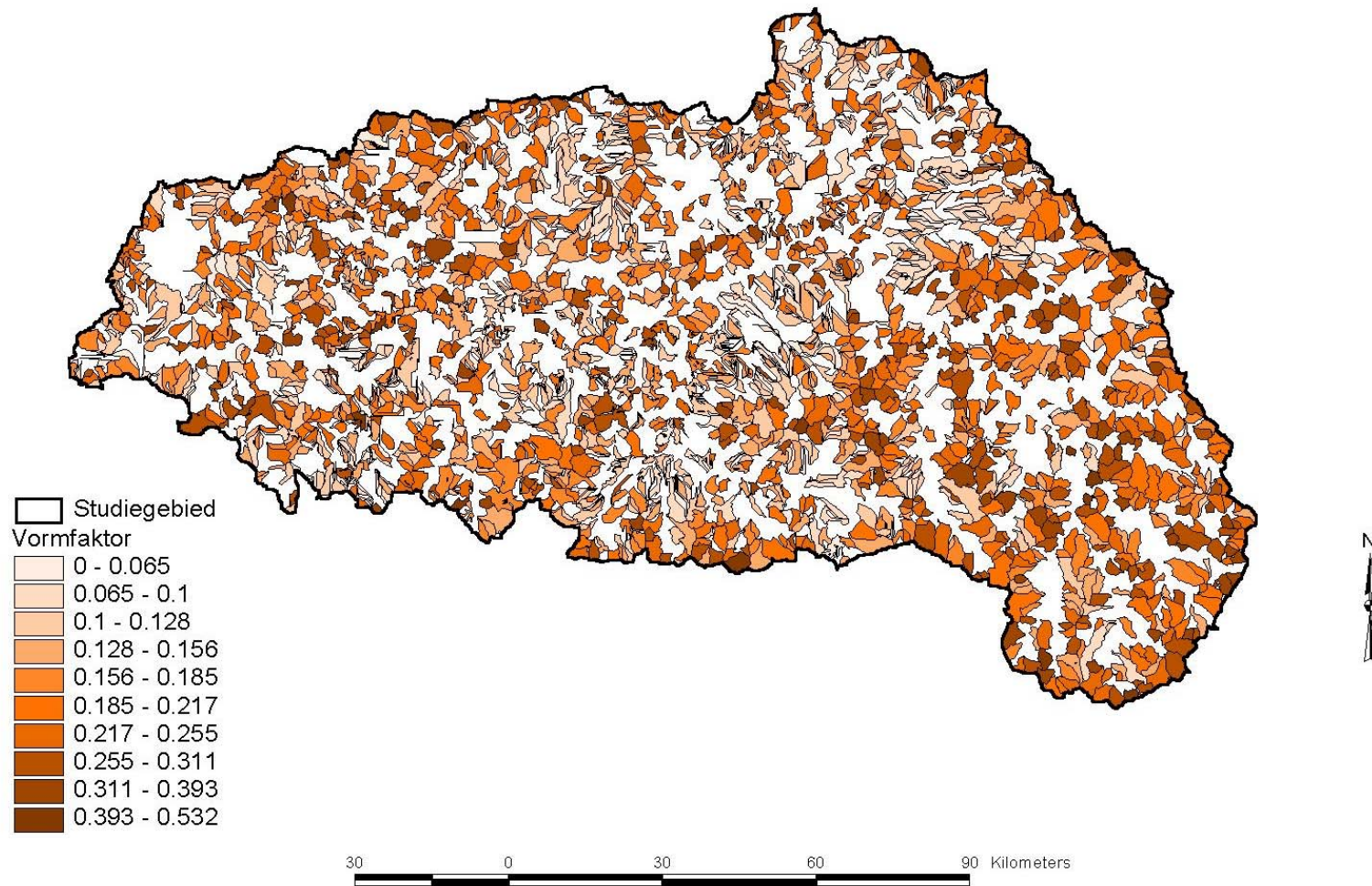
Figuur B5 Vloeilengte



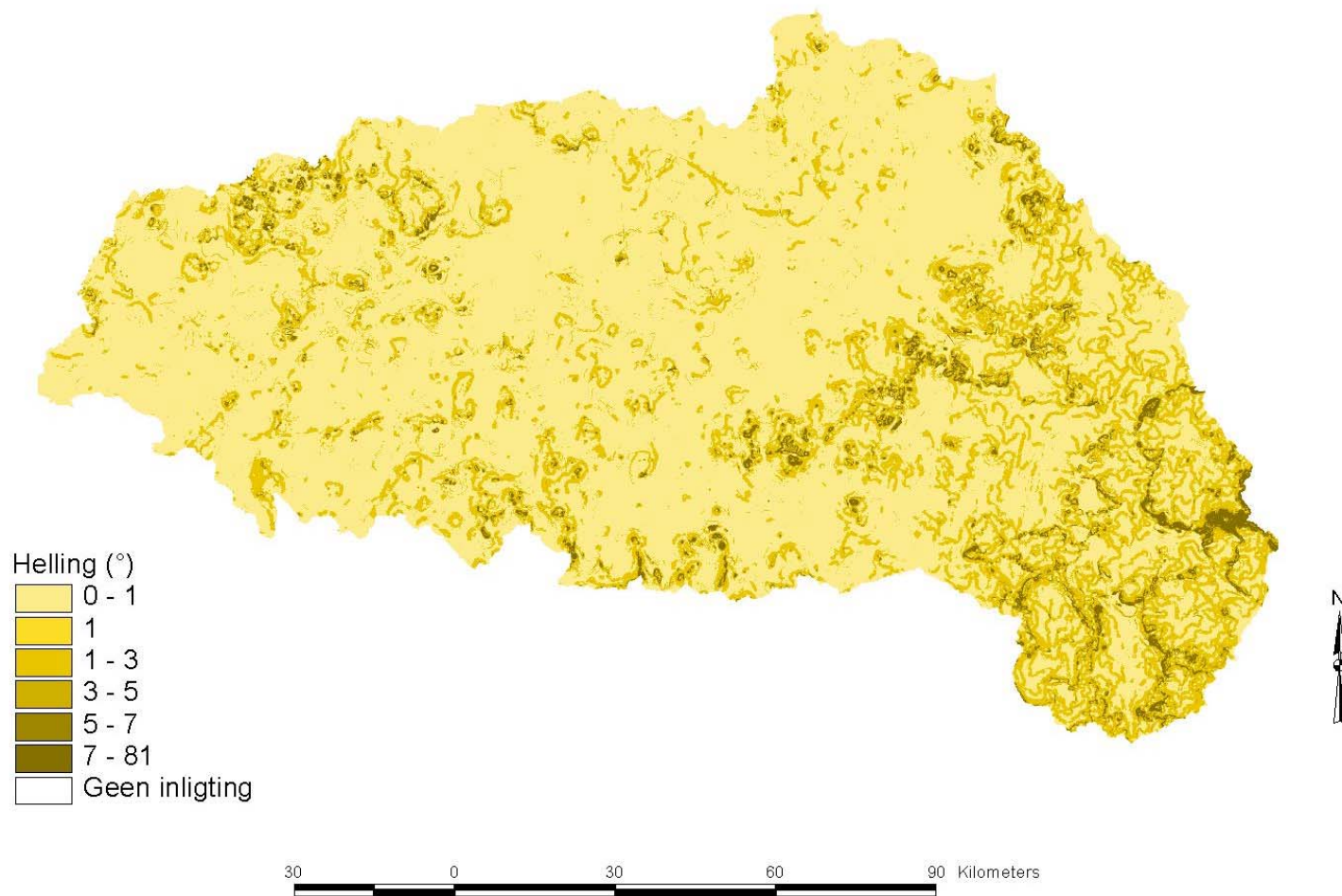
Figuur B6      Sirkelvormigheid



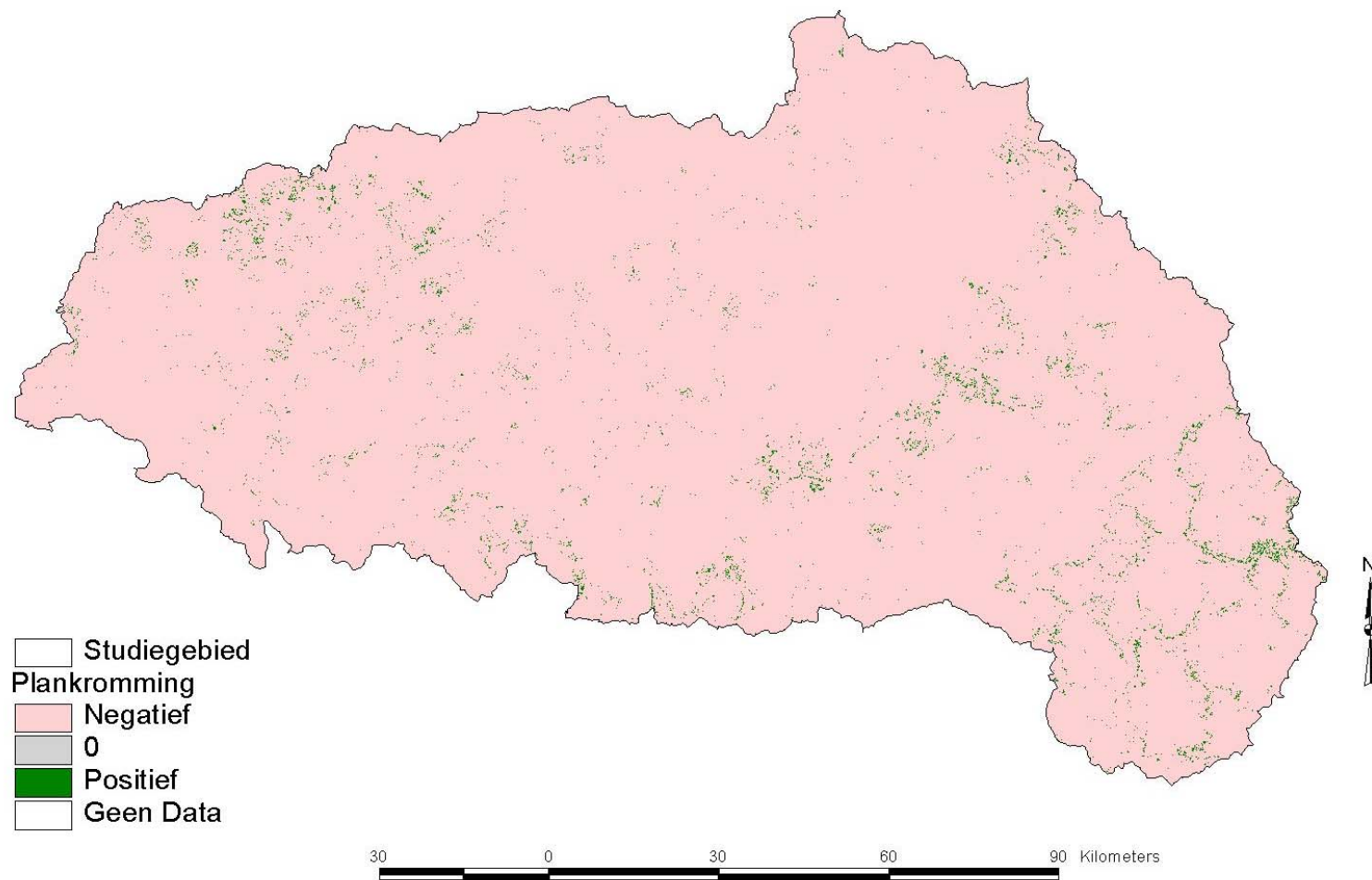
Figuur B7 Bekkenverlenging



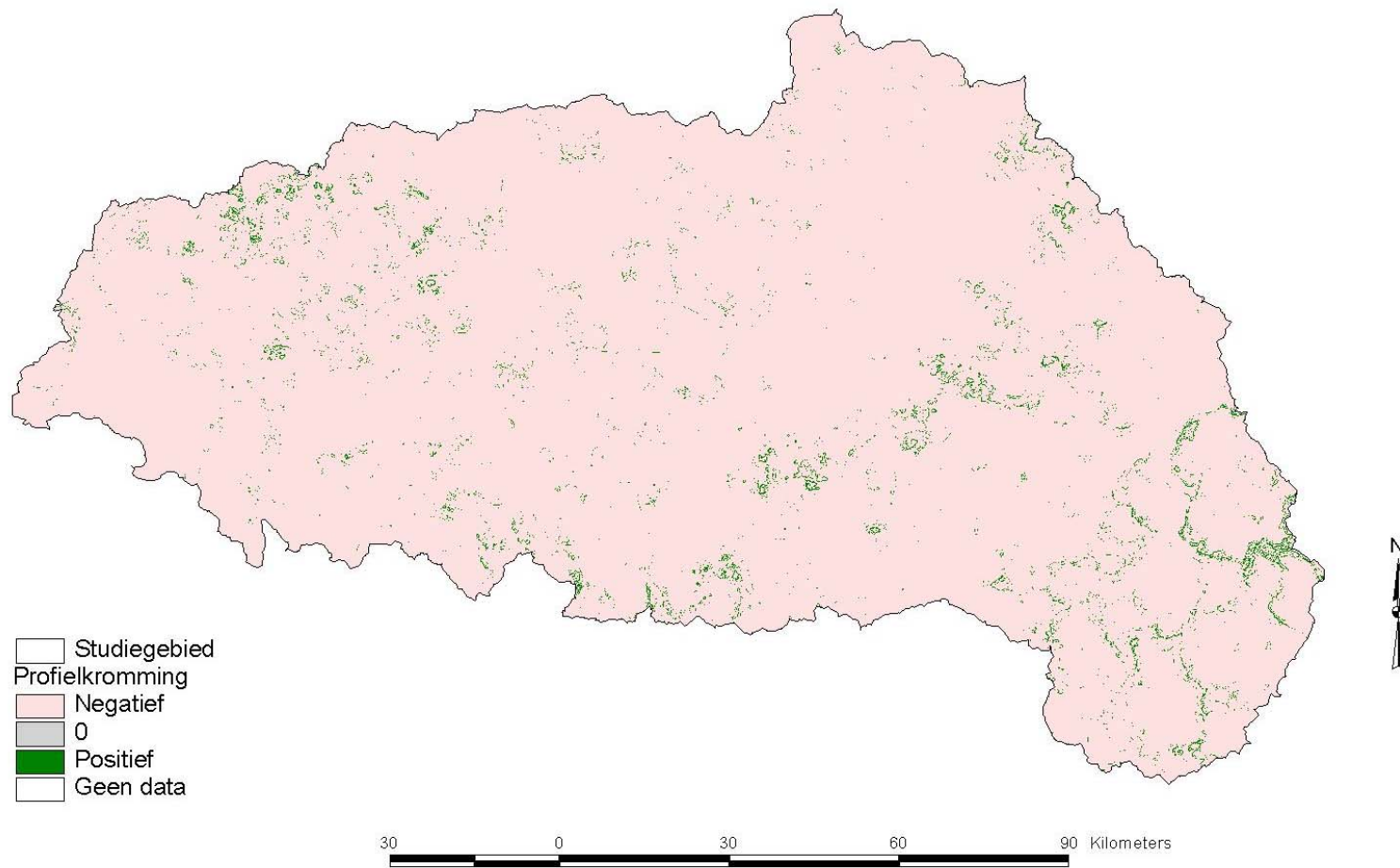
Figuur B8 Vormfaktor



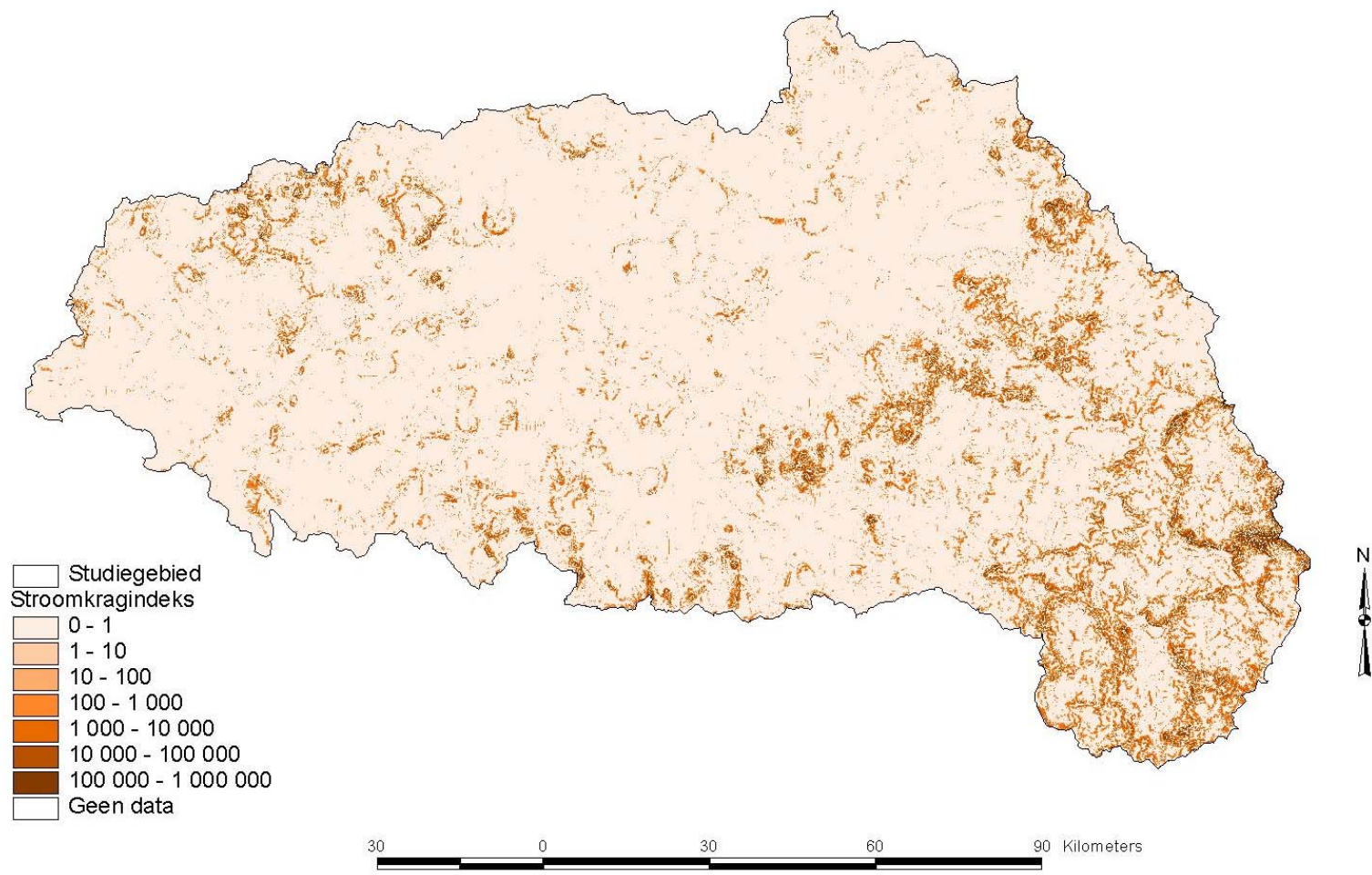
Figuur B9 Helling



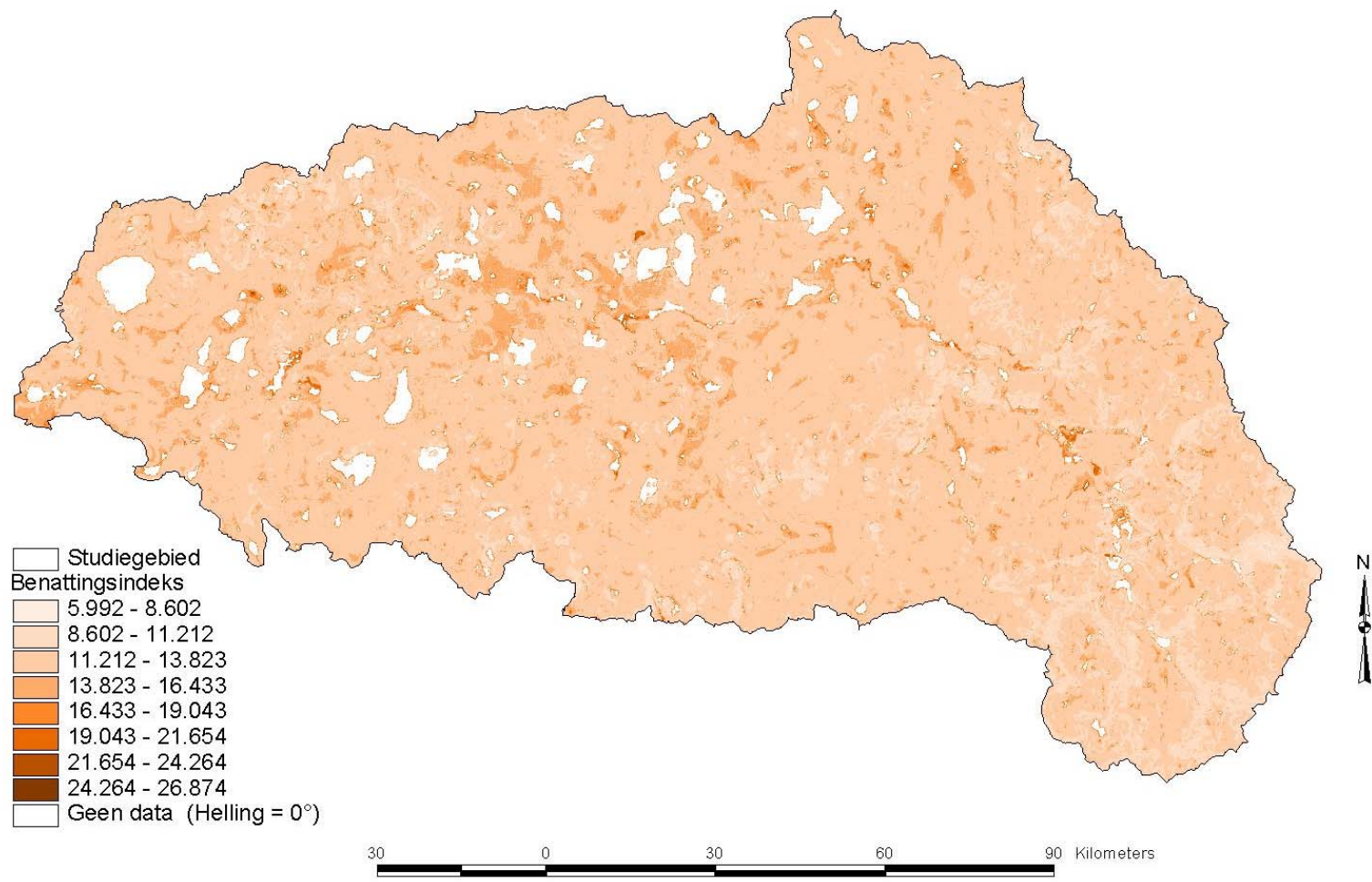
Figuur B10 Plankromming



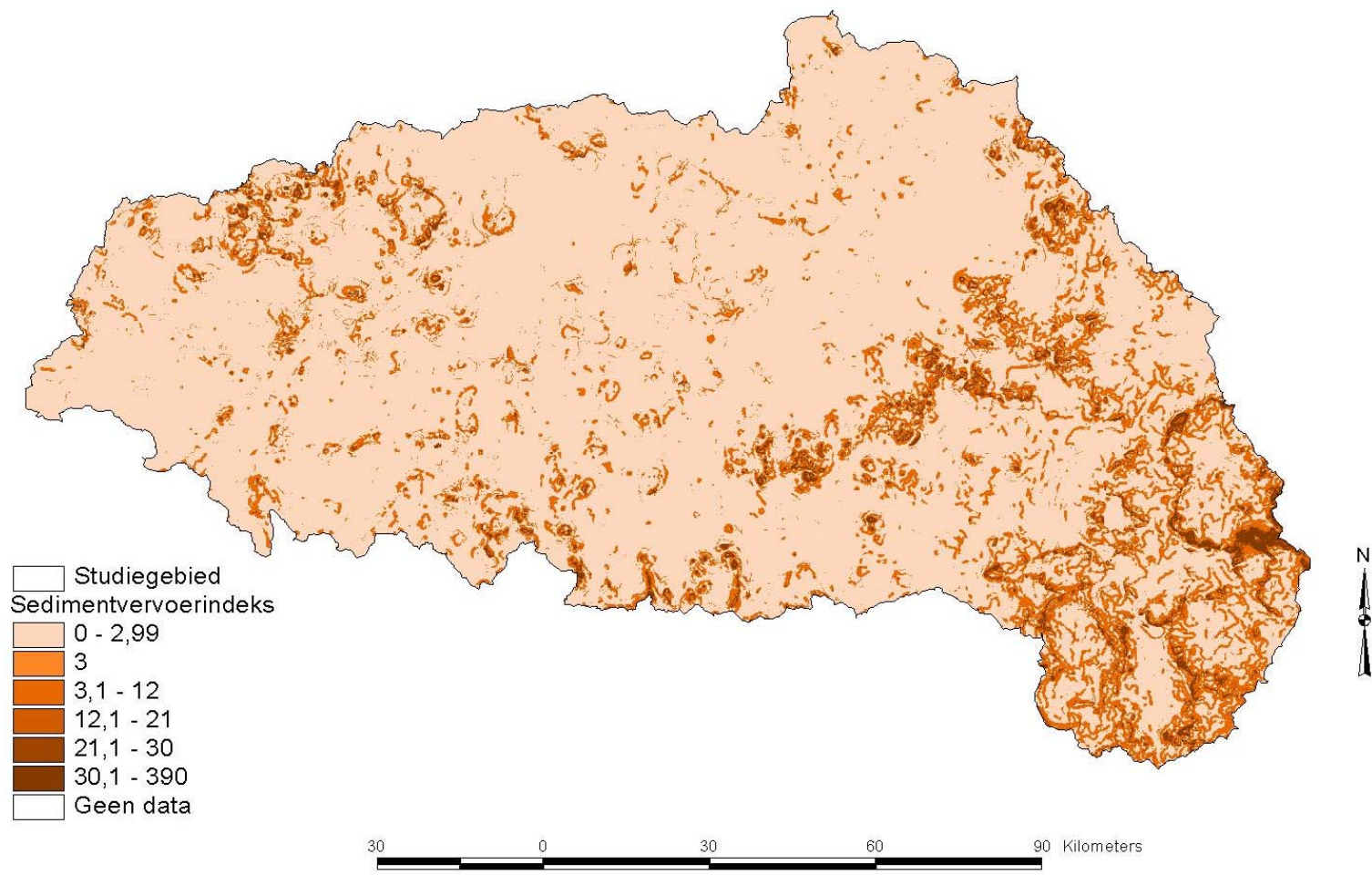
Figuur B11 Profielkromming



Figuur B12 Stroomkragindex



Figuur B13 Benattingsindeks



Figuur B14 Sedimentvervoerindex

Bylae C Metadata

Tabel C1      Kontoerdata

Parameter	Metadata
Databerging	ArcView vormlêer
Opsomming	
Oorsprong	Hoofdirekteur, Opmeting en Kartering
Skaal	1 : 50 000
Projeksie	Gauss konform
Datum	Kaap (Clarke 1880)
Kaarteenhede	Desimale grade
Metode van versameling	Skandering en vektorisering
Opdatering	
Verwerking	
Verandering in projeksies	Gauss konform na Albers gelyke area
Verandering in datum	Kaap na Hartbeesthoek94 (WGS 84)
Veranderinge in datamodel	Polilyne na punte
Veranderinge in attribute	X- en Y-waardes verander na meter vanaf standaard lengtelyn en ewenaar Z waarde van polilyn is toegeken aan punte, die ligging en hoogte van driehoeksbakens is nie verander nie
Projeksies	
Tipe	Albers se gelyke area projeksie
Parameters	Standaard lengtelyn: 24°E Standaard breedte: 18°S en 32°S
Ruimtelike datamodel	
dataprimitiese	Punte
topologie	NVT
Objekkodering	
Definisie	X      Desimale grade Suid, Y      Desimale grade Oos, Z      Hoogte in meter bo gemiddelde seevlak soos bepaal in Kaapstad
Klassifikasie	NVT
Geografiese dekking	28°15' en 29°45' Suid 24°30' en 27° Oos
Liggingsakkuraatheid	Binne 39,5m
Topologiese akkuraatheid	NVT
Grafiese voorstelling	Punte

Tabel C2 Digitale terreinmodel

Parameter	Metadata
Databerging	ArcView ruitlêer
Opsomming	
Oorsprong: Skaal Projeksie Datum	Albers se gelyke area Hartbeesthoek '94 (WGS84)
Metode van versameling	Interpolasie vanaf hoogtepunte (punte.shp)
Opdatering	2000
Verwerking Verandering in projeksies Verandering in Datum Veranderinge in datamodel Veranderinge in attribute	NVT NVT Punte na raster Interpolasie deur Universele kriging met kwadratiese drywing
Projeksie Tipe Parameters	Albers se gelyke area projeksie Standaard lengtelyn: 24°E Standaard breedte lyn: 18°S en 32°S
Ruimtelike datamodel Dataprimitiese Grootte Topologie	Ruite 50 X 50m NVT
Objektkodering Definisie	X Desimale grade Suid, Y Desimale grade Oos, Z Hoogte in meter bo gemiddelde seevlak soos bepaal in Kaapstad
Klassifikasie	Kontoerinterval 50m
Geografiese dekking	28°15' en 29°45' Suid 24°30' en 27° Oos
Liggingsakkuraatheid	
Topologiese akkuraatheid	NVT
Grafiese voorstelling	Ruite

Bylae D Kaarte soos vir die studie gebruik

Tabel D1 1:50 000 Topografiese kaarte

Indeksno.	Naam	Indeksno.	Naam
2824DA	Barkly-Wes	2824DB	Kimberley
2824DC	Spyfontein	2824DD	Beaconsfield
2825BD	Inkpan	2825CA	Boshof
2825CB	Blaauwbosch	2825CC	Perdeberg
2825CD	Cheddar	2825DA	Elandsfontein
2825DB	Dealesville	2825DC	Wolwespruit
2825DD	Krugersdrif	2826AC	Bultfontein
2826AD	Vendusiespruit	2826BC	Theunissen
2826CA	Soutpan	2826CB	Brandfort
2826CC	Florisbad	2826CD	Glen
2826DA	Eensgevonden	2826DC	Gerritsrus
2826DD	Verkeerdevlei	2924BA	Modderrivier
2924BB	Jacobsdal	2924BD	Bloubankdrif
2925AA	De Werf	2925AB	Petrusburg
2925AC	Koffiefontein	2925AD	Heuningberg
2925BA	Immigrant	2925BB	De Brug
2925BC	Houthaalberg	2925BD	Hagesdam
2926AA	Bloemfontein	2926AB	Maselspoort
2926AC	Tierpoortdam	2926AD	Leeukop
2926BA	Sannaspos	2926BB	Thaba Nchu
2926BC	Meadows	2926BD	Eureka
2926CB	Klipfontein	2926DA	Dewetsdorp
2926DB	Jammerdrif	2927AA	Tweespruit
2927AC	Thaba Phatshwa		

Tabel D2 1:250 000 Topokadastrale, Landtipe en Geologiese kaarte

2824	Kimberley
2826	Winburg
2924	Koffiefontein
2926	Bloemfontein

Tabel D3      Lugfoto's

Taak	Strook	Fotonommer	Opmerking
899/86	6	2640 – 2683	
	7	1583 – 1644	
	8	2493 – 2550	
914/88	1	1038 – 1090	Elke 2 <sup>e</sup> foto
	2	984 – 1026	Elke 2 <sup>e</sup> foto
915/88	1W	126 – 160	Elke 2 <sup>e</sup> foto
	2W	1162 – 1206	Elke 2 <sup>e</sup> foto
	3W	1070 – 1088	Elke 2 <sup>e</sup> foto

Tipe	Parameter	Simbool
Bs	Aantal strome	COUNT
Bs	Dreineringsdigtheid	DD
Bs	Stroomlengte	S_LENGTH
Bs	Vloeilengte	F_LENGTH
Bb	Bekkenlengte	B_LENGTH
Bb	Bekkenomtrek	PERIMETER
Bb	Bekkenoppervlakte	HECTARES
Bb	Helling (°)	SLDEG
Bb	Hoogte bo seevlak	ALT
Bb	Reliëf	REL
Bv	Sirkelvormigheid	CIRCLE
Bv	Verlengingsverhouding	ELONG
Bv	Vormverhouding	BV_SHAPE
P1	Bedekking	C_LU
P1	Erodeerbaarheid	K
P1	Erosie	USLE_LU
P1	Erosiwiteit	R
P1	Helling-lengteverhouding	LS
P2	Benattingsindeks	WET
P2	Plankromming	PLAN
P2	Profielkromming	PROF
P2	Sedimentvervoerindeks	TPT
P2	Stroomkragindeks	POW
P2	Vloeiakkumulاسie	FACC

