

Die toepassing van GIS en afstandwaarnemingstechnologie in die 3D modellering van rotskuns: Bosworth- plaas gevallestudie

L Boardman

 **orcid.org/0000-0003-4176-7614**

Verhandeling aanvaar ter nakoming vir die graad *Magister
Scientiae in Geografie en Omgewingsbestuur* aan die
Noordwes-Universiteit

Studieleier: Dr TC de Klerk
Mede-studieleier: Dr A Lamprecht

Met dank aan

SA Akademie vir Wetenskap en Kuns vir hul finansiële ondersteuning

asook

dr. Neil Orford, eienaar van Bosworth-plaas, vir sy deurlopende geduld en
vriendelikheid

OPSOMMING

Rotskunsdata word huidiglik digitaal beskikbaar gestel by wyse van diverse databasisse, toegerus met beperkte navorsingsvermoë. Die globale verspreiding van rotskuns kompliseer die navorsing daarvan en noodsaak navorsers om op hierdie aanlyn-beskikbaarheid daarvan staat te maak. Sou van die elemente in só 'n kunswerk blyk onduidelik te wees, moet individueel na aanlyn-toepassings gesoek word wat moontlike verhoogde sigbaarheid daarvan kan meebring. Hierdie studie poog om hierdie behoefte te vul deur die skep en beskikbaarstelling van 'n aanlyn-datamodel met rotskuns wat aan die gebruiker ingeboude afstandanaliseerbare sagteware-instrumente met betrekking tot die data bied.

Petrogliewe van Bosworth-rotskunsterrein is vir hierdie doel gedokumenteer en voorgestel in konteks van hul onmiddellike omgewing, naamlik die betrokke rotse en terrein. Om hierdie data aanlyn beskikbaar te stel, is 'n webtoepassing geskep en analiseringsvermoë ingebou in terme van vergroting, manipulasie van hellingshoek, toekenning van nuwe kleurskasies, asook die werp van 'n digitale ligstraal oor die kunswerke. 'n Kombinasie van hierdie ingeboude analiseringsfunksionaliteite is dan beskikbaar vir toepassing op beide 2D én 3D uitbeeldings van elke kunswerk in kleur sowel as monochroom.

Sleuteltermes: Rotskuns, Bosworth, petrogliewe, 3D modellering, afstandwaarneming

ABSTRACT

Rock art data is currently made available digitally by means of diverse databases, equipped with limited research capabilities. The global distribution of rock art complicates its research and forces researchers to rely on its online availability. Should some of the elements in such an artwork appear to be unclear, online applications that could lead to the possible enhancement of it must be sought on an individual basis. This study seeks to meet this need by creating and making available an online data model containing rock art that provides the consumer with built-in distance analysis software tools related to the data.

Petroglyphs of Bosworth rock art site have been documented and presented for this purpose in context of their immediate surroundings, namely the rocks and site concerned. To make this data available online, a web application has been created with built-in analytics capabilities in terms of magnification, manipulation of the viewing angle, allocation of new colour spaces, as well as the casting of a digital light beam over the artworks. A combination of these built-in analysis functionalities is then available for application to both 2D and 3D depictions of each artwork in colour as well as monochrome.

Keywords: Rock art, Bosworth, petroglyphs, 3D modelling, remote sensing.

IHOUDSOPGAWE

OPSOMMING	ii
ABSTRACT	iii
HOOFSTUK 1: INLEIDING	1
1.1 Agtergrond	1
1.2 Probleemstelling	2
1.3 Probleemvraag en doelwitte	4
1.4 Hoofstukindeling	5
1.5 Gevolgtrekking	6
HOOFSTUK 2: LITERATUURSTUDIE	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Rotskuns	7
2.2.1 Definisies	7
2.2.2 Klassifikasies	8
2.2.2.1 Algemene waarneming	8
2.2.2.2 Wetenskapgebaseerde klassifisering	11
2.2.3 Die interpretasie van rotskuns	13
2.2.3.1 Ingeligte metodes	14
2.2.3.2 Formele metodes	14

2.2.3.3	Kontekstuele-benadering	14
2.2.3.4	Interpretatiewe uitdagings	15
2.3	Rotskuns – Internasionale konteks	16
2.3.1	Voorkoms en bedreigings	16
2.3.2	Organisasies	18
2.3.3	Internasionale riglyne en hulpmiddels	19
2.3.4	Bestuursraamwerke	21
2.4	Rotskuns in Suid-Afrika	24
2.4.1	Inheemse kunstenaars	24
2.4.2	Voorkoms	25
2.4.3	Oudste ter wêreld	27
2.4.4	Organisasies	27
2.4.5	Wetgewing	29
2.4.6	Bestuursraamwerke	30
2.5	Navorsingsmetodiek	31
2.5.1	Tradisionele metodes	32
2.5.2	Nuwe tegnologiese metodes	33
2.6	Digitale argeologie	35
2.6.1	Wat is digitale argeologie	35

2.6.2	Wetgewende raamwerk	35
2.6.3	Metodes	37
2.6.3.1	Dokumentering	38
2.6.3.2	Verwerking	39
2.6.3.3	Waarneembaarheidsmanipulering	41
2.6.3.4	Voorstelling	42
2.6.4	Voordele vir Suid-Afrika	43
2.7	Gevolgtrekking	45
HOOFSTUK 3:	METODOLOGIE	46
3.1	Inleiding	46
3.2	Navorsingsmetodiek in rotskuns	46
3.2.1	Beskrywing	46
3.2.1.1	Voordele	49
3.2.1.2	Nadele	50
3.3	Multinavorsingsmodel	51
3.3.1	Dokumentering	51
3.3.2	Verwerking van data	53
3.3.3	Voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering	53
3.4	Geografiese inligtingstelsels (GISs) en argeologie	54

3.4.1	Wat is geografiese inligtingstelsels (GISs)	54
3.4.2	Basiese konsepte van geografiese inligtingstelsels (GISs)	57
3.4.2.1	Datastrukture	57
3.4.2.2	Geodatabasisse	60
3.4.2.3	Kaarte	61
3.4.2.4	Skaal	62
3.4.3	Koördinaatstelsels	63
3.4.3.1	Geografiese koördinaatstelsels (GKSs)	63
3.4.3.2	<i>Datums</i>	63
3.4.3.3	Geprojekteerde koördinaatstelsels	63
3.4.4	Voorstelling van ruimtelike entiteite in geografiese inligtingstelsels (GISs)	65
3.4.5	Geografiese inligtingstelsel (GIS)-sagteware in die 2D modellering van kulturele terreine	66
3.5	Afstandwaarnemingstegnologie en argeologie	67
3.5.1	Wat is afstandwaarnemingstegnologie?	67
3.5.2	Fotogrammetrie en argeologie	68
3.5.2.1	Fotogrammetriese dokumenteringsinstrumente	69
3.5.2.2	Fotogrammetriese tegnieke	74
3.6	3D modellering van beelddata	76

3.6.1	Volumemodellering	76
3.6.2	Oppervlakmodellering	78
3.6.3	Beeldgebaseerde modellering (BGM)	79
3.7	Verwerking tot waarneembaarheidsmanipulering en voorstelling in argeologie	80
3.7.1	Sagteware	81
3.7.1.1	<i>Drone2Map</i>	83
3.7.1.2	<i>Colmap</i>	84
3.7.1.3	<i>Blender</i>	85
3.7.1.4	<i>Materialize</i>	85
3.7.1.5	<i>False Color</i>	86
3.7.1.6	<i>Unity</i>	86
3.7.1.7	<i>Angular</i>	87
3.8	Beplande metodologiese vloei	87
3.9	Gevolgtrekking	93
HOOFSTUK 4:	BOU VAN DIE MULTINAVORSINGSMODEL	94
4.1	Inleiding	94
4.2	Studieterrein	94
4.3	Lugfotogrammetrie	95
4.3.1	Toerusting	95

4.3.2	Dokumentering van die terrein met die onbemande vlugstelsel (OVS)	95
4.3.2.1	Probleme wat ondervind is tydens dokumentering van die terrein	97
4.3.3	Fase 1 verwerkings	99
4.3.3.1	Verwerkings in <i>Drone2Map</i>	99
4.3.3.2	Verwerking in <i>Paint</i>	101
4.4	Terrestriële fotogrammetrie	102
4.4.1	Toerusting	102
4.4.2	Dokumentering van die voorafgeïdentifiseerde rotse met die digitale enkellens refleks (DELR)-kamera	102
4.4.2.1	Uitdagings tydens die dokumentering van die individuele rotse en Kunswerke	104
4.4.3	Fase 1 verwerkings: Multibeeld fotogrammetrie	105
4.4.3.1	Verwerkings in <i>Colmap</i>	105
4.4.3.2	<i>Blender</i> as afrondingsinstrument	109
4.4.4	Fase 1 verwerkings: Enkelbeeld fotogrammetrie	112
4.4.4.1	Verwerking in <i>Materialize</i>	112
4.4.4.2	Verwerking in <i>OnlineJPGtools</i>	115
4.5	Fase 2 verwerkings: Integrasie van digitale eindprodukte	117
4.5.1	Afdeling A	117
4.5.2	Afdeling B	119

4.5.3	Afdeling C	121
4.5.4	Vloei van die <i>WebGL</i>	125
4.6	Skep van webtoepassing	126
4.6.1	Landingsbladsy	126
4.6.2	Inbou van die <i>WebGL</i>	129
4.7	Gevolgtrekking	130
HOOFSTUK 5: GEVALLESTUDIE: BOSWORTH-ROTSKUNSTERREIN		131
5.1	Inleiding	131
5.2.	Agtergrond	131
5.2.1	Fisiese omgewing	131
5.2.2	Geskiedenis	133
5.3	Die rotskuns	133
5.3.1	Navorsing op die terrein	136
5.3.2	Suid-Afrikaanse Erfenis Hulpbron Agentskap (SAEHA)	137
5.4	Rotskunswerke op studieterrein wat geïdentifiseer is vir die toepassing van hierdie studie	138
5.5	Voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering: Effektiviteit van die multinaavorsingsmodel	142
5.5.1	Landingsbladsy met subbladsye	142
5.5.2	Afdeling A en B	147

5.5.3	Afdeling C	149
5.5.3.1	BF01-01 (Renosters)	149
5.5.3.2	BF02-01 (Sjamaan)	158
5.5.3.3	BF03-01 (Jagtoneel)	167
5.5.3.4	BF04-01 (Seekoei)	176
5.6	Aanlyn-beskikbaarheid van die multinaavorsingsmodel	185
5.7	Gevolgtrekking	185
HOOFSTUK 6:	SAMEVATTING EN GEVOLGTREKKING	186
6.1	Inleiding	186
6.2	Samevatting	186
6.3	Gevolgtrekking	190
6.4	Toekomstige toepassing	190
BRONNELYS		192
BYLAE A : SCRIPTS		220

LYS VAN TABELLE

Tabel 2.1:	Lys van Wêrelderfenisgebiede: Rotskuns wat uitsluitlik uit petrogliewe bestaan	20
Tabel 2.2:	Dokumenteringsmetodes	38
Tabel 2.3:	Verwerkingsagteware	40
Tabel 2.4:	Programmatuur om waarneembaarheidsmanipulering toe te pas	42
Tabel 2.5:	Platforms om rotskunsdata voor te stel	43
Tabel 3.1:	Die twee kategorieë hommeltuie	72
Tabel 3.2:	Die drie afdelings van die multinarvorsingsmodel	92
Tabel 4.1:	Berekening van die <i>GSD</i>	97
Tabel 4.2:	Aantal foto's van elke rots geneem per hoogtegraad	103
Tabel 4.3:	Verwerkingstyd van data per kompleet rots	107
Tabel 4.4:	Verwerkingstyd van data per rotspaneel	108

LYS VAN FIGURE

Figuur 2.1:	In die Swartgrotte in die Laer Pecos Canyonlands. 'n Groot antropomorfiese figuur met horingrige verlengings aan die arms	9
Figuur 2.2:	Rotskuns in die Maclear Distrik in die Oos-Kaap met figure wat oor zoomorfiese eienskappe beskik	10
Figuur 2.3:	Suider-Afrika se rotskunsstreke soos ingedeel deur Van Riet Lowe en Willcox	26
Figuur 3.1:	Die skep van 'n multinaavorsingsmodel	52
Figuur 3.2:	GIS in raster- en vektorlae	58
Figuur 3.3:	Voorstelling van 'n OVS	71
Figuur 3.4:	Die <i>SfM</i> -tegniek	75
Figuur 3.5:	Voorbeelde van volumegebaseerde ruimtelike entiteite	77
Figuur 3.6:	Voorbeelde van oppervlakgebaseerde voorstellings	78
Figuur 3.7:	Metodologiese vloei van studie	88
Figuur 4.1:	Die vlugplan wat gevolg is, naamlik " <i>mowing the lawn</i> "	96
Figuur 4.2:	Versteurde beelde in die geskepte ortomosaïek-kaart na aanleiding van die rukwinde wat ervaar is tydens die dokumentering van die terrein	97
Figuur 4.3:	Die voorafbeplande opname terrein met die gedeelte van die ortomosaïek-kaart wat wel geskep kon word met die ingesamelde data	98
Figuur 4.4:	Die spesifisering van die uitvoer- en invoer-lêers (met verwysing na elke foto se koördinate) in <i>Drone2Map</i>	99
Figuur 4.5:	Vluglyne en posisies van die hommeltuig met die neem van elke foto	100

Figuur 4.6:	Die identifisering en skakeling van GBPe in <i>Drone2Map</i>	100
Figuur 4.7:	Die geskepte ortomosaïek-kaart van die rotskunsterrein op Bosworth-plaas en die afronding by wyse van die ' <i>Clipping</i>	101
Figuur 4.8:	'n Tak van 'n boom kan regs in die foto gesien word, asook die ongelyke terrein rondom BF01-01	105
Figuur 4.9:	Voorverwerkingsopsies	106
Figuur 4.10:	Tydens BGM bereken die sagteware die hoeke vanwaar die foto's geneem is, asook die area wat deur die betrokke foto gedek word	107
Figuur 4.11:	Die geskepte 3D rotsmodel van BF01-01 oopgemaak in <i>Meshlab</i>	108
Figuur 4.12:	Die geskepte 3D oppervlakmodel van BF01-01 oopgemaak in <i>Meshlab</i>	109
Figuur 4.13:	Afrondingsproses in <i>Blender</i>	110
Figuur 4.14:	Resultaat van 'n afgeronde 3D oppervlakmodel soos toegepas op BF01-01	111
Figuur 4.15:	Oortollige beelddata word van die rots afgesny. Hier geïllustreer op BF01-01	111
Figuur 4.16:	Hier weer die resultaat van 'n afgeronde 3D rotsmodel soos toegepas op BF01-01. Die sirkel op die entiteit dui die middelpunt van die rots/oppervlak aan, dus die as waarom hy kan roteer in die multinaavorsingsmodel	112
Figuur 4.17:	Die petrogliewe vertoon aanvanklik ligter as die rots rondom	113
Figuur 4.18:	Nadat die kontras omgekeer is deur ' <i>Final Contrast</i> ' se waarde te verander na 'n negatiewe getal	114
Figuur 4.19:	In ' <i>Normal Map</i> ' verwerk	114
Figuur 4.20:	'n Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF01-01	115

Figuur 4.21:	Kleurfoto van BF01-01	116
Figuur 4.22:	Die monochroom ekwivalent van die BF01-01 se kleurfoto	116
Figuur 4.23:	Verwerking en inbou van die ortomosaïek-kaart in <i>Unity</i>	117
Figuur 4.24:	Die skep van Afdeling A in <i>Unity</i>	118
Figuur 4.25:	Die skep van Afdeling B in <i>Unity</i>	120
Figuur 4.26:	Verwerking van 'n 3D rotsmodel (BF01-01) in <i>Unity</i>	121
Figuur 4.27:	Die skep van Afdeling C in <i>Unity</i>	122
Figuur 4.28:	Die bou van Afdeling C in <i>Unity</i> . BF01-01A, die 3D oppervlakmodel, word hier in die verbruikersbeheerde verbindingsskanaal ingebou	124
Figuur 4.29:	Uitleg van landingsbladsy	127
Figuur 4.30:	Die 'About'-bladsy	127
Figuur 4.31:	'Animals'-bladsy met 'n 'Analyse'-opsie by elk van die uitbeeldings	128
Figuur 4.32:	Die 'Other Motifs'-bladsy met 'n vergroting van een van die rotskunswerke nadat die 'Enlarge'-opsie gekies is	128
Figuur 4.33:	Die 'Contact Us'-bladsy	129
Figuur 5.1:	Liggingskaart van Bosworth-terrein	131
Figuur 5.2:	Die area met die heuwel op die Bosworth-rotskunsterrein waarbinne die rotskunsterrein geleë is	132
Figuur 5.3:	'n Uitbeelding van 'n stormende renoster	134
Figuur 5.4:	'n Menslike figuur met 'n abstrakte motief bo die figuur	135
Figuur 5.5:	Petrogliewe wat bestaan uit datums en/of syfers	136

Figuur 5.6:	Die seekoei-petroglief met krapmerke oor	138
Figuur 5.7:	Die renosters	139
Figuur 5.8:	Die sjamaan	140
Figuur 5.9:	Rots met die jagtoneel	141
Figuur 5.10:	Die seekoei	142
Figuur 5.11:	Landingsbladsy met subbladsye	146
Figuur 5.12:	Afdeling A en B	148
Figuur 5.13:	2D Kleuruitbeelding van BF01-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	150
Figuur 5.14:	2D Kleuruitbeelding van BF01-01 na afloop van manipulering	150
Figuur 5.15:	2D Monochroomuitbeelding van BF01-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	151
Figuur 5.16:	2D Monochroomuitbeelding van BF01-01 na afloop van manipulering	152
Figuur 5.17:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF01-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering	153
Figuur 5.18:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF01-01 in kleur na afloop van manipulering	153
Figuur 5.19:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF01-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering	154
Figuur 5.20:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF01-01 in monochroom na afloop van manipulering	155
Figuur 5.21:	3D Oppervlakmodel van BF01-01A voor waarneembaarheidsmanipulering	155
Figuur 5.22:	3D Oppervlakmodel van BF01-01A na afloop van manipulering	156

Figuur 5.23:	Afdeling C – BF01-01 (Renosters)	157
Figuur 5.24:	2D Kleuruitbeelding van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	158
Figuur 5.25:	2D Kleuruitbeelding van BF02-01 na afloop van manipulering	159
Figuur 5.26:	2D Monochroomuitbeelding van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	159
Figuur 5.27:	2D Monochroomuitbeelding van BF02-01 na afloop van manipulering	160
Figuur 5.28:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF02-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering	161
Figuur 5.29:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF02-01 in kleur na afloop van manipulering	162
Figuur 5.30:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF02-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering	163
Figuur 5.31:	Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF02-01 in monochroom na afloop van manipulering	163
Figuur 5.32:	3D Oppervlakmodel van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	164
Figuur 5.33:	3D Oppervlakmodel van BF02-01 na afloop van manipulering	165
Figuur 5.34:	Afdeling C – BF02-01 (Sjamaan)	166
Figuur 5.35:	2D Kleuruitbeelding van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	167
Figuur 5.36:	2D Kleuruitbeelding van BF03-01 na afloop van manipulering	168
Figuur 5.37:	2D Monochroomuitbeelding van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	169
Figuur 5.38:	2D Monochroomuitbeelding van BF03-01 na afloop van manipulering	169

Figuur 5.39:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF03-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering	170
Figuur 5.40:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF03-01 in kleur na afloop van manipulering	171
Figuur 5.41:	Vertolkte 3D uitbeelding van BF03-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering	171
Figuur 5.42:	Vertolkte 3D uitbeelding van BF03-01 in monochroom na afloop van manipulering	172
Figuur 5.43:	3D Oppervlakmodel van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	173
Figuur 5.44:	3D Oppervlakmodel van BF03-01 na afloop van manipulering	173
Figuur 5.45:	Afdeling C – BF03-01 (Jagtoneel)	175
Figuur 5.46:	2D Kleuruitbeelding van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	176
Figuur 5.47:	2D Kleuruitbeelding van BF04-01 na afloop van manipulering	177
Figuur 5.48:	2D Monochroomuitbeelding van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	177
Figuur 5.49:	2D Monochroomuitbeelding van BF04-01 na afloop van manipulering	178
Figuur 5.50:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF04-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering	179
Figuur 5.51:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF04-01 in kleur na afloop van manipulering	180
Figuur 5.52:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF04-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering	181
Figuur 5.53:	Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF04-01 in monochroom na afloop van manipulering	181

Figuur 5.54:	3D Oppervlakmodel van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering	182
Figuur 5.55:	3D Oppervlakmodel van BF04-01 na afloop van manipulering	182
Figuur 5.56:	Afdeling C – BF04-01 (Seekoei)	184

LYS VAN TERMES

3D skikking	-	<i>3D array</i>
Aanlyn-omskakelaar	-	<i>online converter</i>
Aanvullende werklikheid	-	<i>augmented reality</i>
Afstandbediener	-	<i>remote server</i>
Azimutaal	-	<i>azimuthal</i>
Beeldgebaseerde modellering	-	<i>image-based modeling</i>
Bergingsruimte	-	<i>repository</i>
Bevelreël	-	<i>command-line</i>
Bis	-	<i>bit</i>
Brandpunt	-	<i>focal length</i>
Databasisbestuurstelsel	-	<i>database management system</i>
Digitale enkellens reflekskamera	-	<i>digital single-lens reflex camera</i>
Digitale Hoogte Model	-	<i>Digital Elevation Model</i>
Digitale Oppervlak Model	-	<i>Digital Surface Model</i>
Digitale Terrein Model	-	<i>Digital Terrain Model</i>
Driehoekige onreëlmatige netwerk	-	<i>triangulated irregular network</i>
Dubbelvoudig	-	<i>biplanar</i>
Dwarsprojeksie	-	<i>transverse projection</i>
Eienskap	-	<i>attribute</i>
Eienskapsdomein	-	<i>attribute domain</i>
Eienskapsdata	-	<i>attribute data</i>
Eienskapstabel	-	<i>attribute table</i>
Formateer	-	<i>format</i>
Geoverwysing	-	<i>georeferencing</i>
Grondbeheerpunte	-	<i>ground control points</i>
Hoogtekaart	-	<i>elevation map</i>
Instrumente	-	<i>tools</i>
Internet karteringsdienste	-	<i>web mapping services</i>
Funksie	-	<i>feature</i>
Funksiedatastel	-	<i>feature dataset</i>

Funksieklas	-	<i>feature class</i>
Keëlvormig	-	<i>conical</i>
Kliëntbediener	-	<i>client-server</i>
Kliënttoepassing	-	<i>client application</i>
Knipbord	-	<i>clipboard</i>
Koppelvlak	-	<i>interface</i>
Kwadboom	-	<i>quadtree</i>
Multi-aansig stereo	-	<i>multi-view stereo</i>
Nutsbalk	-	<i>toolbar</i>
Okboom	-	<i>octree</i>
Oopbron	-	<i>open source</i>
Operasionele stelsels	-	<i>operating systems</i>
Poligoon	-	<i>polygon</i>
Polielyn	-	<i>polyline</i>
Puntwolk	-	<i>point cloud</i>
Rante	-	<i>edges</i>
Rekenaartoepassing	-	<i>desktop application</i>
Roostergebaseerde	-	<i>grid-based</i>
Skakel	-	<i>node</i>
Skuinsprojeksie	-	<i>oblique projection</i>
Speletjie-enjin	-	<i>game engine</i>
Stapel	-	<i>stack</i>
Sweefpunt	-	<i>floating-point</i>
Tetraëder	-	<i>tetrahedron</i>
Tetraedrale netwerk	-	<i>tetrahedral network</i>
Verstek	-	<i>default</i>
Vervorming	-	<i>distortion</i>
Verwerking	-	<i>post-processing</i>
Vlak	-	<i>facet</i>
Voorkant	-	<i>frontend</i>
Vorming	-	<i>rendering</i>
Webblaaier	-	<i>web browser</i>

Zoem

-

zoom

LYS VAN AFKORTINGS

<i>ACT</i>	-	<i>African Conservation Trust</i>
<i>ADRC</i>	-	<i>Archaeological Data Recording Centre</i>
BGM	-	Beeldgebaseerde Modelling
<i>BP</i>	-	<i>Before Present</i>
BV	-	Bemande Vlug
<i>CARAD</i>	-	<i>Central Asian Rock Art Database</i>
<i>CAR</i>	-	<i>International Committee on Rock Art</i>
<i>CARE</i>	-	<i>Collaborative Algorithmic Rendering Engine</i>
CMOS	-	Komplementêre Metaaloksied Halfgeleier
CSS	-	<i>Cascading Style Sheets</i>
DBBS	-	Databasisbestuurstelsel
DKK	-	Nasionale Departement van Kuns en Kultuur
DELR-kamera	-	Digitale Enkellens Refleks-kamera
DG	-	Desimale Grade
DHM	-	Digitale Hoogte Model
DLS	-	Draagbare Laserskandeerder
<i>DStretch</i>	-	<i>Decorrelation Stretch</i>
DTM	-	Digitale Terrein Model
DOM	-	Digitale Oppervlak Model
DON	-	Driehoekige Onreëlmatige Netwerk
EIE	-	Erfenis Inspektoraat Eenheid
<i>ESRI</i>	-	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
GBP	-	Grondbeheerpunte
GBS	-	Grondbeheerstasie
GIS	-	Geografiese Inligtingstelsel
GKS	-	Geografiese Koördinaatstelsel
GLONASS	-	Globale Navigasie Satellietstelsel
GMS	-	Grade-Minute-Sekondes
GNSS	-	Globale Navigasie Satellietstelsel
GPS	-	Globale Posisioneringstelsel

<i>GPU</i>	-	Grafikaverwerkingseenheid
<i>GSD</i>	-	Grondmonsterafstand
<i>HTML</i>	-	<i>HyperText Markup Language</i>
<i>ICCROM</i>	-	<i>International Centre for the Study of the Preservation and Conservation of Cultural Property</i>
<i>ICOMOS</i>	-	<i>International Council on Monuments and Sites</i>
<i>IFVA</i>	-	<i>International Forum of Virtual Archaeology</i>
<i>IMU</i>	-	<i>Inertial Measurement Units</i>
<i>INS</i>	-	<i>Inertial Navigation System</i>
<i>KSG</i>	-	Konstruktiewe Soliede Geometrie
<i>LCC</i>	-	<i>Lambert Conformal Conic</i>
<i>LLS</i>	-	Lugvaart Laserskandeerder
<i>MAS</i>	-	Multi-aansig Stereo
<i>NER</i>	-	Nasionale Erfenisraad
<i>OV</i>	-	Onbemande Vlug
<i>OVS</i>	-	Onbemande Vlugstelsel
<i>PEHO</i>	-	Provinsiale Erfenishulpbronowerheid
<i>RARI</i>	-	<i>Rock Art Research Institute</i>
<i>RPAS</i>	-	<i>Remotely Piloted Aircraft Systems</i>
<i>RTI</i>	-	<i>Reflectance Transformation Imaging</i>
<i>RTK</i>	-	<i>Real Time Kinematics</i>
<i>SAEHA</i>	-	Suid-Afrikaanse Erfenis Hulpbron Agentskap
<i>SAEHIS</i>	-	Suid-Afrikaanse Erfenishulpbroninligtingstelsel
<i>SD-kaart</i>	-	Veilige digitale-kaart
<i>SEAV</i>	-	<i>Spanish Society of Virtual Archaeology</i>
<i>SfM</i>	-	<i>Structure from Motion</i>
<i>SIFT</i>	-	<i>Scale Invariant Feature Transform</i>
<i>TEN</i>	-	Tetraedrale Netwerk
<i>TLS</i>	-	Terrestriële Laserskandeerder
<i>UNESCO</i>	-	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
<i>UTM</i>	-	<i>Universal Transverse Mercator</i>
<i>UUW</i>	-	Uitstaande Universele Waarde

WARA	-	<i>Archives of Rock Art</i>
WGS	-	<i>World Geodetic System</i>
WNNR	-	Suid-Afrikaanse Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1 Agtergrond

Rotskuns is ryk aan kultuurerfenis. Hierdie erfeniskategorie getuig hoe die mens in sy/haar kognitiewe ontwikkeling vanaf die vroegste tye 'n diepgewortelde skeppingsbehoefte gehad het om uitdrukking te gee aan perseptuele belewenisse en konsepvorming in sy/haar lewe. Só is 'n spoor van menswees nagelaat wat ryk is aan inligting. Deur rotskuns vandag te bestudeer en die rykdom van elemente daarvan te identifiseer en te interpreteer, neem die student op 'n veelbetekende reis terug na die kunstenaar se lewe, sy/haar moontlike ervarings, asook persepsies van die gebeure wat in die betrokke tydvak plaasgevind het. Hierdie primitiewe mens-skeppings gryp die verbeelding van die moderne student aan en sluit 'n legio van studiemoontlikhede oop.

Die bestudering van hierdie primitiewe ervaringsuitdrukkings op klip is opsigself 'n ryke ervaring vir enige student in Afrika, aangesien Afrika, suid van die Sahara, gereken word as een van die twee wêreldstreke waarin die meeste rotskuns voorkom.¹ 'n Beduidende aantal gekonsentreerde terreine met etlike duisende piktogramme (skilderinge) en petrogliewe (gravure) is in beide streke geïdentifiseer en opgeteken (Ego 2015:11).² Die voorkoms van hierdie prehistoriese kunsvorm is 'n wêreldwye verskynsel en word op bykans al die kontinente aangetref.³ Die globale voorkoms daarvan maak dat die bestudering van rotskuns as 'n wetenskap die toets van tyd deurstaan het en langer beoefen word as enige ander kunstradisie wat vanaf die Latere Steentydperk dateer (Sanz, 2012:505).⁴ 'n Moontlike rede wat voorgehou word waarom rotskuns so wyd voorkom en oor so 'n lang tydperk gemanifesteer het, is dat dit as 'n prehistoriese 'taal' gefunksioneer het waardeur mense oor die eeue heen hulself uitgedruk en sodoende gekommunikeer het. Hierdie wyse van uitdrukking het plaasgevind deur die skepping van universeel sintuiglik waarneembare beelde as grafiese karakters met 'verf' op rotse óf om op die rots te krap of stukkies daarvan uit te kap (McDonald & Veth 2012:491,494). 'n Afleiding wat hieruit gemaak kan word, is dat hierdie mensgemaakte skeppings deel kon wees van 'n uitgebreide stelsel van grafiese simbole wat gebruik is om onder andere uitdrukking te gee aan 'n kultuur se geloof, gedagtes, waardes, persepsie van 'n omgewing soos grense, ligging,

¹ Die ander wêreldstreek is Australië.

² Die woord *piktogram* verwys na die grafiese karakter op 'n rots wat geskilder is met 'n tipe vloeistof of stof, terwyl *petrogliewe* 'n samevoeging van twee Griekse woorde (rots, skryf) is en verwys na die gravering van 'n karakter op rots.

³ Antarktika is die enigste kontinent waarop nog geen rotskuns gevind is nie (McDonald & Veth 2012:505).

⁴ Die Latere Steentydperk is die derde en laaste fase van die Paleolitiese tydperk en dateer tussen 50 000 – 12 000 HE.

rigting, voedsel, vyand ens.; en sosio-kulturele konteks. Navorsers kan daarom stelselmatig 'n databasis begin opbou waarin klassifikasies van hierdie visuele vorme van kommunikasie waardeur inligting, idees en konsepte van prehistoriese kulture oorgedra is en waarvoor daar geen tradisionele (historiese) geskrewe tekste bestaan nie, opgestel kan word (Domingo Sanz, 2012:306).

Ongelukkig speel 'n ander werklikheid homself in die rotskuns-navorsing omgewing af: Alle aanduidings is dat die rotskuns wat vandag nog waarneembaar is waarskynlik net 'n gedeelte is van wat oor tyd heen geskep is (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2013:30). Navorsers is dit eens dat die huidige waarneembare rotskuns net 'n klein persentasie is van wat die meer omvattende en komplekse historiese werklikheid verteenwoordig. Daarom het navorsers reeds vir dekades lank ten doel om bewysmateriaal te vind van nóg rotskuns vir navorsingsdoeleindes en om sodoende die databank van inligting so volledig as moontlik te kan konstrueer. Hierdie wetenskaplike soeke na verifieerbare data verteenwoordig onder andere deel van 'n proses waartydens gepoog word om die ineengestrengelde legkaart van die ewolusie van die mensdom te ontrafel (López-Menchero Bendicho, 2013:269). Die geluk by die ongeluk, naamlik dat die rotskuns ook deel is van die legkaart waarvan die stukkie met tyd saam verlore gegaan het weens verskeie mensgemaakte- en omgewingsfaktore, is dat hierdie staat van verwerping geïdentifiseer is en gevolglik pro-aktief opgetree kan word.

1.2 Probleemstelling

Die grootste onmiddellike geïdentifiseerde probleem in die data-insameling is dat die rotse waarop die rotskuns geskep is, uitgelewer is aan antropogeniese- en natuurlike impakte: menslike handelinge, die natuurlike verbrokkeling van die rots, asook die verdowning van die rotskuns self, kan tot gevolg hê dat hierdie kultuurerfenis oor tyd heen heeltemal tot niet gaan. Gevolglik hou die voortdurende staat van verwerping van die rotse en rotskuns 'n groot bedreiging in vir die langtermynbewaring en navorsing van die rotskunswerke (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:27; Willcox, 1984:9; Hubbard *et al.*, 2018:153). In die proses van verwerping kan hierdie probleme lei tot nie-identifiseerbare of misinterpreteerbare rotskuns. Dus, indien die rotskuns nie bestudeer en gedokumenteer word voor dit verdof of finaal verdwyn het nie, kan dit finaal verlore wees vir die navorser en as inheemse kennissistiem (Helm *et al.*, 2011:8).

In 'n poging om hierdie verlies van nie net rotskunserfenis nie, maar ook kultuurerfenis in die algemeen die hoof te bied, het regeringsorganisasies, nie-regeringsorganisasies en individue verskeie metodes gevolg. Ongelukkig het van hierdie metodes meesal 'n negatiewe impak op die rotse, rotskuns en omgewing gehad en dit het gelei tot skade aan die langtermyn behoud

van die rotskunswerke (Plets *et al.*, 2012:142).

Met tyd het die visie ontwikkel dat rotskuns nie net gesien moet word as 'n onderwerp wat bestudeer moet word nie, maar wat deur innovasie, hervisualisering en die ontwikkeling van nuwe metodes en vroeë 'n sentrale bydrae kan lewer tot die vorming van die breër dissipline. Hierdie kruisbestuierende studieveld het nodig geword en is gedryf deur 'n samelewing met snel veranderende wetenskaplike metodes waaronder die digitale wêreld waarin ons leef, 'n rigtinggewende rolspeler is (Conkey, 2012:xxix). Só het 'n nuwe studieveld binne argeologie ontstaan, naamlik 'digitale argeologie' wat ondermeer raakvlakke het met studieveld soos argeologie, museumkunde, inligtingstechnologie en omgewingsbestuur (López-Mencheró Bendicho, 2013:270). Hierdie nuwe dissipline het ten doel om die langtermyn-bewaring en bestudering van rotskunsterreine 'n 'virtuele' werklikheid te maak deur rotskuns op 'n nie-indringende wyse te dokumenteer, te verwerk, te stoor en in 'n digitale vorm beskikbaar te stel (López-Mencheró Bendicho *et al.*, 2017:29-30). Die mees populêre toepassing van digitale tegnologie is om gebruik te maak van fotogrammetrie om óf slegs 2D uitbeeldings te skep óf, by wyse van die *Structure from Motion* (SfM)-tegniek⁵, 3D modelle te vorm van die terrein en/of entiteite (Willis *et al.*, 2016; Sonnemann *et al.*, 2016:78, 80).

Hierdie studie gaan hierby inspeel en poog om innoverend, aan die hand van bogenoemde nuwe wetenskaplike metodes, 'n leidende bydrae te lewer ter verwesenliking van 'n inter- en intra dissipline. In 'n poging om hierdie geprojekteerde bedreiging en probleem aan te spreek, word die volgende **hipotese** vir hierdie studie gestel:

Die optimale bewaring van rotskuns as databron kan gedoen word deur 'n digitale 2D GIS-terreinmodel te skep waarna fotogrammetrie en rekenaarprogrammatuur aangewend word om die rotskunsdata op te neem, te verwerk en op 'n interaktiewe basis beskikbaar te stel.

Die toepassing van tegnologie in die veld van rotskunserfenis in Suidelike Afrika toon 'n groot leemte in die digitale dokumentering, verwerking en beskikbaarstelling van rotskuns vir bewaring en navorsingsdoeleindes aan (Tomášková, 2015:231). Dit is slegs die Universiteit van die Witwatersrand en tot 'n mindere mate, die *African Conservation Trust* (ACT) wat tans digitaliseringsprojekte met betrekking tot rotskuns bestuur. Hierdie projekte is dan hoofsaaklik ook net toegespits op rotskuns in die Drakensberg in die oos-Vrystaat en KwaZulu-Natal. Daar is nog min of geen digitale bewaringsprojekte geloods op 'n groot aantal rotskunsterreine in ander dele van Suid-Afrika nie (ACT, 2020; WITS, 2019; Tomášková, 2015:223). Dit, terwyl die

⁵ Sien 3.5.2.2 vir 'n beskrywing van die SfM-tegniek

ryk data van hierdie rotskunsterreine besig is om verlore te gaan.

'n Voorbeeld van só 'n rotskunsterrein wat aan die negatiewe gevolge blootgestel is, en waarop nog min navorsing gedoen is, is geleë net noord van Klerksdorp in die Noordwes Provinsie. Hierdie rotskunsterrein, bekend as Bosworth-plaas, beskik oor meer as 600 antieke petrogliewe waarvan die agteruitgang daarvan reeds duidelik waarneembaar is (Ouzman 2001:24). Om digitale argeologiese tegnieke hier toe te pas kan verseker dat die data van hierdie petrogliewe nie vir die navorser verlore gaan nie. Om dus geografiese inligtingstelsels (GISs) en afstandwaarnemingstechnologie as metodes te gebruik om die rotskunsterrein te dokumenteer en toepaslike sagteware om die data te verwerk en uit te beeld, kan die digitale bewaring en toeganklikheid daarvan bevorder word. Hierdie doelwit kan bereik word deur 'n digitale ortomosaïek-kaart van die terrein te skep waarna fotogrammetrie en rekenaarprogrammatuur toegepas word om die rotskunsdata te dokumenteer, te verwerk en op 'n interaktiewe basis beskikbaar te stel. Die navorsers kry dus die geleentheid om die rotskunsterrein virtueel te besoek en die waarneembaarheid van die petrogliewe te manipuleer by wyse van geïntegreerde sagteware (Díaz-Guardamino *et al.*, 2015:41; Le Quellec *et al.*, 2015:55). Die digitale argeologiese tegnieke wat dan hiermee suksesvol toegepas word, kan op dieselfde wyse op ander rotskunsterreine in Suid-Afrika vir die bestudering en analisering van rotskuns toegepas word.

1.3 Probleemvraag en doelwitte

Uit bogenoemde probleemstelling en hipotese kan die volgende probleemvrae geformuleer word ten einde die hipotese te ondersteun:

Kan GISs en afstandwaarnemingstechnologie gebruik word om 'n rotskunsterrein te analiseer?

Hierdie probleemvrae lei tot die volgende navorsingsdoelstellings:

- Om die rotskuns van die Bosworth-terrein in argeologiese terme te beskryf.
- Om 'n interaktiewe multinavorsingsmodel met 3D rotskuns van Bosworth-rotskunsterrein te ontwikkel.
- Om die effektiwiteit van hierdie multinavorsingsmodel van Bosworth-rotskunsterrein te evalueer.

1.4 Hoofstukindeling

Die inhoud van die studie verdeel verder in die volgende hoofstukke:

Hoofstuk 2: Literatuurstudie

In hierdie hoofstuk word rotskuns as 'n unieke studieveld binne kultuurerfenis bespreek deur (1) te verwys na die eie wetenskaplike identiteit wat hierdie kunsvorm oor tyd heen aangeneem het, en (2) 'n oorsigtelike bespreking te bied van die tipe klassifikasies binne hierdie studieveld en die diverse benaderings tot die interpretasie daarvan. Daarna volg 'n bespreking wat die voorkoms, impakfaktore en bestaande raamwerke waarbinne die studieveld erken en bestudeer word, skets in terme van die internasionale en Suid-Afrikaanse konteks. Hierdie bespreking sluit in: (1) Digitale argeologie as die innoverende langtermyn-oplossing vir die behoud en navorsing van hierdie ryke kultuurerfenis, en (2) verskillende digitale metodes waarmee tans geëksperimenteer word.

Hoofstuk 3: Metodologie

Die uiteensetting van die metodologiese raamwerk van die studie vind plaas in hierdie hoofstuk. Eerstens word gekyk na bestaande navorsingsmetodologieë in rotskuns argeologie, gevolg deur die uitleg van die multinaavorsingsmodel wat geskep gaan word in hierdie studie. Hierna volg 'n bespreking van die onderskeie tegnologieë wat vir die betrokke navorsingsprojek ingespan gaan word in terme van die dokumentering van die rotskunsterrein op Bosworth-plaas, naamlik GIS en afstandwaarnemingstegnologie. Ook word gekyk na die inhoud en funksionaliteite van die onderskeie sagtewarepakkette met verwysing na die verwerking, voorstelling en skep van waarneembaarheidsmanipulering-opsies van die betrokke ingesamelde data. Ter afsluiting van die hoofstuk word die beplande metodologiese vloei van die studie verduidelik na aanleiding van 'n diagram.

Hoofstuk 4: Bou van die multinaavorsingsmodel

Hierdie hoofstuk word begin met 'n verduideliking van die kenmerke van die Bosworth-rotskunsterrein en gevolglike uitdagings in terme van hierdie projek. Daarna volg die proses wat gevolg is met die dokumentering en verwerking van die data met die oog op die eindresultate van die voornemende studie. Die interaktiewe ortomosaïek-kaart wat van Bosworth-rotskunsterrein geskep is, word bespreek en ook hoe dit ineenskakel met die res van die funksionaliteite en waarneembaarheidsmanipulering-opsies in die beplande uitkomst.

Hoofstuk 5: Gevallestudie: Bosworth-rotskunsterrein

'n Agtergrond van Bosworth-rotskunsterrein as die betrokke gevallestudie word in hierdie hoofstuk gebied en bespreek in terme van die fisiese omgewing gevolg deur die okkupasie geskiedenis van die area self. Daarna word gekyk na die onderskeie voorkomste van petrogliewe op die terrein en navorsing wat daar uitgevoer is oor die afgelope 84 jaar. Die vandalisme waaronder een van die terrein se bekendste petrogliewe deurgeloop het in 2015 word genoem ter illustrasie van die dringendheid van digitale dokumentering van die kunswerke.

Die res van die hoofstuk word gewy aan die beskrywing van 'n seleksie van vier rotse met kunswerke, en die identifikasie daarvan vir die toepassing van die multinavorsingsmodel. Daar word gekyk na die effektiwiteit van hierdie model in terme van die verlening van beter definisie van die sigbare petrogliewe, asook die moontlike onthulling van voorheen ongesiene lyne en kepinge op hierdie rotse.

Hoofstuk 6: Samevatting en gevolgtrekking

Hierdie hoofstuk gee 'n samevatting van die studie se uitkomste met 'n bespreking van die mate wat die navorsingsdoelstellings van die studie wel bereik is. Daar word dan laastens gekyk na die toekomstige moontlikhede betreffende die voortbou op hierdie multinavorsingsmodel.

1.5 Gevolgtrekking

Alhoewel van die sagteware wat in hierdie studie ingespan gaan word reeds welbekend en toegepas is in argeologie, is die samevoeging van die bepaalde instrumente tot 'n verbruikersbeheerde verbindingskanaal 'n nuwe proefneming wat die oogmerk van langtermynbewaring van data en die afstandanaliserings daarvan, kombineer. Van kardinale belang is dat hierdie sagteware-instrumente nie beskou moet word as blote tegnologiese instrumente wat probeer beïndruk met byna lewensgetroue herskeppings nie. Dit moet eerder beskou word as 'n databasis en 'n middel tot 'n doel, menend om enersyds digitaal te bewaar en andersyds om navorsers toegang te gee tot die data van rotskunsterreine tesame met analiseringskapasiteit van hierdie inligting.

In hoofstuk 2 gaan gekyk word na die toepaslike literatuur rondom rotskuns as 'n dissipline en die konteks waarbinne dit huidiglik bestudeer en bestuur word.

HOOFSTUK 2

LITERATUURSTUDIE

2.1 Inleiding

Die oogmerk van hierdie hoofstuk is om 'n oorsig te bied van rotskuns as vakdissipline en hoe die bestudering daarvan oor die laaste drie dekades 'n aantoonbare verandering en vooruitgang ondergaan het. Alhoewel rotskuns-navorsing 'n reputasie opgebou het van 'n groeiende wetenskaplike vakgebied, kon 'n navorser daarin nouliks byhou met die kennisontploffing in die spesialis vakgebiede wat met tyd verweef geraak het in die rotskuns-navorsing. Deur saam te werk met hierdie aanvullende vakgebiede, soos ondermeer afstandwaarnemingstechnologie, geografiese inligtingstelsels (GISs) en rekenaarwetenskap, word rotskuns-argeologie vandag erken as 'n volwaardige interafhanklike vakdissipline binne die wetenskap.

Om dié posisie wat tans deur rotskuns beklee word ten beste te definieer, word twee tematiese komponente in die literatuur onderskei: Die eerste komponent behels 'n algemene opsommende agtergrond van rotskuns as 'n navorsingsveld met sy eie kenmerke, vraagstukke, teorieë en riglyne, funksioneel binne bepaalde kontekste; die tweede gedeelte handel oor navorsingsmetodes wat reeds geverifieer is en meld die moontlikhede in die veld met betrekking tot nuwe beskikbare digitale metodes, spesifiek ook ten doel vir rotskuns in Suid-Afrika.

2.2 Rotskuns

2.2.1 Definisies

Die term '**erfenis**' kry begripsbetekenis deur die definiëring van sy twee vertakings, naamlik natuurlike erfenis en kultuurerfenis. Eersgenoemde kan omskryf word as erfenis met natuurlike kenmerke soos geologiese en fisiografiese formasies, asook afgebakende gebiede wat dien as habitat vir bedreigde spesies. Hierdie erfenis se waarde lê in hul bydrae tot die veld van wetenskap, bewaring en natuurskoon. Kultuurerfenis aan die anderkant, kan weer beskryf word as artefakte, monumente, 'n groep geboue en terreine waarvan die waarde gesetel is in hul simboliese, historiese, kunstige, estetiese, etnologiese/antropologiese, wetenskaplike en sosiale betekenis (UIS, 2009:25).

Kultuurerfenis is dan ook die erfenissektor waaronder een van die mensdom se rykste bronne van kulturele nalatenskap, genaamd rotskuns, ressorteer. Hierdie soort erfenis is 'n nalatenskap

wat geen formele omskrywing benodig nie en bloot verstaan word as petrogliewe en piktogramme gemaak op rotsoppervlaktes wat diverse menslike koseptuele denke en geloofsoortuigings uitbeeld. Hierdie skeppings kan gevind word in grotte, natuurlike beskuttinge en die opelug. Die term rotskuns sluit prehistoriese sowel as historiese motiewe en simbole in wat geskep is deur op die rotsoppervlak te krap en/of kap (petrogliewe) of skilderinge (piktogramme) (Sanz, 2012:504; Darvill & Batarda Fernandes, 2014:2).⁶ Rotskunserfenis is 'n vorm van nalatenskap wat mense oor 'n wye spektrum van die samelewing fassineer: Vir die breë publiek grotendeels vanweë die estetiese waarde van die skeppings en vir akademici as gevolg van die navorsingswaarde daarvan. Laasgenoemde is dan ook die rede dat verskeie navorsers van mening is dat 'rotskuns' nie die korrekte term vir hierdie manifestasies is nie, omrede dit vanuit 'n wetenskaplike oogpunt bestudeer word en dit dus nie as blote 'kuns' geklassifiseer kan word nie (Heyd, 2012:277). Daarom ook stel López-Menchero Bendicho in *Heritage and Archaeology in the Digital Age* (2017:27) voor dat 'rupestriese voorstellings' 'n meer gepaste term is,⁷ of alternatiewelik kan ook na 'rotswerke' verwys word. Ter wille van eenvoud van begrip sal daar in hierdie studie deurgaans na die algemeen bekende term 'rotskuns' verwys word.

2.2.2 Klassifikasies

Om rotskuns onvoorwaardelik te klassifiseer is problematies omrede dit 'n studieveld is wat nie maklik in statiese kompartemente gekategoriseer kan word nie, hetsy geografies, tegnies óf konseptueel (Sanz, 2012:494). Die diversiteit rondom rotskuns laat selfs die mees ervare kenners kleitrap as dit kom by die opstel van 'n standaard kriterium vir hul studie of die katalogisering van die data. Die gevolg is dat daar tot op datum, ten spyte van verskeie pogings, geen internasionale erkende kriteria bestaan vir die bestudering en klassifikasie van rotskuns nie, slegs net voorlopige riglyne en veronderstellings wat grotendeels wissel van navorser tot navorser (Sanz, 2012:494). Tog, binne hierdie riglyne en veronderstellings kan twee groepe geformeerde klassifikasies onderskei word, naamlik algemene waarneming en wetenskapgebaseerde klassifisering.

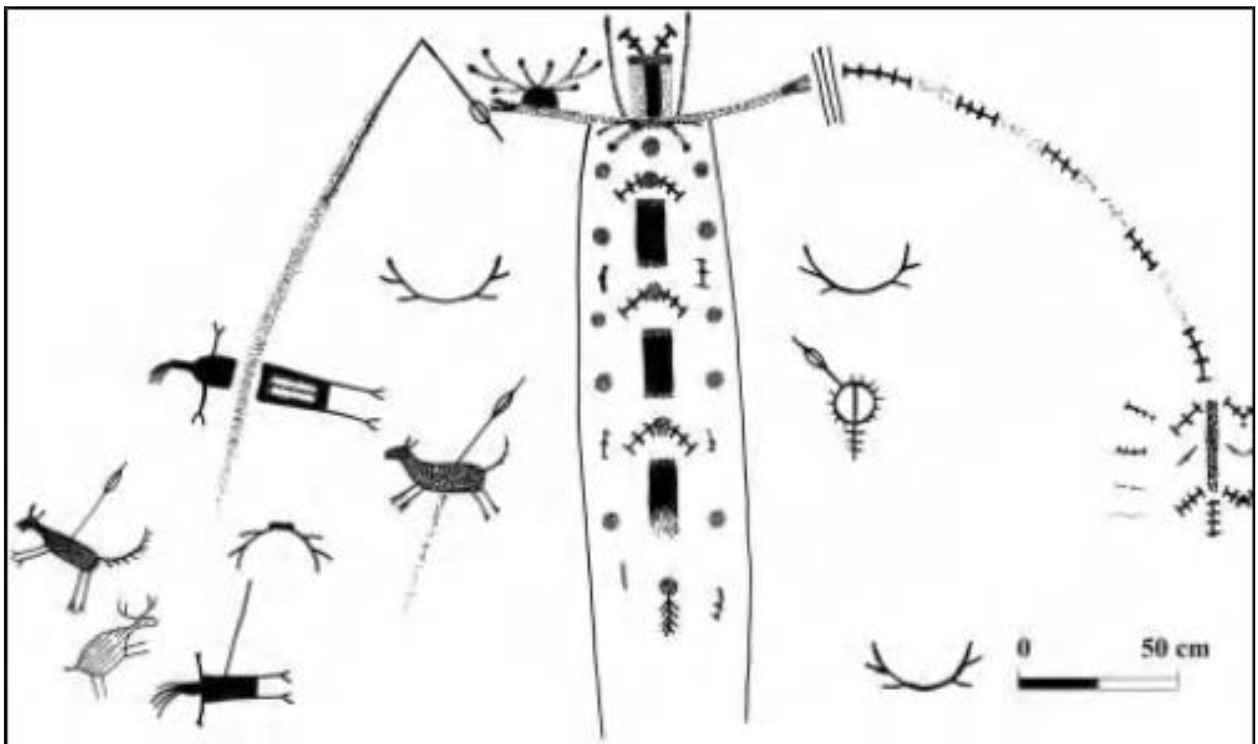
2.2.2.1 Algemene waarneming

Deur bloot algemene waarneming toe te pas op 'n rotskunsterrein, is dit moontlik om bepaalde eienskappe van die rotskunswerke op die terrein te identifiseer en klassifiseer in terme van bestaande kategorieë, naamlik:

⁶ Sien ook die beskrywende voetnoot in afdeling 1.1.

⁷ Afkomstig van die Latynse woord *rupestris* wat 'op rotse' beteken (Lexico, 2020).

- *Of die kunswerke opgemaak is uit petrogliewe of piktogramme.* Petrogliewe is beperk tot rotse in die oop veld van die binneland, terwyl piktogramme grotendeels op rotse in skuilings in klipkoppies, rante en berge gevind word (Schoonraad, 1972:269). Blote waarneming sal die klassifisering hiervan bepaal.
- *Die tipe rotse waarop die kunswerke geskep is.* Rotskuns word op byna alle soorte rotse (leistene, graniet, blou-ysterklip, en so meer) aangetref aangesien individue die rotse wat op die betrokke terrein beskikbaar was gebruik het vir die skep van hul kunswerke. Tóg kan voorkeure vir 'n bepaalde tipe rots beslis waargeneem word in verskeie gebiede (Darvill & Batarda Fernandes, 2014:3).
- *Samestelling van die rotskunswerke.* In geheel gesien kan die onderskeie rotskunswerke globaal primêr geklassifiseer word as natuurlike voorstellings van mense en diere en sekondêr as abstrakte beelde van antropomorfe⁸ (Figuur 2.1) en zoomorfe⁹ (Figuur 2.2).¹⁰



Figuur 2.1: In die Swartgrotte in die Laer Pecos Canyonlands. 'n Groot antropomorfe figuur met horingrige verlengings aan die arms (Boyd, 2012:40).

⁸ Wanneer menslike eienskappe toegeken word aan 'n nie-menslike entiteit (Murray *et al.*, 2020).

⁹ As dierlike eienskappe toegeken word aan 'n bo-natuurlike entiteit of wanneer een dierlike spesie uitgebeeld word in terme van 'n ander dierlike spesie (Werness, 2003:100).

¹⁰ Sommige skrywers verwys ook na 'n derde kategorie waarvan daar nog nie eenstemmigheid bereik is rondom die betekenis daarvan nie, naamlik teriantrope (Rifkin, 2007:146). Dit word ondermeer omskryf as mense wat voorgehou word as diere (Thackeray, 1983), uitbeeldings van dooies se geeste (Pager, 1975:404; Solomon, 1997:9; Vinnicombe, 1976:330), mense van 'die vroeë ras' (Solomon, 1997:4; 1999:56) of sjamane (sien 2.2.2.2 vir beskrywing van 'n sjamaan) wat 'n gedaanteverwisseling ondergaan het (Jolly, 2002; Blundell, 2004; Lewis-Williams, 2006).



Figuur 2.2: Rotskuns in die Maclear Distrik in die Oos-Kaap met figure wat oor zoomorfiese eienskappe beskik (Lewis-Williams & Pearce, 2008:429).

Geometriese motiewe, soos spirale, sigsag-patrone, strepe, kolle, ensovoorts, word die minste verteenwoordig in die bestaande rotskuns korpus (Heyd, 2012:276; Sand, 2012:172).¹¹

In 'n poging om hierdie groot hoeveelheid diverse motiewe wat op rotse geskep is te klassifiseer, het Domingo Sanz (2012:315) die volgende kategorisering voorgestel:

- Eksklusiewe motiewe: 'n Enkelmotief op 'n rots.
- Geïsoleerde motiewe: Deel 'n rots of skuiling, maar is geskei van ander motiewe.
- Samestelling: 'n Groep motiewe. Kan of kan nie 'n toneel uitbeeld nie.

Samestellings word verder gegroepeer as:

- Onverwante motiewe (op grond van styl, tegniek, ensovoorts).
- Assosiasies wat nie 'n toneel uitbeeld nie (soortgelyke styl en tegniek, maar geen gemene begripsinhoud nie).
- 'n Toneel: Twee of meer motiewe wat 'n gemeenskaplike aksie uitbeeld (al is die

¹¹ Let wel, dikwels word gevind dat by terreine wat uitsluitlik petrogliewe bevat, geometriese motiewe meer volop voorkom as antro- en zoomorfiese motiewe (Ouzman, 2001; 2002).

betekenis daarvan nie noodwendig duidelik nie).

- *Hoeveelhede*. Deur visuele opname kan die aantal motiewe, spesifieke kategorie motiewe, asook die aantal tonele, bepaal word.

2.2.2.2 Wetenskapgebaseerde klassifisering

Wat wetenskaplike klassifiserings aanbetref, kan sekere voorlopige afleidings gemaak word deur die toepassing van navorsers se riglyne en veronderstellings soos van tyd tot tyd daargestel. Voorbeelde hiervan is om 'n geskatte datum wat die rotskuns geskep is vas te stel,¹² deur wie dit geskep is,¹³ en die mees waarskynlike wyse waarop dit geskep was (Pereira, 2013:12-13), byvoorbeeld:

- *Datering van rotskuns*: As dit by die datering van rotskuns kom val 'n breedvoerige bespreking van die onderskeie wetenskaplike metodes wat gebruik word om die onderskeie rotskuns te dateer, buite die bestek van hierdie studie. Wat wel genoem kan word, is dat ten spyte van die feit dat dit problematies is om rotskuns met akuraatheid te dateer, dit wél moontlik is om met die ontwikkeling van wetenskaplike tegnieke, asook historiese- en argeologiese data, 'n geskatte ouderdom aan die onderskeie rotskunswerke toe te ken (Lewis-Williams, 2011:22-25).

Met inagneming hiervan kan van die volgende dateringsuitkomstes melding gemaak word: In 2002 het argeoloë, wat vermoed word, die oudste rotskuns tot op hede gevind op 'n rotssplinter in die Blombosgrotte in Suid-Afrika. Die piktografiese motief daarop dateer terug na meer as 70 000 jaar gelede. Na alle waarskynlikheid het dit van 'n rotspaneel binne die grot afgesplinter en is dit al wat oorgebly het van piktogramme wat eens op hierdie panele moes gepryk het (Blakemore, 2018). Net so is daar regoor die wêreld verskeie antieke rotskunsterreine waarvan die figure en/of motiewe uit verskillende prehistoriese tye dateer. In Europa byvoorbeeld, is daar rotskuns wat geskep is in die Laat-Paleolitiese tydperk (die Côa Vallei van Portugal) (sien ook Bahn, 1992:395, 1995:231), die Neolitiese tydperk (die Britse Eilande en verskeie areas in Noordwes Europa) (sien Sharpe *et al.*, 2008 vir nog voorbeelde) en die Bronstydperk (voorbeelde daarvan kan in Skandinawië gevind word)

¹² Dit kan byvoorbeeld gedoen word soos in Europa wat, met die inagneming van die ouderdom van artefakte, byvoorbeeld kleiware wat in die direkte omgewing van die rotskuns gevind word en waarvan die strata waarin dit gevind is korrespondeer met die vooraf geskatte okkupasietydperk van die rotskunstenars. 'n Beraamde datering is ook moontlik met wetenskaplike dateringsmetodes soos die radiokoolstof-dateringsmetode (Hays-Gilpin, 2012:205; Domingo Sanz, 2012:308).

¹³ Geskiedenis, argeologiese data, asook etnografie (aldus 'ingeligte metodes'), word ingespan om aan te dui wie die mees waarskynlike kunstenaars van 'n betrokke erfenisterrein kon wees (sien 2.2.3.1 vir 'n omskrywing hiervan) (Hays-Gilpin, 2012:205).

(Tansem & Johansen, 2008:65). Dan bestaan daar natuurlik ook verskeie terreine waarvan die rotskuns dateer vanuit meer onlangse historiese tye, soos byvoorbeeld in die Maloti-Drakensbergpark waar piktogramme van Britse soldate gesien kan word (Siyabona Africa, 2020). Hierdie kunswerke word gereken om-en-by 160 jaar oud te wees (Ego, 2015:135).

- *Die kunstenaars:* Etnografiese en historiese inligting dui daarop dat hierdie prehistoriese kunswerke hoofsaaklik deur inheemse boorlinge geskep is, soos onder meer die Bininj-stam in die Kakadu Nasionale Park, Australië; die Numic-stam in die Coso Bergreeks, Noord-Amerika; die Nordeste en Agreste kulture in die Serra da Capivara Nasionale Park, Brasilië en die Khoisan- en Abantoe-stamme in die Maloti-Drakensberg Park, Suid-Afrika (Department of Agriculture, Water and Environment, 2020; Gilreath & Hildebrandt, 2008:5; World Heritage Site, 2020; Rossouw & Dye, 2015:31). Die meer onlangse rotskuns in hierdie gebiede is deur setlaars, migrante, indringers en koloniste met verskillende kulturele agtergronde geskep (Darvill & Batarda Fernandes, 2014:3).

Wanneer gekyk word na wíe die individuele kunstenaars binne hierdie groepe kon wees, het die meeste navorsers in die laat negentiende eeu uit die staanspoor uit aanvaar dat al die kunstenaars manspersone moes wees. Dié voorwetenskaplike aanname was in lyn met die kenmerkende Westerse neiging tot stereotipering (Hays-Gilpin, 2012:210). In teenstelling met hierdie voorveronderstelling, dui alle data vandag daarop dat mans én vrouens, in meer besonderheid, adolessente van beide geslagte en individue met nie-normatiewe geslagsidentiteite, verantwoordelik was vir die skep van rotskuns op verskillende tye en plekke. Om die waarheid te sê, het die skep van rotskuns dikwels gedien as kulturele bevestiging van verskillende geslagte. Ook is navorsers vandag dit eens dat sjamane¹⁴ vir die skep van 'n groot persentasie van die rotskuns verantwoordelik was (sjamanisme kon deur beide mans en vrouens beoefen word). Tog, om te bepaal deur wie 'n spesifieke petroglief of piktogram geskep is deur bloot na die styl, inhoud of tegnologie (ook genoem formele metodes)¹⁵ van die kunswerk alleen te kyk, is onmoontlik. Hiervoor benodig ons ook geskiedenis en/of etnografiese data (Hays-Gilpin, 2012:205).

- *Wyse van skepping:* Oorweeg mens die moontlike wyses waarop hierdie kuns geskep is, is dit vir navorsers duidelik dat dit met groot noukeurigheid gedoen is. Die kunstenaars het nie bloot enige voorwerpe wat in die omgewing rondgelê het gebruik om die kunswerke te skep nie, maar eerder spesifieke instrumente uit die natuur wat dan spesiaal voorberei is vir dié taak (Ego, 2015:14). Só dui proefnemings daarop dat petrogliewe waarvan die buitelyne

¹⁴ Sjamane is beskou as geestelike spesialiste wat, deur 'n alternatiewe staat van bewussyn te betree, met 'geestelike helpers' kon kommunikeer ten voordeel van stamlede (Hays-Gilpin, 2012:205).

¹⁵ Sien 2.2.3.2 vir 'n bespreking van formele metodes.

uitgekap is, gevorm is deur 'n harde klip soos kwartsiet te gebruik om die motief op die rots uit te krap (aldus lyngravure). Om gekeekte petrogliewe te vorm, het hierdie harde klippe dan as 'n pons gedien wat met 'n ander voorwerp gehammer is om sodoende kepies in die rotsoppervlak uit te kap (gekeekte gravure) (Jalandoni & Tacon, 2018:50; Malan, 1965:429). Soms is hierdie twee metodes gekombineer en is die buitelyne van 'n motief eers uitgekap waarna kepies op die oppervlakte binne hierdie omlyning, uitgekap is (Willcox, 1984:13).

Wat die skep van piktogramme betref, dui die delikate lyne van die skilderinge daarop dat 'n tipe 'kwas' gebruik is om die fyn lyne van die skilderinge te verf. Ook sou die kleure somtyds eers verhit moes word om dit in 'n vloeibare vorm te omskep. Wetenskaplike ontledings toon dat 'n mengsel van natuurlike pigmente soos oker, kaolien en houtskool gebruik is as 'verf' vir die piktogramme (Ego, 2015:13-14).

2.2.3 Die interpretasie van rotskuns

Buiten die estetiese waarde van rotskuns, is dit die konteks en kulturele betekenis van petrogliewe en piktogramme wat navorsingswaardigheid daaraan verleen. Navorsers is dit vandag eens dat rotskuns se funksionaliteit veeldoelig was en dit in 'n verskeidenheid van sosiale kontekste gefunksioneer het. Dit het ondermeer gedien as:

- 'n Metode om 'n plek te 'merk' en ook om die individu se assosiasie met die plek te kenne te gee.
- 'n Beduidende rolspeler in die vertel van stories en die oordra van lewenslesse.
- 'n Hulpmiddel in inisiasieseremonies.
- 'n Wyse waarop 'n voorvader, of 'n betekenisvolle gebeurtenis, op 'n tasbare wyse behoue kon bly.

(McDonald & Veth, 2012:96)

Rotskuns kan dus data verskaf wat die potensiaal het om verskillende kultuurgroepe meer sinvol te definieer as wat moontlik is met vele ander kategorieë materiële oorblyfsels, soos byvoorbeeld klipformasies. Navorsers verkry ook hiermee 'n unieke insig in die groepe se denke, mites, oorsprong en sosiale groeperinge (Tratebas, 2012:143). Om hierdie bron van inligting ten volle te benut, is gestruktureerde interpretasie van die kunswerke nodig waarvoor navorsers twee hoof metodes geïdentifiseer het, naamlik ingeligte- en formele metodes (Lewis-Williams, 2012:22).

2.2.3.1 Ingeligte metodes

Ingeligte metodes of beter bekend as etnografie, kan beskryf word as die studie van kulturele nalatenskap uit die oogpunt van die individue waarrondom die studie sentreer (Cambridge University Press, 2020). Die veronderstelling is dat inligting vir die studie rakende die betekenis van die betrokke rotskuns bekombaar is van afstammelinge van die etniese kultuurgroep wat dit geskep het. Om hierdie metode toe te pas is dit dus nodig om die etniese groepe te identifiseer wat die tersaaklike motiewe geskep het om sodoende lig te kan werp op hul geskiedenis, sosiale en ekonomiese organisasie, asook simboliese wêreld (Muzzolini, 2004:609). Etnografiese data bied aan navorsers die geleentheid om die resultate van hul voorlopige interpretasie te toets en aan te pas. 'n Voorbeeld hiervan sal wees soos wanneer hul vermoed dat hul die uitbeelding van 'n spesifieke 'verhaal' in 'n rotskuns toneel herken, maar die aanname dan kan toets aan die hand van verkrygte etnografiese data (Sundstrom, 2012:331).

2.2.3.2 Formele metodes

In *An archaeology of rock-art through informed and formal methods* stel Tacon en Chippindale (1998:7-8) voor dat waar etnografiese inligting nie beskikbaar is nie, of waar aanvulling van etnografiese data nodig is, formele metodes toegepas moet word in die interpretasie van rotskuns. Formele metodes sluit ondermeer in die studie van die ligging van die terrein in die gegewe landskap, meerveranderlike analyses, asook die ontleding van die tekeninge se geometrie. Hierby kan gevoeg word die identifisering van motiewe wat dui op veranderende bewussynstoestande van die kunstenaar (Lewis-Williams, 2004; Lewis-Williams & Dowson, 1993; Lewis-Williams & Pearce, 2005).

Aanvullend tot die formele metodes word in praktyk 'n kombinasie van metodes, wat hierdie twee metodes dan ook insluit, deur navorsers toegepas in wat beskryf word as 'n kontekstuele-benadering (McDonald & Veth, 2012:5).

2.2.3.3 Kontekstuele-benadering

Omrede argeoloë nooit werklik die oorspronklike doel en betekenis van rotskunswerke ten volle sal kan begryp nie, stel McDonald en Veth (2012:5) dat dit slegs op die bes moontlike manier verstaan en geïnterpreteer kan word deur die toepassing van 'n kontekstuele-benadering. Só 'n benadering behels 'n analyse van die konteks van die rotskuns wat dan ook ondermeer die studie van die etnografiese- en formele data insluit. Volgens Sundstrom (2012:325) begin mens deur die betrokke rotskuns wat binne die studieterrein val, se kenmerklike kultuurstyle te definieër. Daarna word die spesifieke ruimtelike-, materiële-, terreingebonde- en kulturele

kontekste van elke styl deur die navorsers oorweeg. Sodoende, tesame met die simboliese inhoud van elke styl, kan moontlike patrone geïdentifiseer word wat lei tot hipoteses van betekenis. Ter aanvulling van hierdie benadering kan Davidson (2012:52-58) se vyf stappe in die proses van rotskunsinterpretasie aangehaal word:

- i) Direkte visuele bestudering.
- ii) Toepassing van etnografiese data.
- iii) Bestudering van die onmiddellike konteks.
- iv) Studie van die breë kronologiese konteks.
- v) Studie van die breë ruimtelike konteks.

2.2.3.4 Interpretatiewe uitdagings

Navorsers staan verskeie uitdagings in die gesig wanneer dit kom by die interpretasie van rotskuns. Die bespreking daarvan is uiters omvattend en dus sal net van die hoofpunte hier genoem word.

Eerstens, kan 'n motief meer as een betekenis hê (ook bekend as polisemie) wat die interpretasie daarvan kompliseer. 'n Voorbeeld hiervan kan gevind word in die San-groep in Suider-Afrika se bekende rotskuns-uitbeeldings van die eland. Navorsers het vasgestel dat die eland-motief op verskillende tye verskillende betekenis inhou vir die San-mense en daarom het die San ook verskeie woorde wat hul gebruik om na die eland te verwys afhangend van die bepaalde omstandighede (Lewis-Williams, 1990:76-77).

Tweedens, om etnografiese data in te samel kan in menigte gevalle problematies wees aangesien die mees betroubare inligting afkomstig is van die direkte afstammeling van die betrokke kultuurgroepe wat die kuns geskep het. Hierdie poging kan nie altyd verwesenlik word nie omrede die nageslag dikwels nie met sekerheid nagespeur kan word nie of selfs dat daar nie meer enige direkte afstammeling bestaan nie. Ook is etnografiese data net van waarde met betrekking tot die mees onlangse rotskuns en is dit onwaarskynlik om tot enige voordeel te wees op prehistoriese rotskuns (Sundstrom, 2012:326-328).

Die laaste groot uitdaging wat genoem kan word, is dat die interpretasie van rotskuns verweef is met subjektiwiteit. Navorsers neig om motiewe wat aan hul bekend is met meer selfvertroue te 'interpreteer', as motiewe waarvoor hul geen Westerse verwysingsraamwerk het nie; óf ook, word rotskunstonele gesien as 'n letterlike vertolking van 'n historiese gebeurtenis (Frederick, 2012:404). Rotskuns moet eerder bestudeer word met die fundamentele vetrekpunt dat inheemse wêreldbeskouings/kennissisteme grootliks verskil van dié van argeoloë om sodoende

die problematiek rondom die interpretasie van die kunswerke te verminder.

Die oënskynlike vanselfsprekende vrae van 'n Westerling, soos 'wie het dit gemaak?' en 'wat beteken dit?', sal óf nie beantwoord kan word nie óf nie op 'n wyse beantwoord kan word wat onmiddellik sal sin maak uit 'n Westerse oogpunt nie. Die rede hiervoor is dat inheemse kennis van rotskuns grotendeels gesetel is in mondelinge tradisies. Hierdie mondelinge geskiedenis is 'n alternatiewe vorm van wêreldbeskouing wat gekarakteriseer word deur 'n interpretatiewe oriëntasie wat teenstrydig is met argeologie. Dit beteken dat argeologie oor die algemeen die geskiedenis op 'n linieêre kronologiese wyse verteenwoordig deur die tydstop van oorsprong te bepaal en dan die ontwikkeling daarvan na te spoor. Mondelinge geskiedenis weer, neig daartoe om die verlede in terme van prototipes en hul daaropvolgende herskeppings te verteenwoordig. Met rotskuns word dade van die manne en vroue met aansien in die gemeenskap herroep tesame met belangrike gebeure, maar sonder om enige argeologiese spoor daarvan na te laat (Layton, 2012:441-442). Die beste wyse om hierdie twee benaderings in een studieveld te kombineer, sal wees om te besef dat 'n dialoog tussen argeologie en mondelinge geskiedenis in wese 'n dialoog is tussen diverse begripsisteme (Gazin-Schwartz & Holtorf 1990:3).

2.3 Rotskuns – Internasionale konteks

2.3.1 Voorkoms en bedreigings

Rotskuns is 'n verskynsel wat regoor die wêreld en in 'n verskeidenheid van omgewings aangetref word, elk met diverse datums, terreineienskappe, geologiese samestellings en kulturele kontekste (Darvill & Batarda Fernandes, 2014:2). Meer spesifiek word petrogliewe hoofsaaklik op rotse in die opelug aangetref waarvan die wêreldwye hoeveelheid daarvan die getal piktogramme, wat weer meesal in grotte of natuurlike beskuttings voorkom, oortref (Darvill & Batarda Fernandes, 2014:3). 'n Gemeenskaplike terreineienskap van alle rotskuns is dat dit altyd te vinde is in (soms voorheen) water- en hulpbronryke landskappe wat noodsaaklik was vir voedsel- en watervoorsiening aan die mense (en hul aktiwiteite) (McDonald & Veth, 2012:91).

Tog, ten spyte van rotskuns se algemene voorkoms word dit deur die *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*¹⁶ as 'n bedreigde kultuurerfenis beskou. In Artikel 2 van die Handves vir die Beskerming en Bestuur van Argeologiese Erfenis van 1990 word gestel dat “*archaeological heritage is a fragile and non-renewable culture*

¹⁶ Sien 2.3.2 vir die agtergrond en oogmerke van hierdie organisasie.

resource". Iets wat met rotskuns selfs nog meer betekenis kry, want waar argeologiese erfenis oor die algemeen broos is, is rotskuns net nog meer so. 'n Bydraende rede hiervoor is dat die oorgrote meerderheid argeologiese fondse ondergronds gevind word, terwyl rotskuns se lokaliteit hoofsaaklik boppegrond is. Die gevolg hiervan is dat hierdie ryk erfenis dikwels verskeie degenererende elemente fasiliteer (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:30), soos byvoorbeeld:

- *Omgewingsprosesse*. Abiotiese prosesse soos die natuurlike erosie deur wind en water, asook die vries-ontdooi-siklusse het 'n groot impak op baie van die rotskunsterreine en dra by tot die degenerasie van die rotse (Plets *et al.*, 2012:142). Met rotse se hoeveelheid gefolieerde substrate is hul sensitief vir hierdie seisoengebonde siklusse (Potts, 1970). Die gevolg hiervan is dat fragmente van die substrate afbreek en in sommige gevalle die verlies van tot komplette rotskunstonele tot gevolg het. Hierdie stelselmatige afskilfering gaan ook gepaard met krake in die rots wat dan die verwerking van die rotse net nog meer versnel (Plets *et al.*, 2012:142-143).
- *Navorsing*. Navorsing opsigself kan ook skadelik wees, selfs al word dit met die beste bedoelings deur rotskunskenners gedoen (Plets *et al.*, 2012:143). Voorbeelde hiervan is tradisionele metodes wat in die verlede (en in uitsonderlike gevalle, vandag steeds) gebruik is om rotskuns te dokumenteer, soos natrektekeninge en skuur- en gietwerk (Plets *et al.*, 2012:143). Vandag is die meeste rotskunsspesialiste dit eens dat hierdie metodes 'n negatiewe impak het en die langtermyn behoud van die rotskuns nadelig affekteer (Simpson *et al.*, 2004:692; Cassen & Robin, 2010:3).
- *Besoekersdruk*. Rotskuns is 'n groeiende globale toeriste-aantreklikheid en alhoewel dit finansiële voordelig is, bedreig die groeiende toeloop van toeriste die fisiese bewaring, egtheid en konteks van die rotskunsterreine (Gheyle, 2009:329; Plets *et al.*, 2011:21). Die meerderheid van hierdie terreine kan vrylik besoek word sonder enige vorm van beheer of inligtingsinfrastruktuur. Gevolglik is daar menigte gevalle bekend waar 'n toename in toerisme direk én indirek gelei het tot vandalisme van rotskuns wat wissel van graffiti en rommelstrooiing tot gevalle waar chemikalieë op petrogliewe gevryf is om die sigbaarheid daarvan te probeer verbeter. Daar is selfs gevalle waar fragmente van rotspanele verwyder en op die swartmark verkoop is (Plets *et al.*, 2012:144).
- *Infrastrukturele ontwikkeling*. Groot dyke, mynbou en prospektering, asook verskeie industriële projekte het reeds volledige ekosisteme vernietig en gelei tot die verlies van rotskunserfenis in verskeie van hierdie gebiede. Die realiteit is dat vooruitgang en ekonomiese ontwikkeling in menigte moderne samelewings gehandhaaf word ten koste van

hul eie kultuurerfenis (López-Mencheró Bendicho *et al.*, 2017:30).

2.3.2 Organisasies

Om hierdie vorme van beskadiging van nie net rotskuns nie, maar ook alle Wêrelderfenisgebiede met Uitstaande Universele Waarde (UUW)-status te beskerm,¹⁷ is die globale organisasie, die *UNESCO* in 1945 op die been gebring na aanleiding van die verwoesting wat deur die Tweede Wêreldoorlog meegebring is. Hierdie organisasie “*seeks to build peace through international cooperation in Education, the Sciences and Culture*” (*UNESCO*, 2019). Binne die *UNESCO* is daar vyf spesialis-terreine waarvan die kultuursektor een is. Dié sektor is verantwoordelik vir verskeie konvensies en universele verklarings rakende kultuurerfenis (Chadburn, 2014:273).

Onder hierdie kultuursektor van die *UNESCO* dien twee nie-regeringsorganisasies as spesialis raadgevers vir die *UNESCO* se Wêrelderfenis-komitee¹⁸ met betrekking tot kwessies rakende kultuurerfenisgebiede. Die eerste hiervan is die *International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)* wat in 1945 in Warskou (Pole) gestig is na die aanvaarding van die Handves van Venesië. Die doelwit van hierdie handves was om die ideologie en tegnieke rondom bewaring te bevorder. Ook is hierdie raad betrokke by vergelykende studies, tegniese bystand en die opstel van verslae rakende die staat van bewaring van bestaande Wêrelderfenisgebiede. Kulturele terreine wat genomineer word om op die Lys van Wêrelderfenisgebiede ingeskryf te word, word deur die *ICOMOS* geëvalueer om te bepaal of hul aan die Konvensie vir die Beskerming van die Ontasbare Kultuurerfenis (2003) se streng kriteria voldoen (Chadburn, 2014:273). Beide die *UNESCO* en die *ICOMOS* is doelgerig in hul aksies wat gerig is op die behoud en bewaring van rotskuns vir die toekomstige generasies en het daarom die *International Committee on Rock Art (CAR)* in 2007 gestig, met die doel om:

- Internasionale samewerking in hierdie veld aan te moedig.
- Kommunikasie tussen navorsers te vestig.
- Advies te voorsien aan internasionale organisasies deur middel van ondermeer, publikasies.
- ‘n Inventaris te skep van die wêreld se rotskuns.
- Rotskuns te dokumenteer by wyse van digitale metodes.

(Chadburn, 2014:274; López-Mencheró Bendicho *et al.*, 2017:27)

Die tweede raadgevende organisasie van die *UNESCO* se Wêrelderfenis-komitee is die

¹⁷ Sien 2.3.3 vir ‘n beskrywing van die kriteria om as ‘n UUW erfenisterrein geklassifiseer te word.

¹⁸ Die komitee bestaan uit een-en-twintig lede wat jaarliks vergader en word bygestaan deur die Wêrelderfenis-sentrum (Chadburn, 2014:273).

International Centre for the Study of the Preservation and Conservation of Cultural Property (ICCROM). Die *ICCROM* se Direkteur Generaal, Bernard Feilden, het ook die eerste *Management Guidelines for World Cultural Heritage Sites* opgestel wat in 1993 deur die *UNESCO* gepubliseer is. Hierdie riglyne het spesifiek ten doel om leiding te gee aan die bestuur van kultuurerfenis-terreine, anders as die *Operational Guidelines* van 1977 wat hoofsaaklik gefokus het op die beskerming van natuurlike erfenisterreine (Cameron & Rössler, 2018:4-5).

2.3.3 Internasionale riglyne en hulpmiddels

In 1972 is die Wêrelderfeniskonvensie aanvaar waarin gestipuleer word dat regerings wat hierdie konvensie onderteken instem om die kultuur- en natuurlike erfenis wat binne hul grondgebied geleë is te identifiseer, te beskryf, te bewaar, bekend te stel en oor te gee aan toekomstige generasies. Hierdie regerings verbind hulself voorts daartoe om hierin hulp te verleen aan ander regerings wat dit sou versoek. Die konvensie moedig ook die identifisering, beskerming en bewaring van kultuur- en natuurlike erfenis aan wat gereken word om van betekenisvolle waarde vir die mensdom te wees. 'n Status wat bekend staan as U UW omsluit 'n nie-inherente waarde wat aan 'n eiendom toegeken word deur mense en/of die samelewing en waarvan die belangrikheid plaaslik, nasionaal of internasionaal kan wees. Vir 'n erfenisterrein om in aanmerking te kom om op die Lys van Wêrelderfenisgebiede geplaas te word, moet die erfenis se U UW-status bewys word (Ringbeck, 2018:19, Chadburn, 2014:273-274).

In 2001 is die *UNESCO* se Konvensie vir die Beskerming van die Ontasbare Kultuurerfenis, asook die Universele Verklaring betreffende Kulturele Diversiteit aanvaar. Die oogmerk is dat dit moet dien as 'n hulpmiddel wat ten doel het om interkulturele dialoog aan te moedig, terwyl die algehele missie is om kennis, standaarde en intellektuele samewerking te bevorder om sodoende:

- Tasbare en ontasbare erfenis te beveilig, te beskerm en bestuur.
- Die diversiteit van kulturele uitdrukkings, asook die dialoog tussen kulture te bevorder deur die skep van 'n kultuur van vrede.

(Chadburn, 2014:273)

Opsommend, met hierdie oogmerke van die *UNESCO* en die *ICOMOS* het hul verskeie inisiatiewe van stapel gestuur in 'n poging om te verseker dat rotskuns wél geïdentifiseer, bewaar en dan waar toepaslik, ingeskryf word op die Lys van Wêrelderfenisgebiede (Chadburn, 2014: 274). Tans sluit dié lys 39 rotskunsterreine van regoor die wêreld in, verspreid oor 33 lande en 5 kontinente (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:27). Belangrik, aangesien hierdie studie spesifiek handel oor petrogliewe waarop die digitale tegnologie toegepas gaan word, is

dit noemenswaardig dat 18 van hierdie 39 rotskunsterreine uitsluitlik opgemaak word uit petrogliewe (sien Tabel 2.1).¹⁹

Tabel 2.1: Lys van Wêrelderfenisgebiede: Rotskuns wat uitsluitlik uit petrogliewe bestaan. (UNESCO, 2020c).

No.	Naam van terrein	Jaar	Land
1	Los Glaciares Nasionale Park	1981	Argentinië
2	Ischigualasto / Talampaya Natuurlike Parke	2000	Argentinië
3	Rapa Nui Nasionale park	1995	Chili
4	Desembarco del Granma Nasionale Park	1999	Kuba
5	Ekosisteem en Kulturele Gedenk Landskap van Lopé-Okanda	2007	Gaboen
6	Río Plátano Biosfeer Reservaat	1982	Honduras
7	Brú na Bóinne – Argeologiese Versameling van die Draai van Boyne	1993	Ierland
8	Rotstekeninge in Valcamonica	1979	Italië
9	Wadi Rum Beskermende Gebied	2011	Jordanië
10	Petrogliewe binne die Argeologiese Landskap van Tamgaly	2004	Kazakstan
11	Sulaiman-Too Heilige Berg	2009	Kirgisië
12	Petrogliewe Komplekse Van die Mongoliese Altai	2011	Mongolië
13	Twyfelfontein of !Xui-!laes	2007	Namibië
14	Rotskuns van Alta	1985	Noorweë
15	Manú Nasionale Park	1987	Peru
16	Pitons Bestuursarea	2004	Sint Lucia
17	Rotskuns in die Ha'il Gebied in Saoedi-Arabië	2015	Saoedi-Arabië
18	Sentraal Suriname Natuurreservaat	2000	Suriname

Elk van hierdie rotskunsterreine word dus beskou as erfenis wat oor UUW-status beskik en word daarom gereken as 'n bewaringsprioriteit vir die UNESCO se Wêrelderfenis-komitee (Makuvaza, 2018:xix). Om hierdie beskerming te kan verseker vereis die Operasionele Riglyne vir die Implementering van die Wêrelderfeniskonvensie (UNESCO 2016, para 108) dat elke Wêrelderfenisgebied oor “*an appropriate management plan or other documented management system which must specify how the Outstanding Universal Value of a property should be preserved, preferably through participatory means*” moet beskik. Die UNESCO voorsien nie 'n voorgeskrewe formaat vir hierdie vereiste bestuursplan of -stelsel nie, wat dus beteken dat 'n groot mate van diskresie aan die onderskeie lande verleen word, elk met betrekking tot hul diverse eienskappe rakende die individuele terreine (Badia, 2018:26). Tog word daar nie

¹⁹ Let wel, hierdie gelyste rotskunsterreine is net 'n klein en hoogs selektiewe steekproef aangesien 'n voorlopige ondersoek daarop dui dat daar meer as 70 000 rotskunsterreine wêreldwyd is, met meer as 45 miljoen motiewe (Anati, 2004:52).

algehele diskresie aan lande verleen nie. Die *UNESCO* se Operasionele Riglyne het 'n duidelike raamwerk daargestel rakende die sleutel-elemente wat wél deel moet uitmaak van so 'n bestuursplan of -stelsel, naamlik:

- 'n Deeglike gemeenskaplike begrip van die erfenisgebied deur al die belanghebbendes.²⁰ Dit sluit in die implementering van medeverantwoordelike beplanning, asook 'n konsultasieproses met die belanghebbendes.
- 'n Siklus van beplanning, implementering, kontrolering, evaluasie en terugvoer.
- Die assessering van die delikaatheid van die erfenis met betrekking tot sosiale, ekonomiese en ander aspekte en veranderings, asook die monitering van tendense en voorgestelde ingrypings.
- Die ontwikkeling van meganismes met betrekking tot die betrokkenheid en koördinering van die onderskeie aktiwiteite tussen verskillende vennote en belanghebbendes.
- Die toekenning van noodsaaklike hulpbronne.
- Die uitbouing van kapasiteit.
- 'n Verantwoordbare, duidelike beskrywing van hoe die bestuurstelsel funksioneer.

(UNESCO 2016, para 111)

Vir hierdie doel het die *UNESCO* ook 'n reeks hulpbronhandleidings, soos *Managing Natural World Heritage* (2012) en *Managing Disaster Risks for World Heritage* (2010) beskikbaar gestel vir betrokke regerings en belanghebbendes om hul beter toe te rus vir die bestuur van hul Wêrelderfenisgebiede (Cameron & Rössler, 2018:10). Volgens Cameron en Rössler (2018:12) is hierdie hulpmiddels noodsaaklik aangesien dit van kritieke belang is dat die bestuursplanne of -stelsels volhoubaar moet wees. Die betrokke partye moet dan ook toegerus wees om te verseker dat die voornemens wél geïmplementeer word en dat die planne met 'n deelnemende-benadering saamgestel word. Ook moet die planne gereeld opgedateer word om aan te pas by nuwe omstandighede, soos ondermeer klimaatsveranderinge en risikobestuur.

2.3.4 Bestuursraamwerke

Die afgelope halfeeue is 'n wêreldwye argeologiese mylpaal bereik toe begin is om rotskuns op te neem en hul UUNW-status herken is. Tog gaan hierdie suksesse gepaard met groot uitdagings vir die toekoms aangesien hul inskrywing in die Wêrelderfenislys 'n sterk verantwoordelikheid

²⁰ Die definisie van 'belanghebbendes' is wyd en kan vertolk word as die instellings en individue met 'n dominerende politiese en finansiële belang in 'n plek, tot enige iemand wat 'n fisiese of intellektuele aanspraak daarop het. Ripp en Rodwell (2018) het drie tipes 'belanghebbendes' geïdentifiseer vir hul studie, naamlik primêre of direkte belanghebbendes (plaaslike gemeenskap), sekondêre of indirekte belanghebbendes (verbruikers, toeriste, handelaars, ander indiensnemings- en besoekersverwante kategorieë) en tersiêre of invloedryke belanghebbendes (regerings, nie-regerings, akademici en beleggers van buite).

meebring in die beskerming, bewaring en bestuur daarvan (Bahn 1998:49; Darvill & Batarda Fernandes, 2014:1; Badia, 2018:26). Die implikasie is dat daar van lande verwag word om hul erfenisterreine op 'n wyse te bestuur relevant tot die bewaringsbehoefte van die bepaalde erfenis (UNESCO, 2011). Wat behels dan die 'relevante' bestuur van 'n erfenisterrein? In beginsel is dit die implementering van metodes en instrumente wat ontwikkel is vir die beskerming, bewaring, benutting en verbetering van erfenisterreine. Dit sluit in strategiese beplanning vir dag-tot-dag aktiwiteite, asook medium- en langtermyn inisiatiewe vir 'n spesifieke terrein of groep terreine met oorweging van die terrein se karakteristieke, potensiaal en beperkinge (Magar, 2012:533).

Deeglike beplanning van voornemende aksies is van fundamentele belang vir bestuur, maar daar is geen enkele resep vir alle diverse terreinvereistes nie en 'n aantal moontlike oplossings moet oorweeg word (Layton, 2012:541). Voorts moet gepoog word om van bestaande hulpbronne gebruik te maak, wat insluit menslike hulpbronne, asook finansies en infrastruktuur binne die sosiale en kulturele konteks van die spesifieke terrein. Die mees gepaste oplossings vir die bewaring van 'n betrokke terrein en sy verbruikers moet gevind word deur te fokus op die breër konteks van die erfenisterrein, asook die volhoubaarheid van die oplossings (Magar, 2012:533). In navolging van só 'n geïntegreerde volhoubaarheidsbenadering, stel Badia (2018:30) voor dat die volgende interne doelstellings nagestreef word:

- *Ekonomiese volhoubaarheid:* Die doel hiermee is om inisiatiewe en aktiwiteite aan te moedig wat ekonomiese ontwikkeling van die kultuur- en/of natuurlike erfenis van 'n terrein kan vestig om sodoende die UURW-status te handhaaf en te bewaar vir toekomstige generasies.
- *Omgewingsvolhoubaarheid:* Die onderhouding, en waar nodig, herstel en verbetering van die omgewing en natuurlike voorkoms van die terrein word hiermee ten doel gestel. Hierdie behoort 'n fundamentele oogmerk te wees wanneer volhoubaarheidsprogramme by erfenisterreine geïmplementeer word.
- *Sosiale volhoubaarheid:* Hiermee word ten doel gestel om 'n sentiment van eienaarskap by inwoners te skep teenoor hul kultuur- en natuurlike erfenis, 'n vorm van kollektiewe identiteit en 'n ontvanklikheid ten opsigte van buitestaanders.
- *Aanspreeklikheid en deursigtigheid:* Hierdie doelstelling se oogmerk is om op 'n gereelde basis die praktiese implementering van kollektiewe eienaarskap te monitor, menende die deursigtigheid, aanspreeklikheid en aanmoediging van deelname van alle belanghebbendes.

Die antwoord vir al hierdie doelstellings behoort vervat te wees in 'n omvattende bestuursplan soos voorgeskryf deur die *UNESCO*. Só 'n plan het 'n fundamentele metode geword wat die bewaring van die essensiële komponente van 'n erfenisterrein moontlik maak, tesame met die meer effektiewe en volhoubare gebruik van hulpbronne (Magar, 2012:532).

Tog is daar ook 'n keersy met betrekking tot die praktiese uitvoerbaarheid van hierdie doelgerigte en volhoubare bestuursideale. Alhoewel daar geen tekort is aan beskikbare leiding van internasionale, sowel as nasionale organisasies betreffende erfenisbestuur nie, is daar in praktyk geen gemeenskaplike begrip in hierdie veld nie. Ook weerspieël gidse en handleidings hoofsaaklik algemene ideologieë aangaande die bestuur van erfenisterreine (wat ten doel het om konseptuele raamwerke te skep), terwyl die aanspreek van kernaangeleenthede op grondvlak nagelaat word. Moontlike risiko's en hindernisse met die implementering van bestuursplanne word ook selde melding van gemaak. Dan, die menslike aspek van kulturele bestuur, in terme van hulpbronne en vaardighede, word nie optimaal geïnkorporeer nie en die definiëring van hul rol skiet te kort (Ripp & Rodwell, 2018:248). Boonop word 'n groot hoeveelheid van bestuursplanne bloot geskryf na gelang van 'n templaar en word daarom nie werklik ten volle geïmplementeer nie (Magar, 2012:511).

'n Verdere afkeurenswaardige bestuursaspek van rotskuns, spesifiek met betrekking tot petrogliewe, is dat in 'n poging om opelug rotskuns te bewaar vir toekomstige generasies, die gewilde opsie soms is om die rotse *ex-situ* te stoor en uit te stal. Soos deur Bednarik (2008:8) benadruk word in sy artikel *Removing Rock Art*, is 'n rotkunsterrein soveel meer as net die rotse met die kuns op: Die interafhanklikheid van die terrein en interkulturele konteks dikteer die kulturele betekenis van die terrein, terwyl die terrein weer op sy beurt betekenis gee aan die betrokke rotskuns (Bradley, 1991:77; Bradley *et al.*, 1994:374; Bednarik, 2008:8). 'n Verwydering van die rotse, "*robs the rock art of its site and the site of its rock art*" (Bednarik, 2008:11), en dit maak die rotskuns in werklikheid 'n dooie artefak (Bednarik, 2008:8). Dus, alhoewel dit soms blyk die enigste alternatief te wees om die totale vernietiging van die betrokke opelug-rotskuns te verhoed, bly dit 'n afkeurenswaardige opsie en dui lynreg in teen alle internasionale konvensies wat volhoubare *in-situ* bewaring van erfenis aanmoedig (Plets *et al.*, 2012:145).

Ten slotte kan genoem word dat die ontwikkeling vanaf tradisionele liniêre oorsaak-en-gevolgmodelle tot hedendaagse komplekse stelsels met betrekking tot die bestuur en oordra van inligting, die deur oopgemaak het vir diverse benaderings tot terreinbestuur. Strategieë vir die koördinering van belanghebbendes, asook gemeenskapsdeelname wat daarop gefokus is om plaaslike gemeenskappe te bevoordeel, is nou die hoofokus van die bestuur van Wêrelderfenisgebiede (Göttler & Ripp, 2017:7).

2.4 Rotskuns in Suid-Afrika

2.4.1 Inheemse kunstenaars

Navorsers is dit eens dat die grootste hoeveelheid van Suid-Afrikaanse rotskuns deur die nomadiese jagter-versamelaars, die San-bevolkingsgroep, en tot 'n mindere mate die Khoi-Khoi en Abantoe²¹-gemeenskappe, geskep is. Historiese en argeologiese data dui daarop dat die San-groepe hul eerste verskyning in Suider-Afrika gemaak het gedurende die Latere Steentydperk en was vir 'n lang tydperk die enigste inwoners van Suid-Afrika (Ego, 2015:11; Willcox, 1984:23). Die San-mense het in klein groepies saamgeleef, ongeveer vyf-en-twintig per groep. Die groepe se lidmaatskap was vloeibaar en lede kon met lede van ander groepe ondertrou of selfs net daar gaan woon (Lewis-Williams, 2011:54). Dit was ook hul gebruik om naby 'n waterbron te bly, maar wel nie teenaan die water nie sodat hul nie die diere wat kom water drink het kon afskrik nie. Hul voedsel het bestaan uit die vleis van die wilde diere van die omgewing wat deur die mans gejag is en plante wat die vroue bymekaar gemaak het (aldus jagter-versamelaars) (Lewis-Williams, 2011:54). Ongelukkig het die San-gemeenskap se getalle die afgelope tweehonderd jaar baie gekrimp en is daar slegs 'n klein hoeveelheid van hul oor wat steeds jagter-versamelaars is (SASI, 2020). Ook is die laaste San-skildenaar, wat in historiese bronne opgeteken is, in 1866 oorlede nadat hy geskiet is in die Witteberg Natuurreservaat tydens 'n strooptog. Aan sy gordel is tien klein potjies wat van horings gemaak is en met die verskillende kleure verf steeds binne-in, gevind (Ego, 2015:13).

Die Khoi-Khoi wat saam met die San-groep onder die kollektiewe term, 'Khoisan'²² bekend staan, het ná die San-bevolkingsgroep en voor die Abantoe-groepe, hulself in Suider-Afrika gevestig (Ego, 2015:11-12; Willcox, 1984:23).²³ Die Khoi-Khoi was herders van beeste en skape en hul liggaamsbou is deur die eerste Westerlinge in Suid-Afrika beskryf as groter as dié van die San-mense, waarvan die lengte ongeveer 1,5m vir 'n volwasse San man was (Willcox, 1984:179; Anon., 1981:40).

Die laaste inheemse kultuurgroep wat verantwoordelik was vir die skep van tradisionele rotskunswerke²⁴ is die Abantoe-groepe. Navorsers is van mening dat Abantoe-rotskuns onteenseglik die minste verteenwoordig word in die korpus van Suid-Afrikaanse

²¹ Die term 'Abantoe' kom van Zoeloe af en beteken 'mense'. In praktyk word dit gebruik met verwysing na mense met 'n donker vel wat een van die tradisionele Afrika-tale as moedertaal het (SAHO, 2016).

²² Die term 'Khoisan' is die eerste keer deur Schulze gebruik om te verwys na beide die San en Khoi-Khoi omrede beide die groepe se tale baie klik-geluide bevat het (SASI, 2020).

²³ Die tydsverloop tussen die vestigings van die verskillende groepe is nie duidelik nie en daar bestaan slegs geraamde datums waaroor navorsers ook nie eenstemmig is nie.

²⁴ 'Tradisioneel', menende nié die Westerlinge se kunswerke wat uit 'n latere tydperk dateer en opgemaak is uit Westerse skrif en tekening nie.

rotskuns (siende ook dat hul aankoms in Suid-Afrika gereken word om in 'n latere tydperk te wees) (Willcox, 1984:25-26).

2.4.2 Voorkoms

In die 1980s was die totale aantal rotskunsterreine in Suid-Afrika, soos bekend aan die *Archaeological Data Recording Centre (ADRC)*, 523 terreine met petrogliewe en 3 489 met piktogramme (Willcox, 1984:129). Nie alle terreine is by die *ADRC* aangemeld nie en die deurlopende 'ontdekking' van nuwe terreine is so algemeen dat Lewis-Williams in sy boek, '*San Rock Art*' (2011:22) aanvoer dat daar tot soveel as 15 000 rotskunsterreine in Suid-Afrika is. Vir die rotskunsterreine in Suid-Afrika, behalwe vir 'n paar uitsonderings, geld die algemene wêreldwye verskynsel, naamlik dat petrogliewe en piktogramme afsonderlik van mekaar voorkom: Petrogliewe word gevind op wydverspreide rotse in die vlaktes, asook op of aan die voet van lae heuwels in die opelug. Piktogramme weer, kom hoofsaaklik voor op graniet of dolomietgesteentes in skuilings in bergagtige terreine (Ego, 2015:44; Lewis-Williams, 2011:20; Willcox, 1984:128). Verspreid oor Suid-Afrikaanse rotskuns is die uitbeelding van diere (veral die eland) die algemeenste, tesame met mense en geometriese motiewe. Antropomorfe en zoomorfe word die minste verteenwoordig in die totale korpus rotskunswerke (Lewis-Williams, 1990:13-18).

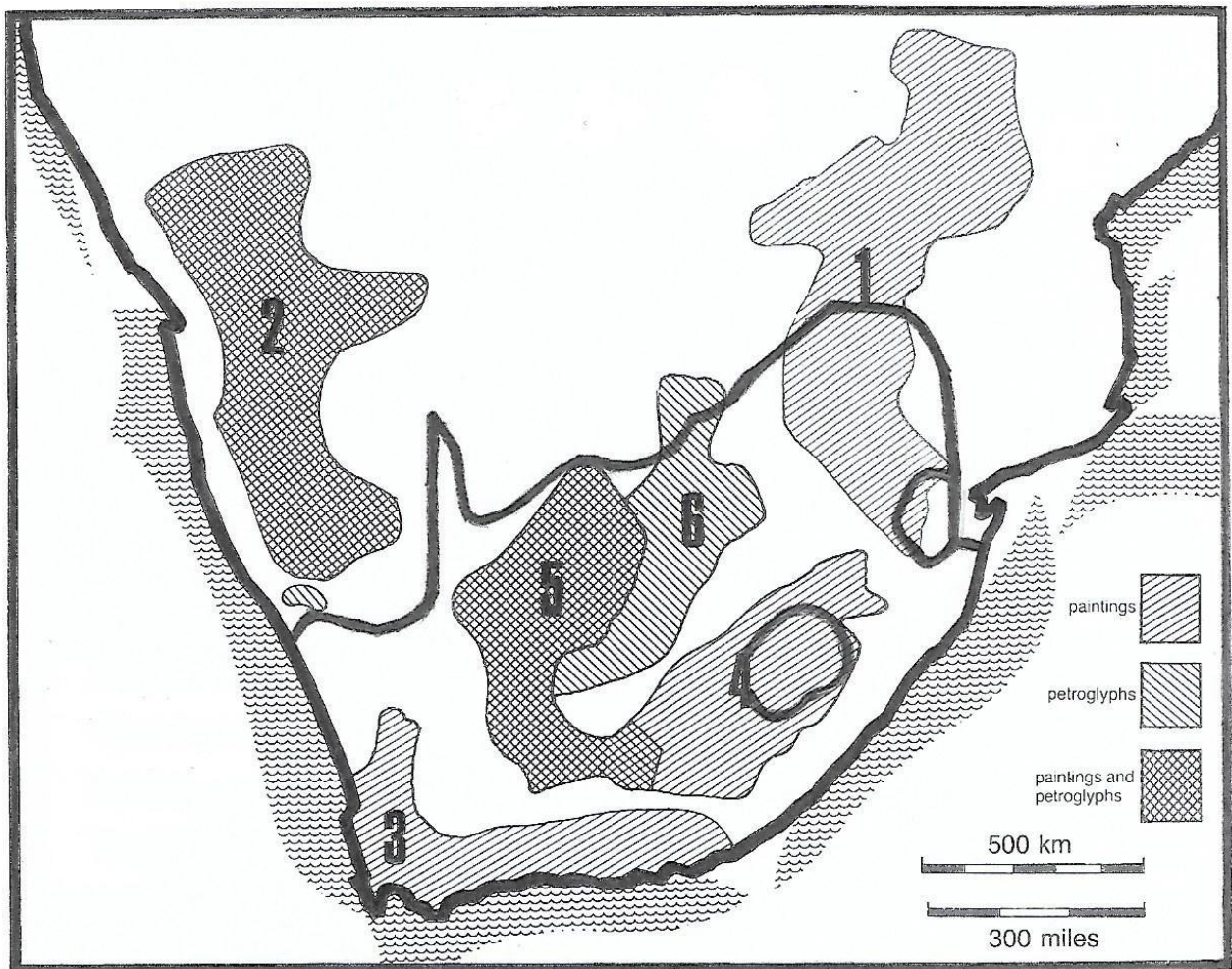
Deur die verspreiding van Suid-Afrika se rotskuns te bestudeer, het eers prof. Van Riet Lowe (Malan, 1965:428-430) en daarna A.R. Willcox (Willcox, 1984:128), verskillende rotskunsstreke van Suider-Afrika geïdentifiseer en ingedeel na gelang van variasies in die kunswerke (Figuur 2.3). Vir die doeleinde van hierdie studie sal slegs gefokus word op die streke geleë binne die Suid-Afrikaanse grense.

Streek 1

Hierdie streek sluit in gedeeltes van Limpopo en Mpumalanga. Die piktogramme beeld onder meer bokke, buffels, kameelperde, sebras, renosters, menslike figure, asook geometriese motiewe soos sirkels uit en word gereken om deur die San geskilder te wees. Die latere piktogramme is weer heel moontlik deur die Abantoe geskep. In hierdie streek is wel 'n paar terreine met petrogliewe, soos op die plaas Balerno in die Limpopo, maar dit is in die verre minderheid (Willcox, 1984:135,137,145; Malan 1965:428).

Streek 2

Hierdie streek omsluit die grootste gedeelte van Namibië.



Figuur 2.3: Suider-Afrika se rotskunsstreke soos ingedeel deur Van Riet Lowe en Willcox (Malan, 1965:428-430; Willcox, 1984:128).

Streek 3

Hierdie streek sluit in die bergagtige gedeeltes van die Wes-Kaap, asook die Kaapse Plooiberge wat strek tot in die Oos-Kaap. Daar word gemeen dat die Khoisan die skildenaars was, hoofsaaklik omrede hul in hierdie gebied aangetref is deur die eerste setlaars. Die piktogramme bestaan onder andere uit bokke, olifante, bobbejane, handafdrukke en menslike figure (Willcox, 1984:179-181).

Streek 4

Hierdie streek sluit in die Maloti-Drakensbergreeks en omliggende gebiede. As gekyk word na die hoeveelheid en kwaliteit van rotskunswerke, word hierdie streek gesien as een van die rykstes ter wêreld²⁵ (Willcox, 1984:189). Die Maloti-Drakensbergpark is dan ook in 2000 deur

²⁵ Tydens studies is meer as 600 rotskunsterreine met nagenoeg 40 000 motiewe aangeteken (Derwent, 2006:85).

die *UNESCO* opgeneem as Suid-Afrika se tweede Wêrelderfenisgebied naas iSimangaliso-vleilandpark in 1999 (*UNESCO*, 2020a).²⁶ Die piktogramme in hierdie gebied bestaan hoofsaaklik uit menslike figure, antropo- en zoomorfe en diere soos bokke, perde, beeste, ensovoorts. Die vroeëre piktogramme is deur die San geskilder, terwyl navorsers meen dat die jongste skilderinge deur die Abantoe geskep is (*Willcox*, 1984:192,195; *Malan*, 1965:428).

Streek 5

Dié kunsstreek lê in die Noord-Kaap en sluit 'n groot gedeelte van die sogenaamde Dorsland in. Die piktogramme in hierdie streek bestaan uit onder meer wilde diere, menslike figure en geometriese motiewe. Die petrogliewe weer is opgemaak uit ondermeer geometriese motiewe soos sirkels met kolle in, sigsag-patrone en paralelle lyne. Daar is ook menslike figure en wilde diere soos leeus en olifante gegraveer. Navorsing toon dat beide die Khoisan en Abantoe hierdie kunswerke geskep het (*Willcox*, 1984: 205, 207-210, 244).

Streek 6

Hierdie streek sluit gebiede van die Noordwes provinsie, Vrystaat, Noord-Kaap en die westelike gedeelte van Gauteng in. Die Khoisan het in hierdie grondgebied gewoon en die petrogliewe wat deur hul gegraveer is bestaan hoofsaaklik uit bokke en ander wilde diere, asook geometriese motiewe soos sirkels, spiraalvorms en paralelle lyne. Tot 'n mindere mate word menslike figure in die petrogliewe verteenwoordig (*Willcox*, 1984:219, 220, 222, 226).

2.4.3 Oudste ter wêreld

Nie net word Suid-Afrika gereken as een van twee lande met die grootste hoeveelheid rotskunswerke nie, maar ook dat die oudste rotskuns (tot dusver bekend) hier gevind is, naamlik die rotssplinter in die Blombosgrotte (sien 2.2.2.2). In die Wonderwerkgrotte in die Noord-Kaap is weer graverings gevind wat ouer as 10 000 jaar is, en so kan die lys aangaan. Met sulke datums is dit vir navorsers duidelik dat alhoewel die huidige inligting tot ons beskikking gefragmenteerd is, daar wel afgelei kan word dat rotskuns, spesifiek dan ook in Suid-Afrika, 'n praktyk is wat beoefen is sedert die antieke tyd (*Ego*, 2015:12; *Lewis-Williams*, 2011:25).

2.4.4 Organisasies

Die Nasionale Departement van Kuns en Kultuur (DKK) is die Suid-Afrikaanse toesighouer van

²⁶ Die Maloti-Drakensbergpark sluit beide die uKhahlamba Nasionale Park in Suid-Afrika en die Sehlathebe Nasionale Park in Lesotho, in (*UNESCO*, 2020b).

alle sake betreffende Suid-Afrikaanse erfenis. Onder hierdie departement val twee organisasies met die opgelegde taak om te verseker dat alle erfenisobjekte die maksimum beskerming geniet (Smuts, 2015:21). Die eerste van hierdie organisasies is die Suid-Afrikaanse Erfenis Hulpbron Agentskap (SAEHA) wat in 2000 die Historiese Monumente Kommissie van 1969 vervang het (Deacon, 2007:15). Die SAEHA verkry sy mandaat deur die Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 van 1999 en is verantwoordelik vir die identifisering en bestuur van alle erfenishulpbronne in Suid-Afrika (Smuts, 2015:21). Die funksies van die SAEHA sluit ondermeer in:

- Die vestiging van nasionale bepalings, standaarde en beleide.
- Koördinasie van die onderskeie Provinsiale Erfenishulpbronowerhede (PEHOe) se bestuur van nasionale erfenis.
- Identifisering, dokumentering en bestuur van waardevolle erfenishulpbronne.
- Advisering, assistering en voorsiening van professionele kundigheid rakende erfenishulpbronne.
- Bevordering en aanmoediging van die publiek se waardering en geniet van nasionale erfenis.
- Bevordering van onderrig en opleiding in die velde verwant aan die bestuur van nasionale erfenis.

Onder die SAEHA ressorteer weer die Provinsiale Erfenishulpbronowerhede (PEHOe) met 'n streekskantoor in elk van die 9 provinsies. Dié owerhede is verantwoordelik vir ondermeer die volgende funksies:

- Bevordering en aanmoediging van die publiek se waardering en geniet van provinsiale erfenis.
- Bestuur van provinsiale erfenisterreine en –objekte.
- Bestuur van permitte vir die uitvoer van erfenisobjekte.
- Die ontwikkeling en onderhoud van die provinsiale erfenisobjekte.

(Nasionale Departement van Kuns en Kultuur, 1999a)

Die tweede organisasie wat onder die DKK ressorteer is die Nasionale Erfenisraad (NER) wat hul mandaat verkry deur die Wet op Nasionale Erfenisraad 11 van 1999. Die NER dien as 'n beleidsadviserende instelling en publieke bewusmaker, verantwoordelik vir inisiatiewe rakende erfenisbefondsing (Benson, 2013:92-94; Smuts, 2015:21). Die oogmerke van die NER is:

- Die ontwikkeling, bevordering en beskerming van nasionale erfenisobjekte.
- Koördinering van die bestuur van erfenis.

- Beskerming, bewaring en bevordering van die literêre inhoud van Suid-Afrika se erfenisversameling.
- Integrasie van erfenis met ander instellings se funksies en aktiwiteite.
- Bevordering en beskerming van inheemse kennissisteme.
- Bevordering van die geskiedenis van die diverse kulture van Suid-Afrika, veral gefokus op die navorsing van slawerny in die Suid-Afrikaanse geskiedenis.

(Nasionale Departement van Kuns en Kultuur, 1999b)

Bo en behalwe vir hierdie regeringsorganisasies is daar verskeie akademiese instellings en nie-winsgewende organisasies wat hul toespits op die beskerming, bewaring, navorsing en voorstelling van rotskunsdata. Twee prominente instansies in Suid-Afrika wat op grond hiervan genoem kan word, is in die eerste plek die *African Conservation Trust (ACT)*, 'n nie-winsgewende organisasie wat gesetel is in Pietermaritzburg en moderne tegnologie soos LiDar en GIS inspan om erfenisterreine digitaal op te neem vir bewaring en bewusmakingsdoeleindes (The Heritage Portal, 2020; ACT, 2020). Die Universiteit van die Witwatersrand is die tweede instansie met sy *Rock Art Research Institute (RARI)*. Hierdie Instituut is 'n wêreldleier in rotskuns asook in die opleiding van mense in rotskunsnavorsing (RARI, 2020b).

2.4.5 Wetgewing

Wetgewing wat kultuurerfenis bewaar is reeds in 1911 ingestel in Suid-Afrika, by name die Boesman Relikwie Beskermingswet. Tog was hierdie wet meer op die bewaring van voorwerpe ingestel as terreine en is in 1934 vervang deur die Wet op Natuurlike en Historiese Gedenkwaardighede en Oudhede 4 (Van Vollenhoven, 2000). Sedertdien het wetgewing rondom erfenishulpbronne betekenisvol uitgebrei en is omvattende beskrywings en regulasies in plek om erfenis so ongeskonde moontlik aan toekomstige generasies na te laat.

Een só 'n wet is die Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 van 1999 wat bepaal dat erfenishulpbronne deel is van nasionale besit en dat geen persoon 'n erfenisterrein mag vernietig, beskadig, ontsier, uitgrawe, verander, uit sy oorspronklike posisie verwyder of onderverdeel sonder 'n permit wat deur die verantwoordelike Erfenishulpbronowerheid uitgereik is nie. Daar word ook aanbeveel dat elke generasie 'n morele verantwoordelikheid het om na nasionale erfenis om te sien en dat dit die plig van die Staat is om dit te bestuur in belang van alle Suid-Afrikaners.

Die oorkoepelende oogmerk van hierdie wet is dat besluitneming met betrekking tot die waarde van erfenisterreine op die laagste vlak van bekwame bestuur geneem word. Met ander woorde, 'n onder-na-bo-benadering word gevolg, eerder as bo-na-onder waar besluitneming weer op die

hoogste vlak plaasvind. Die doel hiervan is, of ten minste in teorie, dat geïntegreerde bestuur sal plaasvind aangesien die plaaslike inwoners mede-eienaarskap neem van die erfenis (Deacon, 2007:15). Dié wet is dan ook rondom hierdie benadering gestruktureerd in 'n sogenaamde drie-stap-proses, naamlik:

- i) Die identifisering van erfenisterreine waarna samesprekings met die belanghebbende partye moet volg om die waarde van die betrokke erfenis te evalueer.
- ii) Beoordeling van die vlak van die erfenisterrein se waarde (genoem gradering).
- iii) Aanbeveling van 'n toepaslike bestuur-strategie om die waarde van die erfenis te laat behoue bly.

Tans bestaan daar dan ook drie tipes graderings van 'n erfenisterrein in Suid-Afrika, naamlik:

- *Graad III*: Hierdie erfenisterreine besit waarde vir die plaaslike gemeenskap en moet onderhou word deur die inwoners en die PEHOe.
- *Graad II*: Erfenisterreine wat van provinsiale belang is, word verklaar tot Provinsiale Erfenisterreine.
- *Graad I*: Bestaan uit erfenisterreine wat bepaal is om van nasionale belang te wees. Hierdie terreine is die SAEHA se verantwoordelikheid.

(Deacon, 2007:16)

Die Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 van 1999 bepaal ook dat 'n nominasie van 'n erfenisterrein deur enige lid van die publiek ingedien kan word mits dit voldoen aan die voorgeskrewe formaat soos daargestel deur die SAEHA en die PEHOe (Nasionale Departement van Kuns en Kultuur, 1999a).

2.4.6 Bestuursraamwerke

Net soos die *UNESCO*, het die SAEHA ook 'n bestuursplan as 'n voorvereiste alvorens 'n terrein as 'n Nasionale Erfenisterrein verklaar kan word (SAHRA, 2020). Tog, nog voor die implementering van 'n voorgestelde bestuursplan, is daar reeds 'n paar fundamentele kwessies wat die bestuur van só 'n terrein kompliseer. Een só 'n kwessie is 'n tekort aan kapitaal vir die doeltreffende bestuur van erfenisterreine wat tot gevolg het dat bewaringsprojekte afgeskaal of selfs tot 'n halt geroep moet word. Hierdie faktor vereis dat bestuurders innoverend moet wees om volhoubaarheid van die bestuursplan te verseker (Little & Borona, 2014:184; Mokoena, 2017). 'n Tweede aspek is die drie-vlak stelsel wat die Suid-Afrikaanse regering volg in die regulering van erfenishulpbronne, naamlik nasionale vlak, provinsiale vlak en plaaslike vlak. In plaas daarvan dat dit die fondasie lê vir stewige erfenisbestuur, verhinder dié stelsel juis

doeltreffende bestuur en bestuursbesluite. Die rede is dat assessors, diegene wat permitte uitreik en toesighouers, in verskillende provinsies gestasioneer is en op verskillende vlakke in die stelsel funksioneer. Ook word databasisse met die onderskeie erfenisterreine se dokumentasie rakende byvoorbeeld eise, opnames en geografiese inligting op verskillende plekke en vlakke in die stelsel gehuisves (Esterhuysen, 2013:3).

Voorts, in 'n poging om die erfenisstelsel meer toeganklik en op datum te hou het die SAEHA die elektroniese stelsel, genaamd die Suid-Afrikaanse Erfenishulpbronninligstelsel (SAEHIS) ontwerp. Hierdie aanlyn-stelsel dien as 'n nasionale hulpmiddel in erfenisbestuur en ook om 'n opgedateerde erfenishulpbrondatabasis daar te stel. So is die SAEHIS dan ook die eerste internasionale aanlyn-diens van 'n owerheid wat lede van die publiek toelaat om op 'n GIS-platform ontwikkelings in hul omgewing waar te neem en op kommentaar te lewer (Smuts, 2015:17; Wiltshire, 2013a:47). Hierdie stelsel het drie primêre funksies, naamlik:

- Die funksionering as 'n geïntegreerde stelsel vir erfenisbestuur deur toegang te verleen tot die aanlyn-verwerking van permitte, impakassesserings, opnames, graderings en verklarings.
- Die stelsel dien as 'n nasionale bergingsplek vir inligting van erfenisterreine wat opgeneem word.
- Die SAEHIS bied hiermee 'n alles-in-een-bestuursuite.

(Wiltshire, 2013b:2-4)

Opsommend beskryf Wiltshire (2013a:47) die SAEHIS as gebruikersvriendelik, deursigtig en toeganklik deurdat enige geregistreerde bewaringsliggaam of lid van die publiek kan inteken ten einde inligting rakende erfenisterreine te verkry, erfeniskwessies aan te meld of kommentare te volg.

2.5 Navorsingsmetodiek

Dokumenteringsmetodes in rotskuns kan in hoofsaaklik twee groepe gekategoriseer word, naamlik:

- *Indringende/direkte metodes.* Hiermee word bedoel dat direkte kontak gemaak word met die rotskuns tydens die dokumentering daarvan.
- *Nie-indringende/indirekte metodes.* Hierdie metode laat geen (of baie min) direkte kontak toe met die rotskuns (Darvill, 2014:25).

Tradisioneel het navorsers beide nie-indringende sowel as indringende metodes gebruik om rotskuns te dokumenteer, bv. vryhandtekeninge, waterverf voorstellings, natrektekeninge, asook skuur- en gietwerk. Namate die nadele van die onderskeie metodes duideliker geword het en die digitale era betree is in die 1990s, is daar stelselmatig oorbeweeg na hoofsaaklik nie-indringende metodes van dokumentering. Hierdie nuwe metodes het grotendeels gekom in die vorm van fotogrammetrie en gespesialiseerde toerusting en sagteware. 'n Kort bespreking van die verloop van dokumenteringsmetodes oor hierdie twee tydperke volg.

2.5.1 Tradisionele metodes

Gedurende die 1900s het dokumenteringsmetodes aansienlik verskil van navorser tot navorser en is daar met verskeie metodes geëksperimenteer. Tydens hierdie tydperk is probleme met fotogrammetrie ondervind, soos byvoorbeeld met die kwaliteit van uitgedrukte foto's en onvoldoende natuurlike lig of swak gehalte kunsmatige beligting tydens fotosessies. Tesame met hoë publiseringskoste en beperkte tyd het dit daartoe gelei dat vryhandtekeninge, waterverf voorstellings, natrektekeninge, asook skuur- en gietwerk die hoof keuses van dokumentering en voorstelling van rotskuns geword het (Domingo Sanz, 2014:6352; Blinkhorn *et al.*, 2012:180). Nietemin, met die verloop van tyd het hierdie dokumenteringsmetodes se nadele duidelik begin blyk en die enkele voordele daaraan verbonde heeltemal oorskadu, naamlik:

- *Vryhandtekeninge en waterverf voorstellings* klassifiseer onder indirekte dokumenteringsmetodes en het dus geen nadelige effek op die rotskuns self nie. Tog het dit tot nadeel dat dit 'n tydsame proses is en dan ook die kunswerke op 'n subjektiewe wyse weerspieël vanweë die eensydigheid van die dokumenteerder.
- *Natrektekeninge en skuurwerk* is op hul beurt beide direkte dokumenteringsmetodes wat beteken dat daar 'n wesenlike risiko bestaan dat die rotskunswerke oor die langtermyn beskadig word met die toepassing van hierdie metodes. Om die risiko beter te verstaan, kan natrektekeninge beskryf word as die proses waartydens 'n deursigtige papier bo-op die betrokke rotskuns geplaas word, waarna 'n pen met permanente inkstof gebruik word om die kunswerk op die papier na te trek (Plets *et al.*, 2011:21).

Skuurwerk, andersyds, behels die skuur van 'n vel koolstofpapier oor 'n dun vel papier wat bo-op 'n petroglief geplaas is (Domingo Sanz, 2014:6353). Beide metodes het die voordelige eienskap dat dit rotskunswerke besonders akkuraat verteenwoordig (Cassen & Robin, 2010:3), maar dat die kunswerke skade ly oor die langtermyn. Benewens hierdie nadeel bestaan daar ook nadele wat, alhoewel dit nie bydra tot die agteruitgang van die

rotskuns nie, dit wel die eindresultaat van die dokumenterings kompliseer, naamlik: Eerstens, is die eindproduk van die gedokumenteerde rotskunswerk gewoonlik tot 'n mate misvormd aangesien die papier waarop dit gedoen word verwing is om by die ongelyke rotsoppervlak aan te pas (Plets *et al.*, 2012:143); en tweedens, kan die omskakeling van die grootte van die kunswerk na 'n funksionele kleiner skaal vir navorsings- en publikasiedoeleindes problematies wees (Domingo Sanz, 2014:353).

- *Gietwerk* is weer wanneer 'n chemiese stof soos vloeibare gips of gepolimeriseerde rubber oor die kontoere van petrogliewe gegiet word met die doel om die gleufies daarvan op te vul. Wanneer die vloeistof dan verhard het, word dit verwyder en die resultaat is 'n negatief van die kunswerk (Jalandoni & Tacon, 2018:48; Lobanova, 2014:103). 'n Alternatiewe wyse wat ook soms gevolg was, is om verskeie lae foelie stewig in die gleufies van die petrogliet in te druk. Daarna is 'n paar lae papier of lap aan die agterkant van die gevormde foelie vasgeplak om dit te versterk voordat die foelie verwyder is. Hierdie onderskeie variante van gevormde negatiewe kon dan gebruik word om 'n herskepping van die kunswerk te maak deur byvoorbeeld veselglas as die positiewe komponent te gebruik om die kunswerk uit te beeld (Rainy, 2011:82). Net soos met natrektekening en skuurwerk, is hierdie tegniek indringend en uiters nadelig vir die petrogliewe. Die skade vind plaas in die vorm van mikroskopiese stukkie rots wat tydens die proses afbreek of dat van die gegiete chemiese stowwe in die gleufies van die petrogliewe agterbly (Jalandoni & Tacon, 2018:48; Lobanova, 2014:103). Die enigste voordeel van hierdie tegniek is die akkuraatheid van die kunswerk wat uitgebeeld word.

Sommige van hierdie dokumenteringsmetodes word steeds deur navorsers toegepas, veral in kombinasie met nuwer digitale metodes in 'n poging om die beste resultate te verkry (Domingo *et al.*, 2015:79). Let wel, die toepassing van die tradisioneel meer indringende metodes is vandag uitsonderlik vanweë die enorme negatiewe impak wat dit op die langtermynbewaring van rotskuns het. Om hierdie rede was die geleidelike oorbeweeg na nuwe, nie-indringende digitale metodes wyd verwelkom (Domingo *et al.*, 2015:79).

2.5.2 Nuwe tegnologiese metodes

Gedurende die 21ste eeu is daar nie net klem gelê op die prioritisering van dokumenteringsmetodes wat nie-indringend is nie, maar ook dat hierdie metodes op 'n akkurate en geïntegreerde wyse moet geskied (Domingo Sanz, 2014:6353). Vir hierdie doeleindes het navorsers en bestuurders van kultuurerfenis hul gewend na nuwe tegnologiese dokumenteringsmetodes. Dié metodes het die vorm aangeneem van hoofsaaklik

afstandwaarnemingstechnologie, of dan meer spesifiek, fotogrammetrie.²⁷ Die tempo waarmee die verskeie fotogrammetriese tegnieke geïmplementeer en aanvaar is, het tot gevolg gehad dat die toepassing van tradisionele indringende metodes byna geheel en al vervang is hierdeur (Sundstrom & Hays-Gilpin, 2011:354). Met hierdie fotogrammetriese tegnieke het navorsers ten doel om:

- Die impak op rotskuns te minimaliseer tydens die dokumenteringsproses.
- Te streef na objektiewe en akkurate studie en herskepping van rotskunswerke.
- Die rotskunsdokumenteringsproses te versnel.

Hiermee saam bied rekenaartegnologie ook 'n wye reeks sagtewarepakette aan wat dit moontlik maak om geneemde digitale foto's te redigeer en te verwerk om sodoende digitale herskeppings te vorm. Boonop kan verskeie digitale tegnieke toegepas word om rotskuns wat aan erge agteruitgang lei se waarneembaarheid te verhoog. Hierdie verhoogde waarneembaarheidstechnologie bied dus aan navorsers die geleentheid om die kunswerke wat al tot 'n erge graad verdof het steeds te kan dokumenteer, bestudeer en bekend te stel wat andersins ongesiens sou verbygaan met die toepassing van tradisionele metodes (David *et al.*, 2001:781; David, 2004:224; Brady, 2006,2007). Daarbenewens is digitale dokumentasies ook van onskatbare waarde tot die wetenskap aangesien die motief wat op 'n spesifieke oomblik gedokumenteer word, deel word van verganklike kultuurerfenis. Die rede is dat die tydsfaktor dit onmoontlik maak om 'n presiese identiese beeld van dieselfde rotskunswerk op 'n tweede geleentheid te dokumenteer. Om dié rede moet digitale dokumentasies ook as erfenis beskou word aangesien dit oor unieke en on-navolgbare data beskik. Die bestuur van sulke waardevolle data word tans deur databasisse hanteer wat oor 'n verskeidenheid van diverse vermoëns beskik. Die bekendste van dié rotskunsdatabasisse is sekerlik die *Archives of Rock Art (WARA)*, *Africa Rock Art Archive* van *RARI* en *Central Asian Rock Art Database (CARAD)* (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:41).

Een van die oogmerke van hierdie nuwe tegnologiese metodes is die realisering van 'n omvattende wyse van dokumentering van rotskunsdata, 'n doel wat slegs bereik kan word as onderskeie dissiplines soos afstandwaarnemingstechnologie, GIS en rekenaarwetenskap betrek word om die bes moontlike dokumenteringsresultate te verkry. Rotskunsdokumentering word dus nie meer gereken as 'n veld wat individualisties funksioneer nie, maar wat groei en verander in verhouding tot die tegnologiese vooruitgang van hierdie aanvullende dissiplines (Domingo *et al.*, 2015:79).

²⁷ Sien 2.6.6 vir 'n bespreking van sommige fotogrammetriese metodes wat tans toegepas word in die dokumentering van kultuurerfenis.

2.6 Digitale argeologie

2.6.1 Wat is digitale argeologie

Met die beskikbaarheid en toepassing van 'n wye verskeidenheid verskillende bekostigbare digitale dokumenteringstoerusting, het die studieveld argeologie 'n punt bereik waar dit 'n stortvloed van digitale inligting moes hanteer. Hierdie toerusting, soos byvoorbeeld digitale kameras, globale posisioneringstelsels (GPSs), selfone, skootrekenaars, eksterne hardeskywe, hommeltuie, ensomeer, het begin deel word van 'n argeoloog se standaard 'instrumente'. Die gevolg hiervan was dat groot hoeveelhede data oor 'n kort tydperk ingesamel is. Hierdie situasie het die vraag laat ontstaan van hoe argeoloë die eksponensiële toename in data effektiewelik kan bestuur en analiseer met die beskikbare tegnologiese ontwikkelings beskikbaar. Daarom, voortvloeiend uit hierdie vraag het daar 'n nuwe dissipline, genaamd digitale argeologie ontwikkel. Dus kan digitale argeologie beskryf word as die inkorporering van digitale metodologieë in die veld van argeologie (Jones & Levy, 2018:1). Die konsep van digitale argeologie staan onder akademici ook bekend as ondermeer virtuele argeologie of die minder bekende term, kuber-argeologie (López-Mencheró Bendicho, 2013:270). In die Handves van Seville word weer verwys na digitaalgebaseerde visualisering (sien 2.6.2).

2.6.2 Wetgewende raamwerk

Digitale argeologie as nuwe dissipline word globaal gereguleer deur die *Spanish Society of Virtual Archaeology (SEAV)*. Sedert hul ontstaan in 2008 het hul al drie-en-twintig navorsingsgroepe en een-en-twintig private Spaanse maatskappye, wat besorgd is oor die toekoms van digitale argeologie, byeengebring. Die SEAV het ook die *International Forum of Virtual Archaeology (IFVA)* op die been gebring wat daarop gerig is om die teoretiese fondasie te lê vir die internasionale toekoms van digitale argeologie. Tesame met lede van die UNESCO en die ICOMOS, het dié forum se primêre doel gelei tot die totstandkoming van die Internasionale Handves van Virtuele Argeologie in 2012, beter bekend as die Handves van Seville of die Seville-beginsels ('n internasionale handves gemik op die inkorporasie van die algemene beginsels van die Handves van Londen in die veld van digitale argeologie)²⁸ (López-Mencheró Bendicho, 2013:270). Hierdie beginsels wat ook reeds in die praktyk toegepas word in verskeie lande, kan soos volg opgesom word:

²⁸ Sien <http://www.londoncharter.org/history.html> vir meer oor die Handves van Londen.

Beginnel 1

Implementering: Die beginsels soos vervat in die Handves van Seville is van krag waar ook al digitaalgebaseerde visualisering toegepas word op navorsing en voorstelling van kultuurerfenis.

Beginnel 2

Doel en metodes: Digitaalgebaseerde visualisasie-metodes moet alleenlik toegepas word wanneer dit die mees gepaste metode vir die betrokke doel is.

Beginnel 3

Navorsingsbronne: Relevante navorsingsbronne moet geïdentifiseer en geëvalueer word op 'n gestruktureerde en gedokumenteerde wyse. Hierdie beginsel is daargestel om intellektuele integriteit van digitaalgebaseerde visualisasie-metodes en uitkomstes te verseker.

Beginnel 4

Dokumentasie: Genoegsame data moet gedokumenteer en beskikbaar gestel word vir effektiewe digitaalgebaseerde visualisasie-metodes en uitkomstes. Sodoende kan die data verstaan en geëvalueer word binne die konteks en doel waarvoor dit bestem is.

Beginnel 5

Volhoubaarheid: Strategieë moet opgestel en geïmplimenteer word met die oog op die langtermynvolhoubaarheid van die dokumentering en uitkomstes van digitaalgebaseerde visualisasie. Die moontlike verlies van data van die mens se intellektuele, sosiale, ekonomiese en kultuurerfenis moet ten alle koste vermy word.

Beginnel 6

Toegang: Die wyse waarop digitaalgebaseerde visualisasie geskep en voorgestel word, moet voorafgegaan word deur deeglike beplanning. Hierdie beplanning moet geskied met die doel om die grootste moontlike voordele te verkry met betrekking tot die bestudering, begrip, interpretasie, bewaring en bestuur van kultuurerfenis.²⁹

²⁹ Sien López-Mencheró Bendicho (2013:257) vir 'n breedvoerige uiteensetting van elke beginsel.

Hierdie beginsels het ten doel om die metodes en resultate van digitale visualisering van kultuurerfenis te reguleer met die doel om:

- 'n Kriterium daar te stel wat wêreldwyd deur professionele persone in die veld aanvaar word.
- Intellektuele en tegniese noukeurigheid in digitale demonstrasies van erfenis te bevorder.
- Te verseker dat die prosesse wat gevolg word, asook die verkrygte resultate van gerekenaariseerde visualisering, op 'n doeltreffende wyse deur verbruikers begryp en geëvalueer kan word.
- Gerekenaariseerde visualisering wat streng gereguleer word, toe te laat om 'n daadwerklike bydrae te lewer tot die studie, interpretasie en bestuur van kulturele bates.
- Te verseker dat die seleksie en toepassing van volhoubare strategieë op 'n korrekte wyse geskied.
- 'n Soliede fondasie te vorm waarop die gemeenskap van spesialiste meer gedetailleerde kriteria en riglyne kan ontwikkel.

(López-Menchero Bendicho, 2013:272)

Hierdie regulasies is dus daarop gerig om 'n gereguleerde en holistiese-benadering tot digitale argeologie daar te stel ter realisering van 'n suksesvolle konsep van omvattende bestuur van kultuurerfenis.

2.6.3 Metodes

Nie net moes die mees voordelige metodes gevind word vir die omvattende, nie-indringende dokumentering van rotskuns vir elke gevallestudie nie, maar ook het daar die behoefte ontstaan om die kunswerkdata te verwerk om groter sigbaarheid daaraan te verleen. Navorsers se oogmerk was dus ook om metodes te ontwikkel om rotskunswerke wat agteruitgegaan het of gesuperponeer is te identifiseer, dokumenteer, duideliker te maak en so beskikbaar te stel. Die 'digitale rewolusie' het 'n kardinale rol gespeel in die vind van oplossings vir hierdie probleem deur die beskikbaarstelling van innoverende metodes om rotskuns te dokumenteer en die waarneembaarheid daarvan te manipuleer (Brady & Gunn, 2012:627). Tog is daar geen één metode in hierdie proses van dokumentering, verwerking, waarneembaarheidsmanipulering en voorstelling van rotskunsdata wat onder alle omstandighede die gewenste resultate lewer nie. Digitale metodes verskil tot 'n hoë mate van mekaar in die opleiding wat benodig word in die hantering daarvan, die mate van toegang daartoe, tyd wat benodig word vir implementering, beperkings veroorsaak deur weersomstandighede en/of ligging en natuurlik die koste verbonde aan sommige van die toerusting. Al hierdie faktore moet teen mekaar opgeweeg word met inagneming van die omgewing waarin die fisiese dokumentering gedoen word, asook die

verlangde resultate (Darvill, 2014:25). Van die metodes wat tans die meeste toegepas word in die proses van rotskunsnavorsing sal voorts kortliks genoem en beskryf word.

2.6.3.1 Dokumentering

Die gehalte van argeologiese navorsing, asook die vorme van voorstelling van die data is 'n direkte uitvloeisel van die kwaliteit en akkuraatheid waarmee die dokumentering uitgevoer is. Die kwaliteit van dokumentering speel ook 'n toonaangewende rol in die beplanning van bewaringsbeleide vir terreine en bepaal die moontlikhede van toekomstige navorsers (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:29-30). Daarom is dit tans ook die aangewese manier om verskeie metodes aan te wend vir die akkurate dokumentasie van rotskuns om sodoende komplimenterende tegnieke te vind wat saam toegepas kan word (Lobanova, 2014:106). Hierdie metodes kan opgedeel word in aktiewe- en passiewe dokumenteringsmetodes waar eersgenoemde metode hul eie bestraling gebruik om punte in ruimte te dokumenteer. Passiewe dokumenteringsmetodes aan die ander kant, dokumenteer weer die reflekerende lig of bestraling afkomstig vanaf 'n onafhanklike bron soos die son of eksterne kunsmatige beligting (Georgopoulos & Stathopoulou, 2017:4,12). Beide hierdie dokumenteringsmetodes ressorteer onder afstandwaarnemingstechnologie. Sien Tabel 2.2 vir 'n opsomming hiervan.

Tabel 2.2: Dokumenteringsmetodes (Georgopoulos & Stathopoulou, 2017:4-7,12-13; Liritzis *et al.*, 2017:163; Mudge *et al.*, 2012:654).

Dokumentering					
	Metode	Toerusting	Werking	Voordele	Beperkinge
	<u>Lasergrammetrie</u> Funksioneer op een van drie wyses:	Terrestriële laser-skandeerder (TLS).	Word opgestel in 'n vaste posisie, soos bv. op 'n driepootstaander.	- Hoë akkuraatheid;	- Koste van toerusting;
	1) 'n Laser pols word uitgestraal na die entiteit, waarna die terugkerende sein gedokumenteer word tesame met die tyd wat dit geneem het;	Lugvaart laser-skandeerder (LLS).	Word aangebring op 'n vliegtuig wat dan bo-oor die gemerkte terrein vlieg. Die vliegtuig kan 'n bemande vlug (BV) wees of 'n onbemande vlug (OV), soos 'n hommeltuig.	- Hoë getal punte wat ingesamel word;	- Reaksie van laserstraal met sekere oppervlaktes, bv. marmer wat die straal kan absorbeer, asook swart en nat oppervlaktes wat die straal nie laat reflekteer nie.
	2) 'n Ononderbroke laserstraal word uitgestraal in stede van 'n pols. Hierdeur word die verskil in die fase-variantsie tussen die uitgestraalde en terugkerende	Draagbare laser-skandeerder (DLS).	Kan aangebring word op 'n bewegende vaartuig of gedra word deur 'n persoon.	- Hoë digtheid.	

Dokumentering (volg)					
	Metode	Toerusting	Werkling	Voordele	Beperkinge
Aktiewe dokumenteringsmetodes	sein gedokumenteer. Beide die metodes staan bekend as die <i>Time-of-Flight (ToF)</i> beginsel. 3) 'n Laser word op 'n oppervlakte/entiteit gestraal en met twee optiese sensors word een of twee driehoeke gevorm. Die sensors bepaal die posisie van die entiteit deur die driehoek(e) te ontleed. Die beginsel staan bekend as laser driehoeksmeting.				
Passiewe dokumenteringsmetodes	<u>Fotogrammetrie</u> Die vaslê van berekenbare data van die ruimte van 'n 3D oppervlakte by wyse van 2D beelde. Multibeeld fotogrammetrie is van toepassing wanneer foto's van 'n entiteit mekaar oorvleuel. Hierdie foto's word dan deur middel van rekenaarsagteware verwerk na 'n 3D.	'n Digitale kamera met toebehore	Die kamera kan aangebring word op 'n: - Stilstaande voorwerp (soos 'n driepootstaan-der) of fisies gedra en hanteer word deur 'n persoon. Staan bekend as terrestriële fotogrammetrie; - OV of BV. Aldus lugfotogrammetrie.	- Lae koste; - Fotograaf het min opleiding nodig.	- Verwerking van foto's kan 'n tydsame proses wees.

2.6.3.2 Verwerking

Die bestuur van die gedokumenteerde data is baie belangrik. Dataverwerking wat té ambisieus gedoen word kan lei tot die gebrekkige of selfs totale verlies van relevante argeologiese

inligting. Daarom is dit aangewese dat die resultaat van die verwerkte data deurentyd vergelyk moet word met die rou data (Meyer, 2013:187). Daar is vandag verskeie omvattende sagtewarepakette beskikbaar vir dataverwerking wat effektief, vinnig, gebruikersvriendelik en soms ook gratis en/of oopbron beskikbaar is (Lercari, 2016:9). Sien Tabel 2.3 vir slegs 'n klein aantal van die sagtewarepakette wat tans toegepas word in die verwerking van rotskunsdata.

Tabel 2.3: Verwerkingsagteware (Anderson *et al.*, 2018:329; Plets *et al.*, 2012:140,145,150; CTS Heritage, 2020; Cignoni & Muntoni, 2020; Rahaman *et al.*, 2019:3; Esri, 2020).

Verwerking				
Waar vind verwerking plaas	Programmatuur	Funksie	Voordele	Beperkinge
Cloud	<i>AgiSoft Photoscan Pro</i>	3D data wat verkry is, word ontgin vanaf 2D foto's wat uit verskillende hoeke en hoogtes geneem is. Die verwerking behels 'n kombinasie van die <i>Structure from Motion (SfM)</i> -tegniek en 'n verskeidenheid van digte multi-aansig stereo (MAS) algoritmes. Op hierdie wyse word 'n 3D model van die oppervlakte/entiteit saamgestel.	- Koste-effektief; - Relatief eenvoudig om mee te werk; - Buigbaarheid.	- Kragtige rekenaar nodig (16-128 gigagrepe geheue en 'n GPU met 4-16 verwerkers); - Program is onder konstante ontwikkeling, dus word probleme soms ervaar met die vloei van die program.
Plaaslik	<i>3DVista Virtual Tour Pro</i>	Heg geneemde foto's aanmekaar om 'n 360° virtuele toer te skep. Beskik ook oor beperkte funksies om die waarneembaarheid van foto's te manipuleer.	- Alles-in-een program; - Koste-effektief.	- Kragtige rekenaar nodig (16 gigagrepe geheue en 'n GPU met 4 verwerkers).
Cloud	<i>MeshLab</i>	Bied 'n stel hulpmiddels om rou data wat deur 3D digitale instrumente vervaardig is, te verwerk na 'n diskrete interpretasie van 'n geometriese model.	- Gratis; - Kan groot data-leërs hanteer.	- Program is onder konstante ontwikkeling, dus word probleme soms ervaar met die werking van die program.
Cloud of plaaslik	<i>ArcGIS</i>	Programmatuur waarmee ruimtelike data geskep, bestuur, gedeel en geanaliseer kan word.	- Integrasie met ander stelsels is goed;	- Koste; - Kragtige rekenaar word

Verwerking (volg)				
Waar vind verwerking plaas	Programmatuur	Funksie	Voordele	Beperkinge
			- Relatief eenvoudig om te leer gebruik.	benodig (8-32 gigagrepe geheue en 'n GPU met 4-10 verwerkers); - Byvoegings kan nie maklik geskep word nie.
Plaaslik	<i>RTIBuilder</i>	'n Koppelvlak na 'n stel instrumente wat die oorspronklike stel foto's verwerk na 'n <i>Reflectance Transformation Imaging (RTI)</i> -leër toe (sien Tabel 2.3).	- Gratis en oopbron.	- Uitsetkwaliteit hang van die geneemde foto's af.

2.6.3.3 Waarneembaarheidsmanipulering

Die gebruik van sagteware om die waarneembaarheid van 'n uitbeelding te manipuleer word al sedert die 1990s toegepas (Brady & Gunn, 2012:629). Manipuleringsalgoritmes word ontwerp om inligting wat nie onder normale ligtoestande met die menslike oog gesien kan word nie, na vore te bring (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:31). Dus is die gebruik van waarneembaarheidsmanipulering 'n belangrike instrument om:

- Te poog om subjektiwiteit tot 'n mate te verminder.
- Verdofte motiewe te herkonstrueer, asook die herstel van hul korrekte kleure.
- Lae van superponering van mekaar te onderskei.

(Brady & Gunn, 2012:629; Clogg *et al.*, 2000:839)

Tabel 2.4 dui van die gewildste programmatuur aan vir die waarneembaarheidsmanipulering van rotskuns vandag.

Tabel 2.4: Programmatuur om waarneembaarheidsmanipulering toe te pas (Brady & Gunn, 2012:631-632; PGBS, 2020; CHI, 2020; Mudge *et al.*, 2012:645,648-651; Lymer, 2015:160-161; Hanneken, 2016:181).

Waarneembaarheidsmanipulering			
Programmatuur	Funksie	Voordele	Beperkinge
<i>Adobe Photoshop</i>	Redigering van foto's en grafiese ontwerp. Kleure op foto's wat verdof het, kan gekies en gemanipuleer word.	- Geen derde party <i>plugins</i> nodig nie; - Eenvoudig om te leer gebruik.	- Koste; - Verwerking van hoë kwaliteit foto's is problematies.
<i>Decorrelation Stretch (DStretch)</i>	Kunsmatige beklemtoning van die onderskeie kleure by wyse van selektiewe verskerping van kleurspasie deur die verskillende kleurvelde te skei of uit te strek.	- Bekostigbaar; - Eenvoudig om toe te pas.	- Kan slegs 3-kanaal toevoer hanteer. Dus 'n probleem as kamera meer as 3-kanale het.
<i>RTI</i>	Behels die interaktiewe beligting van 'n oppervlakte vanuit verskillende hoeke.	- Gratis; - Eenvoudig om toe te pas.	- Groot tonele kan problematies wees om mee te werk.
<i>SpectralRTI</i>	Kombineer die eienskappe van <i>RTI</i> met spektrale beelding wat die sigbare kleurspektrum van die menslike oog oortref.	- Kan 4-kanaal (en meer) toevoer hanteer; - Gratis.	- Meer gekompliseerd as gewone <i>RTI</i>.
<i>Collaborative Algorithmic Rendering Engine (CARE)</i>	Pas wiskundige filtreerders toe op 'n opeenvolgende stel digitale foto's om nuwe inligting op die foto's te toon.	- Intensifiseer die resultaat wat verkry word van <i>RTI</i> deur opsies van visie by te voeg.	- Onbekend, moet nog in die veld toegepas word.

2.6.3.4 Voorstelling

Met die toenemende integrasie van digitale tegnologie toegepas op kultuurerfenis-terreine, is dit vanselfsprekend dat hierdie tegnologieë 'n breër aanwending sal hê as vir slegs interne doeleindes. Die verkrygte data en resultate word dikwels ook gedeel met ander navorsers en die breë publiek by wyse van visuele platforms waardeur 2D en 3D skeppings aanlyn gedeel kan word, soms met die druk van slegs een knoppie (Vincent & Levy, 2017:xiii). Dus, die behoefte om nuwe ontdekkings te kommunikeer met mense wat nie self die erfenisterrein besoek nie, kan nou gevul word deur die voorstelling van visuele skeppings (López-Mencheró Bendicho *et al.*, 2017:37). Soos tereg opgemerk word deur López-Mencheró Bendicho *et al.*

(2017:42):

In Tabel 2.5 word 'n paar van die platforms vir die voorstelling van rotskunsdata kortliks beskryf.

Tabel 2.5: Platforms om rotskunsdata voor te stel (Anderson *et al.*, 2018:331; ICOMOS, 2006; Petrelli, 2019:2; Britse Museum, 2020; Victoria Museum, 2020; Rahaman *et al.*, 2019:4,6; RARI, 2020a; Younes, 2020).

Voorstelling		
Platform	Eienskappe	Toepassing
2D uitbeeldings	Gewone 2D foto's van 'n terrein en/of entiteite word beskikbaar gestel.	- Op 'n webtuiste van <i>RARI</i>, geskep en bestuur deur <i>The African Rock Art Digital Archive</i> van die Universiteit van die Witwatersrand, kan 2D foto's van rotskuns gesien word http://ringingrocks.wits.ac.za/
3D modellering	Die model kan óf in 3D uitgedruk word óf in 'n 3D digitale platform beskikbaar gestel word.	- 3D uitdruk van rotskuns by Wildspas in die Drakensberge; - Digitale 3D modellering van die Caquetá-rotskunsterrein met <i>ArcGIS</i>.
Virtuele werklikheid	'n Digitale werklikheid van 'n terrein of entiteit word geskep en aangevul met rekenaar gegenereerde verbeterings. Hierdeur verkry die verbruiker subjektiewe aansig van die oppervlakte.	- 'n Virtuele werklikheidstoer van Suid-Afrikaanse rotskuns is aanlyn beskikbaar gestel deur die Britse Museum in Londen https://africanrockart.britishmuseum.org/vr/ - 3D entiteite kan ook gedeel en virtueel besigtig word in 'n toepassing genaamd <i>Sketchfab</i>.
Aanvullende werklikheid (<i>Augmented Reality</i>)	Die werklike terrein of entiteit word digitaal aangevul met gerekenardiseerde elemente. Die verbruiker verkry hiermee 'n objektiewe aansig van die terrein.	- Rotskuns in Arnhem Land in Australië is deur die Victoria Museum gebruik om 'n aanvullende werklikheid te skep https://www.youtube.com/watch?v=floA5HDh8jU
360° sferiese uitbeelding	'n 360° uitbeelding van 'n terrein wat interaktief funksioneer.	- Hollman (Hollman & Crause, 2011) het 'n 360° sferiese uitbeelding van die Vaalekop Skuiling rotskunsterrein in KwaZulu-Natal geskep; - Sien ook https://www.facebook.com/mahmoudyounesegyptologist vir die toepassing hiervan op argeologiese terreine in Egipte.

2.6.4 Voordele vir Suid-Afrika

Ingevolge Artikel 17 van die Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 van 1999, moet Suid-

Afrika se erfenishulpbronne geïdentifiseer, geassesseer en bestuur word met die doel om:

- Die waarde van materiële- of kultuurerfenis in ag te neem en toe te sien dat so min as moontlik veranderings of verlies plaasvind.
- Die gebruik en genot van en toegang tot erfenishulpbronne te bevorder op 'n wyse wat in lyn is met die betrokke erfenis se kulturele betekenis en bewaringsbehoeftes.
- 'n Bydrae te lewer tot sosiale en ekonomiese ontwikkeling.
- Die moontlikhede van die huidige en toekomstige geslagte te beveilig.
- Ten volle nagevors en gedokumenteer te word.

Soos duidelik hieruit gemerk kan word, is navorsers en erfenisbestuurders wetlik verplig om met die grootste sorg en toekomsvisie met erfenishulpbronne om te gaan. Met betrekking tot rotskuns spesifiek, het die Suid-Afrikaanse Museumsvereniging reeds in 1956 'n brief aan die president van die Suid-Afrikaanse Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad (WNNR) gerig waarin hul klem gelê het op die dringende behoefte aan die ontwikkeling van metodes om prehistoriese rotskuns in Suid-Afrika te bewaar. Daarin is versoek dat die WNNR die vraagstuk sal ondersoek, waarna lede van die WNNR in April 1957 vier terreine naby Ladybrand besoek het. In die verslag wat gevolg het, is die WNNR aangemoedig om persoonlik by die kwessie betrokke te raak. Desnieteenstaande het niks hiervan gekom nie (Schoonraad, 1972:271).

Dus is die behoefte om rotskuns te bewaar vir navorsers en die breë publiek 'n kwessie wat reeds al 'n geruime tyd dringende aandag vereis. Die werklikheid is dat, selfs met verskeie metodes wat geïmplementeer word om die rotse met die kuns op in hul fisiese toestand te bewaar, kan dit onder die beste omstandighede slegs die proses van agteruitgang vertraag. Die feit is dat oor tyd alle oorspronklike tasbare rotskuns tot niet sal gaan. Daarom is dit vir Suid-Afrika met sy ryk rotskunserfenis van kardinale belang dat langtermyn oplossings gevind moet word, omredes:

- Dit die enigste bron van 'geskrewe' geskiedenis van Suidelike Afrika is voor kolonialisme plaasgevind het.
- Navorsers, veral internasionaal maar ook plaaslik, nog bitter min van die rotskuns werklik besigtig en bestudeer het.
- dit een van die hoof besienswaardighede van toeriste ('n belangrike bron van inkomste) in Suid-Afrika is.

Daarom behoort alle belanghebbendes van Suid-Afrikaanse kultuurerfenis aktief na metodes te soek en te beproef met die oogmerk om rotskuns op nie net op 'n fisiese wyse te bewaar nie, maar ook op 'n digitale volhoubare wyse te dokumenteer, verwerk en beskikbaar te stel.

2.7 **Gevolgtrekking**

Na aanleiding van die literatuurstudie wat in hierdie hoofstuk gedoen is, is dit duidelik dat die daarstelling van sekere oogmerke met betrekking tot die bewaring van rotskuns van kardinale belang is. Daar bestaan 'n dringende behoefte tot die realisering van 'n gereguleerde, holistiese digitale-benadering tot rotskuns met die daarstelling van 'n suksesvolle, uitvoerbare raamwerk van omvattende bestuur van rotskuns. Hierdie behoefte moet aandag geniet met dien verstande dat met die tempo waarteen rotskunserfenis verlore gaan, die dringendheid om volledige rotskunsdata in te samel en te stoor daagliks eksponensieel vergroot. Dit is nodig dat 'n afdwingbare internasionale-, sowel as nasionale standaard daargestel word betreffende die wyse waarop rotskunsdata gedokumenteer en beskikbaar gestel word. Hierdie gedokumenteerde data moet oor langtermyn-toeganklikheid beskik en dus aangepas kan word oor verskillende digitale platforms. Hierdeur kan navorsers en erfenisbestuurders digitaal toegang verkry tot objektiewe en volledige data om dit te kan verwerk en aanwend soos hul nodig ag vir hul betrokke doeleindes (Plets *et al.*, 2012:139).

In die volgende hoofstuk word gekyk na die metodologie wat gevolg gaan word vir die daarstel van só 'n aanlyn-datamodel om rotskunswerke op Bosworth-rotskunsterrein te dokumenteer, verwerk en voor te stel. Ook gaan uiteengesit word hoe hierdie beplande model aan die gebruiker die vermoë sal bied om waarneembaarheidsmanipulering op die onderskeie kunswerke toe te kan pas.

HOOFSTUK 3

METODOLOGIE

3.1 Inleiding

Hierdie hoofstuk skep die metodologiese agtergrond waarbinne hierdie studie uitgevoer is. 'n Beskrywing van die bestaande hoofstroom navorsingsmetodes in rotskuns word gevolg deur 'n oorsigtelike bespreking van die nuwe konseptuele-benadering wat in hierdie studie voorgestel word, naamlik 'n multinavorsingsmodel. Hierna word die teorie agter geografiese inligtingstelsels (GISs), wat dien as die ruimtelike raamwerk waarbinne konteksvoorstelling en analisering van die rotskunsterrein plaasvind, bespreek. Afstandwaarnemingsmetodes, of meer spesifiek fotogrammetrie, vorm weer die totale dokumenteringsbeen van die studie en die tegnologie en tegnieke agter hierdie wetenskap word verduidelik.

Die tweede been van die studie, naamlik die verwerking van die gedokumenteerde data met die doel om die eindprodukte van die onderskeie verwerkings voor te stel in 'n webtoepassing, word hierna op 'n sistematiese wyse uiteengesit. Die korpus van diverse sagteware-instrumente vervat in hierdie been het dit genoodsaak om die kern van elke komponent slegs kortliks weer te gee in terme van die geskiedenis, funksie en spesifieke doel in hierdie studie.

Om die totale studie in konteks te plaas, word die hoofstuk afgesluit met 'n diagram en verduideliking van die metodologiese vloei met die doel om die bepaalde toepassing van die onderskeie elemente in die studie te omskryf.

3.2 Navorsingsmetodiek in rotskuns

3.2.1 Beskrywing

Die doel van die dokumentering van rotskuns is drieërlei van aard, naamlik:

- Die digitale behoud van rotskunsdata.
- Die verwerking daarvan te monitor oor 'n tydperk by wyse van herhaalde dokumentering.
- Om rotskuns virtueel duideliker te maak deur die waarneembaarheid daarvan op 'n digitale wyse te manipuleer.

(Berquist *et al.*, 2018:46; Domingo *et al.*, 2015:79; Quesada & Harman 2019:1)

Om hierdie doelstellings te bereik het dit nie net standaardpraktyk geword om verskeie digitale

metodes in rotskuns-argeologie toe te pas nie (soos beskryf in 2.6.1), maar dit het ook in die laaste dekade verder ontwikkel tot 'n vlak waar digitale multimetodieke-benaderings die oogmerk van navorsers geword het ter optimalisering van hierdie doelstellings (Robinson *et al.*, 2015; Rivero *et al.* 2019). Hierdie benaderings neem hoofsaaklik die vorm aan van multiskaal dokumentering van rotskunsdata by wyse van GIS en afstandwaarnemingstechnologie (Berquist *et al.*, 2018:48; Forgia & Sineo, 2021; Lesvignes *et al.*, 2019:2; López-Mencheró Bendicho *et al.*, 2017:34; Ruiz López *et al.*, 2019:5) en/of 'n multi-analiseringsbenadering wat toegepas word op verkrygte rotskunsdata (Carrero-Pazos *et al.*, 2018; Solem & Nau, 2020).

Multiskaal dokumentering het gewildheid verwerf onder navorsers omrede daar 'n behoefte bestaan het om 'n terrein se rotskuns korpus binne konteks op te neem en uit te beeld (Berquist *et al.*, 2018:48; Fanini *et al.*, 2019:1; Forgia & Sineo, 2021). Daarom, met die geredeliker bekombaarheid van digitale dokumenteringstoerusting is die deur geopen tot 'n verskeidenheid van dokumenteringsmetodologieë ter oorweging vir rotskunsnavorsing (Lymer, 2015:155). Die keuse van welke tegnologie en toerusting om te implementeer word bepaal deur 'n kombinasie van die faktore soos genoem in 2.6.3. en in sommige gevalle word toerusting aangepas of selfs spesifiek ontwerp om te voldoen aan 'n projek se spesifieke behoeftes (Alexander *et al.*, 2015:183).

Binne hierdie keuses van dokumenteringsmetodologieë bly fotogrammetrie die gewildste opsie onder argeoloë, terwyl lasergrammetrie tot 'n mindere mate toegepas word (Alexander *et al.*, 2015:182; Berquist *et al.*, 2018:48; Lesvignes *et al.*, 2019:2-3; Plisson & Zotkina, 2015:103; Rivero *et al.*, 2019:1-3; Ruiz López, 2019). 'n Multiskaal dokumenteringsbenadering behels dat verskeie skale (reikafstande) geïmplementeer word tydens opname en dus is die toepassing van 'n kombinasie van twee of meer skale tydens só 'n projek ook algemeen (Alexander *et al.*, 2015; Berquist *et al.*, 2018; Plisson & Zotkina, 2015).

'n Voorbeeld van só 'n multiskaal dokumenteringsprojek word gevind in die veldwerk van Alexander *et al.* (2015) waartydens drie vlakke van dokumentering van ruimtelike kontekste geïntegreer is in die opname van 'n petrogliewe toneel in Valmonica, Italië. In hierdie projek genaamd 3D Pitoti, is gepoog om fotogrammetriese data van die terrein wat deur 'n satelliet gedokumenteer is (makroskaal) te integreer met gefotografeerde data geneem deur 'n kamera van 'n hommeltuig (mediumskaal), asook beelde van die petrogliewe geproduseer deur 'n selfgebooue laserskandeerder (mikroskaal). Die hipotese was om 'n volledige 3D uitbeelding van die terrein met die petrogliewe op, te skep.

Na afloop van die dokumentering van data, pas navorsers sagteware-instrumente toe om die data wat in verskillende ruimtelike kontekste ingesamel is, te omskep na byvoorbeeld óf 'n 2D

digitale natrekking óf 'n digitale 3D model van die terrein en/of entiteite (Alexander *et al.*, 2015; Berquist *et al.*, 2018:46; Carrero-Pazos *et al.*, 2018:35; Hollmann, 2018:159-160). Laasgenoemde resultaat word hoofsaaklik verkry deur die toepassing van die *Structure from Motion (SfM)*-tegniek waardeur sagteware die 3D puntkoördinate vanuit 'n stel multibeleid foto's onttrek om 'n digitale 3D model te skep (Berquist *et al.*, 2018:48; Carrero-Pazos *et al.*, 2018:37; Gautier, 2019:9; Willis *et al.*, 2016).

Algoritmes kan beskryf word as instruksies vervat in sagteware wat 'n voorafbepaalde uitset lewer vir 'n reeks insette vanaf die gebruiker (Davidson, 2021). Dus reguleer dit die manipulasie van ingevoerde data, asook die uitset daarvan (Sadjadi, 2005:29). Algoritmes, tesame met verskeie ander sagteware-instrumente is daarom ook 'n integrale deel van die verwesenliking van die derde doel van rotskuns dokumentering omrede sagteware ingespan word om die digitale waarneembaarheid van rotskunsmorfologie te verhoog (Domingo *et al.*, 2015:80; Quesada, 2019:1; Zotkina & Kovalev, 2019:1). Om voorts dan ook die bes moontlike resultate te verkry rakende die sigbaarheid van rotskuns, het navorsers 'n multi-analiseringsbenadering begin volg waardeur rotskunsdata op meer as een wyse digitaal gemanipuleer kan word om die maksimum sigbaarheid te verkry (Carrero-Pazos *et al.*, 2018; Domingo *et al.*, 2015:79; Le Quellec *et al.*, 2015:55-56). Hiervoor word sagteware soos *Meshlab*, *Agisoft Photoscan*, *Adobe Photoshop* en *Lightroom*, *DStretch*, *Regard3D*, ensovoorts deur navorsers ingespan om soms eers 'n digitale 3D model te skep waarna die digitale waarneembaarheid van rotskuns gemanipuleer kan word as 'n metode om beter sigbaarheid te verkry (Carrero-Pazos *et al.*, 2018; Dessì *et al.*, 2015; Hollmann, 2018; Kotoula *et al.*, 2018:26; Le Quellec *et al.*, 2015:55-56; Plisson & Zotkina, 2015:102; Ruiz López, 2019:6-8). Die kombinasie van hierdie metodologieë verleen aan die navorser dan addisionele analiseringsvermoë met betrekking tot die morfologie van die spesifieke rotskunswerk (Kotoula *et al.*, 2018:27).

'n Voorbeeld van só 'n multi-analiseringsbenadering kan gevind word in die navorsingsprojek van Solem en Nau (2020) waarin 'n digitale 3D model van 'n 700 VH bousteen geskep is deur die toepassing van die *SfM*-tegniek met verwerking van die data in die sagtewarepakkette, *MetaShape* en *RealityCapture*. Daarna is foto's geneem van die petrogliewe op die boustene met beligting vanuit verskillende hoeke (*RTI*-tegniek) en in *RTIBuilder* verwerk na 'n stel digitale foto's waarvan die oppervlakmorfologie bestudeer kan word met verskillende beligtingshoeke daarop geprojekteer. Die eindresultaat was dus 'n digitale model wat op 'n dubbele wyse analiseringsvermoë aan die gebruiker gebied het in terme van 'n meetbare entiteit met verhoogde waarneembaarheid van die petrogliewe wat deur die beligtingsopsies van die sagteware (*RTIViewer*) verwesenlik word. In *Digital imaging techniques for recording and analysing prehistoric rock art panels in Galicia (NW Iberia)* beskryf Carrero-Pazos *et al.*

(2018:35) ook die voordele van hierdie kombinasie van tegnieke.

‘n Laaste komponent in die navorsingsmetodiek van rotskuns is die voorstelling van die verkrygte data nadat dit verwerk en/of gemanipuleer is (Domingo *et al.*, 2015:79). Die wyse waarop die data beskikbaar gestel word, word as reël bepaal deur die doel waarvoor dit in die eerste instansie gedokumenteer is (Bustillo *et al.*, 2015:248), en kan verskeie vorms aanneem. So byvoorbeeld, is virtuele werklikheid ‘n gewilde keuse vir voorstelling en word veral deur museums geïmplementeer met die doel om die moderne aanlyn-spel generasie te fassineer. Aanvullende werklikheid word weer gevind by erfenisterreine waar dit die konkrete terrein op ‘n digitale wyse visueel aanvul. Hiermee kan toeriste net met hul selfone of tablette ‘n toepassing aflaai wat dan deur middel van die toestel se kamera vir hul die terrein 3D uitbeeld soos wat die selfoon of tablet daarvoor beweeg word. Voorts is daar ‘n menigte aanlyn-platforms wat rotskunsdata beskikbaar stel in die vorm van 360° sferiese uitbeeldings tot digitale 2D hoë resolusie foto’s, asook natuurlik digitale 3D modelle (sien 2.6.3.4. vir voorbeelde van die onderskeie metodes se toepassing in praktyk).

3.2.1.1 Voordele

‘n Gemene voordelige faktor in hierdie digitale multimetodieke-benaderings, is dat dit daarop gerig is om steeds nie-indringend van aard te wees (Carrero-Pazos *et al.*, 2018:35; Domingo *et al.*, 2015:79; Quesada & Harman, 2019:1). Voorts het afstandwaarnemingstechnologie in die multiskalaal dokumenteringsbenaderings ook tot voordeel dat dit toepasbaar is op makro-, medium- en mikroskale (Alexander *et al.*, 2015:182). Hierdie benaderings verleen hul boonop daartoe dat rotskuns stelselmatig en omvattend tot in die fynste besonderhede gekarteer kan word binne hul ruimtelike kontekste (Berquist *et al.*, 2018:55). ‘n Verdere voordeel is die opsie om meervoudige analyses van bepaalde punte binne ‘n bepaalde dokumenteringsterrein te kan uitvoer (Alexander *et al.*, 2015:182).

Wat betref die digitale waarneembaarheidsmanipulering van rotskuns, is verskeie navorsers van mening dat dit wel tot ‘n geringe mate meer objektief van aard is as die bloot visuele interpretasie vanaf ‘n vryhand- of natrektekening, ‘n foto of selfs die direkte visuele waarneming van die rotskunswerk self. Die rede hiervoor is dat die verkrygte resultaat geskied deur die toepassing van ‘n meer geoutomatiseerde proses (Brady & Gunn, 2012:629; Domingo *et al.*, 2015:80,82,86; Le Quellec *et al.*, 2015:65). Daarom het die multi-analiseringsbenadering nie net die voordeel dat dit die sigbaarheid van onduidelike of gesuperponeerde rotskunswerke eksponensieel verhoog nie, maar ook dat dit die vlak van objektiwiteit ten opsigte van die visuele eindresultaat tot ‘n mate bevorder. Hierdie gevolgtrekkings word gemaak na aanleiding daarvan dat verskeie digitale manipuleringsmetodes aangewend word om ‘n bepaalde

kunswerk se waarneembaarheid te verhoog (Domingo *et al.*, 2015:86).

Al hierdie onderskeie voordele voeg ten einde waarde toe tot die eindproduk wat met voorstelling voorgelê word. Hierdie hedendaagse digitale wyse van voorstelling het 'n groot nut in die sin dat dit rotskuns tentoonstel op 'n bepaalde tydstip in verganklike tyd. Ook is digitale voorstelling van data 'n aantreklike wyse waarop die verbruiker se fokus gevestig kan word op die elemente van 'n rotskunsterrein wat die verwerker en publiseerder ag om van belang te wees. Die gehore wat bereik word met hierdie wyse van voorstelling, dek boonop 'n groter spektrum van die bevolking gemeet in terme van wie hierdie terreine ooit self fisies sou besoek (Vincent & Levy, 2017:xvi). Dus geskied 'n groter bewusmaking van die betrokke erfenis op 'n bekostigbare wyse.

3.2.1.2 Nadele

Die grootste uitdagings wat dan ook as nadele genoem kan word, is dat multimetodieke-benaderings tot 'n groot mate die samewerking en insette van spesialiste van verskillende vakgebiede vereis (Alexander *et al.*, 2015:182; Robinson *et al.*, 2015:167). Daar is wel dokumenteringsmetodologieë soos fotogrammetrie wat eenvoudig is om toe te pas wanneer genoegsame natuurlike beligte rotskuns gefotografeer word met 'n draagbare kamera (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:39). So ook is van die sagteware wat ingespan word om die digitale waarneembaarheid van die rotskuns te manipuleer, soos *DStretch*, se toepassing op digitale foto's ongekompliseerd (Le Quellec, 2015:55). Tog, sodra argeoloë meer vakgebied-gespesialiseerde metodes aanwend met betrekking tot die dokumentering, verwerking, waarneembaarheidsmanipulering of voorstelling van data soos meermale die geval is in multimetodieke-benaderings, moet deskundiges in die toepaslike vakgebiede genader word (Alexander *et al.*, 2015:182; Robinson *et al.*, 2015:167).

So ook kan genoem word dat die tegniese uitdagings net op die gebied van dokumentering alleen, ondermeer kan insluit: Voldoende beligting (aldus sigbaarheid van die terrein of rotskunswerk), kompensering vir komplekse oppervlaktekstrukture, kragtoevoer (Pires & Gonçalves, 2014:133-134; Rivero *et al.*, 2019:3-4), koste (Williams & Twohig, 2015:125), asook die verkryging van duidelike beelde teen verskillende ruimtelike resolusies (Alexander *et al.*, 2015:193; Rivero *et al.*, 2019:3). Boonop vermeerder die uitdagings wanneer 'n multiskaal dokumenteringsbenadering gevolg word deurdat dit lang ure in die veld vereis en ook arbeidsintensief is (Rivero *et al.*, 2019:6). Dan, na afloop van dokumentering benodig argeoloë kragtige rekenars en genoeg stoorplek vir die verwerking van data wat weer koste-implikasies tot gevolg kan hê (Fanini *et al.*, 2019:4; Lymer, 2015:163). Die verwerking van hierdie data neem as reël ook meer tyd in beslag as die dokumentering daarvan (Fanini *et al.*, 2019:4;

Gautier, 2019:9; Hollmann, 2018:158) en met die toepassing van veral die multi-analiseringsbenaderings, kan die kennis van 'n programmeerder benodig word om die integrasie en algehele vloei van die onderskeie sagteware te verseker (Fanini *et al.*, 2019:4).

As gemene koëffisiënt van al bogenoemde veranderlike uitdagings staan diverse, onverwante databasisse met rotskuns wat beperkte analiseringsvermoë aan die verbruiker verleen (meestal slegs in die vorm van 'n vergrotingsopsie van die kunswerk). Die huidige vrylik beskikbare aanlyn-rotskuns korpus bestaan hoofsaaklik uit:

- Individuele rotskunspanele sonder konteksuitbeelding.
- 'n Paar rotskunswerke in konteks van die onmiddellike ruimte van 'n bepaalde terrein.
- Rotse met rotskuns opgestel in 'n virtuele nie-werklikheid.

(ACT, 2020a; Berquist *et al.*, 2018:46; Britse Museum, 2020; RARI, 2020a)

3.3 Multinavorsingsmodel

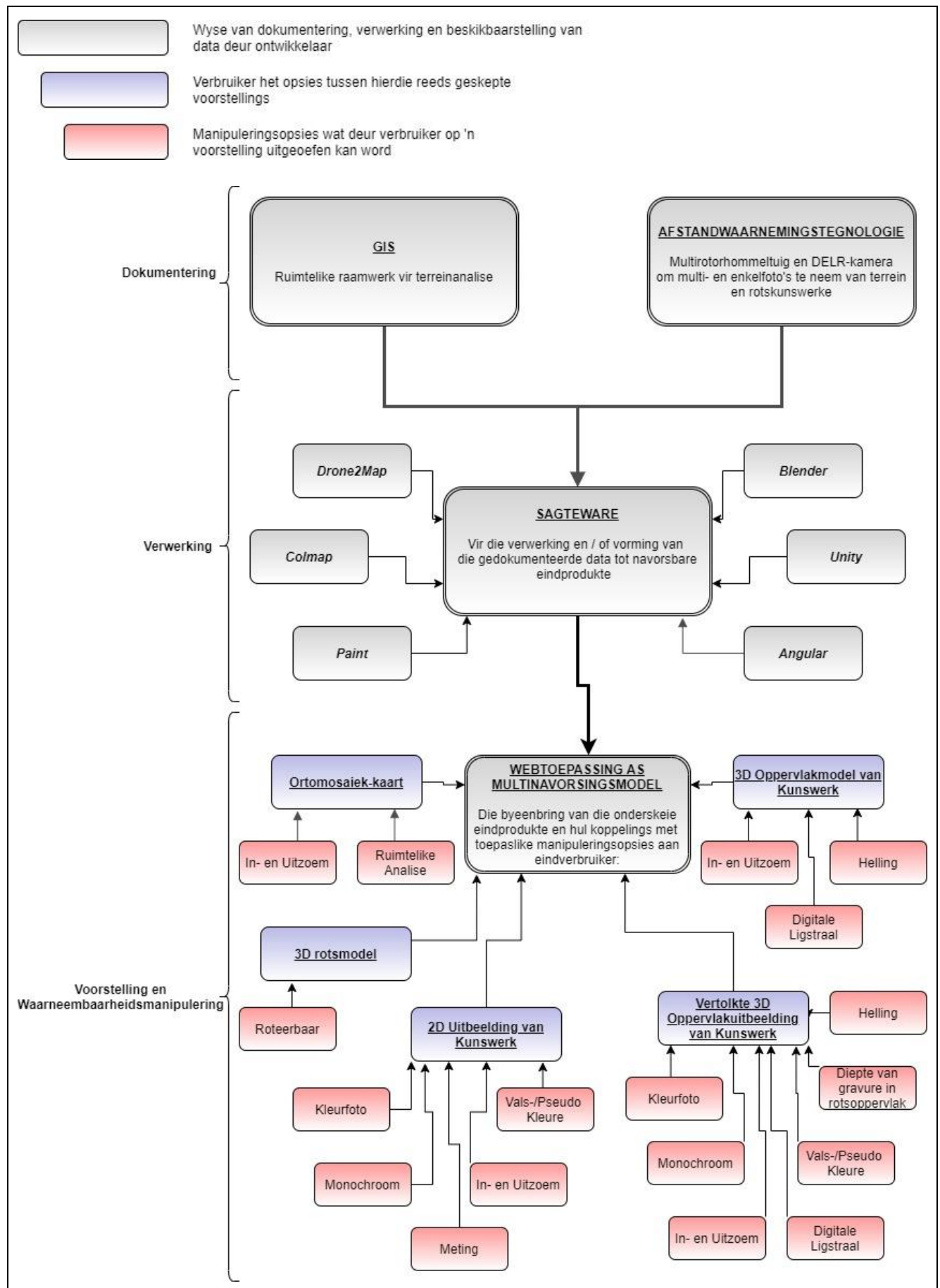
Ter oplossing vir die bestaande leemte in terme van die voorstelling en navorsingsvermoë wat digitale rotskunsuitbeeldings en databasisse bied, word in hierdie studie 'n metodologie tot 'n nuwe meer omvattende, tog eenvoudige model voorgelê genaamd 'n multinavorsingsmodel (Figuur 3.1). Ter illustrasie van die wyse van voorstelling en funksionaliteite wat vervat sal wees in só 'n model, gaan Bosworth-rotskunsterrein as gevallestudie gebruik word. Hierdie beoogde model gaan saamgestel word deur 'n multiskalaal dokumenteringsbenadering te kombineer met 'n multi-analiseringsbenadering. Die doel hiervan is om die samevoeging van bestaande, sowel as nuwe diverse analiseringsfunksies op rotskunswerke nie net te optimaliseer nie, maar ook ter illustrasie van die moontlikhede wat só 'n model kan meebring.

In konteks van die betrokke studie behels hierdie proses die volgende afdelings.

3.3.1 Dokumentering

GIS: Ruimtelike opnames word geneem om die ruimtelike plasing van die rotskuns binne die rotskunsterrein te bepaal vir verwerking, asook uitbeelding. Ook bied GIS sagteware die raamwerk vir die skep en analisering van die ortomosaïek-kaart van die terrein.

Afstandwaarnemingstechnologie: In dié geval fotogrammetrie met 'n onbemande vlugstelsel (OVS). Hiervoor word 'n multirotorhommeltuig ingespan om by wyse van oorvleuelende (multi)foto's die terrein te dokumenteer vir ortomosaïek-kartering. Daarna word 'n draagbare digitale enkellens refleks (DELR)-kamera gebruik om enkel-, sowel as multifoto's van vier



Figuur 3.1: Die skep van 'n multinavorsingsmodel.

vooraafgeïdentifiseerde rotse met hul rotskunswerke op te fotografeer. Die enkelfoto's vir kleurfoto-uitbeelding, asook vir die verwerking na monochroom en vertolkte 3D oppervlakuutbeelding. Die multifoto's weer vir die skep van 3D rots- en oppervlakmodelle. Sien 5.4 vir die kriteria waarvolgens die vier bepaalde rotse hiervoor geselekteer is.

3.3.2 Verwerking van data

Sagteware: Die sagteware vir verwerking van die gedokumenteerde data behels die volgende eindprodukte:

- 'n Ortomosaïek-kaart van Bosworth-rotskunsterrein by wyse van die multifoto's geneem deur die multirotorhommeltuig.
- 3D Modelle van die vooraafgeïdentifiseerde individuele rotse met kunswerke op,³⁰ deur die verwerking van die multifoto's geneem deur die draagbare DELR-kamera.
- 2D Kleurfoto, sowel as monochroomuitbeelding van die onderskeie rotskunswerke vanaf die enkelfoto's. Ook geneem met die draagbare DELR-kamera.
- Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van hierdie rotskunswerke in kleur en monochroom, geskep met die enkelfoto-data van die draagbare DELR-kamera.
- 3D Oppervlakmodel van die kunswerke in kleur, gevorm met die multib beeld-data van die draagbare DELR-kamera.

Ook word sagteware ingespan om die totale korpus digitale fasette van die studie te bou tot 'n verbruikersbeheerde verbindingskanaal. Só 'n kanaal behels dat die verbruiker digitale sagteware-funksies tot sy beskikking gaan hê om by wyse van sekere insette bepaalde uitsette te verkry ter optimalisering van navorsing van die terrein en sy rotskuns.

3.3.3 Voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering

Webtoepassing as multinavorsingsmodel: Hierdie verbindingskanaal word gerealiseer in 'n webtoepassing wat geskep word na afloop van dataverwerking. In dié voorstellingsplatform word die onderskeie fasette van die studie wat byeengebring is, tesame met hul addisionele manipulering-opsies, beskikbaar gestel vir die verbruiker. Die waarneembaarheidsmanipulering-

³⁰ Sien 5.4 vir die motivering vir die kies van die spesifieke rotse met kunswerke op.

opsies van die petrogliewe verleen verhoogde sigbaarheid, asook analiseringsvermoë in terme van die interaktiewe toepassing van kleurspasies en/of soliede kleur, 'n digitale ligstraal, vergroting en ook manipulasie van die hellingshoek van die rotskunwerke in 2D en 3D. Hierdie opsies funksioneer binne die konteks van die 2D uitbeelding van die betrokke rotskunsterrein wat op sy beurt ruimtelike inligting verskaf, óók op 'n interaktiewe basis. Ter wille van eenvormige identifisering van die vier rotse met hul kunswerke wat geselekteer is ter illustrasie van hierdie model, is 'n kode aan elk toegeken en sal voorts so na verwys word in hierdie studie:

- Renosters - BF01-01.
- Sjamaan - BF02-01.
- Jagtoneel - BF03-01.
- Seekoei - BF04-01.

3.4 Geografiese inligtingstelsels (GISs) en argeologie

GISs het 'n kerninstrument in argeologie geword deurdat dit die gebruiker in staat stel om ingewikkelde datastelle byna onmiddellik met mekaar te kan vergelyk, asook die feit dat dit die weg baan om totale nuwe vorme van analyses te realiseer. Die toepassing van GIS in argeologie het eksponensieel gegroei sedert die vroeë 1980's tot waar dit vandag steeds die vinnig groeiendste dissiplinêre spesialiteitsgebied binne argeologie is (González-Tennant, 2009:24). GISs en afstandwaarnemingstechnologieë word deesdae algemeen toegepas deur argeoloë nie net in die veld nie, maar ook in die laboratorium (Fanini *et al.*, 2019:1).

3.4.1 Wat is geografiese inligtingstelsels (GISs)

GISs word sedert die 1960s ingespan in die uitbeelding van tydelike ruimtelike verskynsels in die tasbare wêreld in terme van rekenaargebaseerde funksionaliteite (Coppock & Rhind, 1991:27). Die behoefte om die tasbare wêreld te modelleer het die studie van semantiek en ontologie tot gevolg gehad wat beteken dat meer van die begripsinhoud, asook struktuur en interaksie van data gedokumenteer kan word (Merlo, 2016:33).³¹ Sedertdien is verskeie definisies van GIS voorgehou³² waarvan die mees populêre een in die argeologiese literatuur, volgens Merlo (2016:7), geformuleer is deur Burrough (1986:11): “ . . . *a powerful set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming and displaying spatial data from the real world for a particular set of purposes*”.

³¹ Sien Couclelis (2019:6-18) vir 'n omskrywing van semantiek en ontologie in GIS.

³² Opsommende tabelle met definisies kan gevind word in Burrough *et al.* (1998:3), Kainz *et al.* (2001:146), asook Maguire (1991:10-11).

Die basiese beginsel is daarom dat die stelsel met ruimtelike data omgaan, menend hul posisie, eienskappe en topologie, wat dan in GIS geïmplementeer word. GIS kan dus beskryf word as 'n rekenaargebaseerde omgewing waarvan die basiese komponente bestaan uit hardeware en sagteware, asook al die aktiwiteite met betrekking tot die insameling van inligting, naamlik die dokumentering, modellering, manipulerende, herwinning, analisering en voorstelling (Merlo, 2016:7). Hierdie aktiwiteite word geïnkorporeer in die vyf funksionaliteite beskikbaar in die meeste GIS-pakkette (Agugiaro, 2014:106-110; Chang, 2014; Heywood & Cornelius, 2006; Longley *et al.*, 2011):

(i) *Dokumentering en bestuur van data*

Die invoer van inligting in die stelsel, asook die digitale berging daarvan is 'n basiese aktiwiteit binne enige GIS. Verskeie metodes en stappe hiervoor bestaan soos ondermeer die direkte invoer van data vanaf opmetingsinstrumente soos die *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* se *Collector*-toepassing is 'n voorbeeld hiervan. Die ingesamelde geodata kan direk geïntegreer word met *ArcGIS* of die invoer van bestaande geodata vanaf aanlyn-bergingsruimtes by wyse van 'n GIS. Ook moet ingedagte gehou word dat met die mate wat gestoorde data toeneem, word dit noodsaaklik om ook metadata te dokumenteer en op 'n diensooreenkomstige wyse te bestuur tesame met geodata. Metadata verskaf ondermeer inligting rakende die oorsprong, kwaliteit, akkuraatheid, die eienaar en struktuur van die data waarna dit verwys.

(ii) *Verwerking van data*

Omrede geodata gedokumenteer en gestoor kan word op diverse wyses moet GIS nie net oor die vermoë beskik om geodata om te skakel tussen verskillende formate nie, maar ook tussen verskillende datastrukture, menende van vektordata na rasterdata (rasterisasie) en *vice versa* (vektorisasie). Nog 'n algemene GIS verwerkingsfunksie word gevind in geoverwysings. Hierdie aksie behels die omskrywing van die ligging van 'n datastel in terme van kaartprojeksies of koördinaatstelsels, menende die verhouding (verwysing) tot die fisiese ruimte (geo). Wanneer verskillende koördinaatstelsels vir geodata voorsien word, is dit van primêre belang om die onderskeie koördinaatstelsels om te skakel na 'n gemeenskaplike een om sodoende die vergelyking van data en verskillende analyses te fasiliteer. As die inset- en uitset-koördinaatstelsels bekend is, kan 'n GIS óf die koördinaat-omskakeling uitvoer tydens prosessering van die onderskeie datastelle óf 'n identiese weergawe skep van die data in die nuwe koördinaatstelsel.

(iii) *Ruimtelike analise*

Hierdie funksionaliteit verwys na 'n wye reeks van aksies binne 'n GIS en kan gedefinieer word as 'n stel verwerkings wat uitgevoer word met die doel om bruikbare inligting vanaf rou data te verkry om besluitneming te fasiliteer. Hiermee word gepoog om patrone en/of verhoudings tussen entiteite te identifiseer omrede van hierdie verhoudings heel waarskynlik nie dadelik waarneembaar is nie. Vir 'n omvattende beskrywing van tegnieke in ruimtelike analise kan ondermeer gekyk word na die *Geospatial Analysis*-webwerf (<https://www.spatialanalysisonline.com/>).

(iv) *Visualisering van data en kaart veralgemening*

Kartografie is 'n veld waarin GIS nog altyd van groot waarde was, soos byvoorbeeld in die proses van ontwerp en vorming van kaarte om die ruimtelike data te visualiseer, asook in die bestudering en verstaan van die resultate van onderskeie analyses. Geodata word oor die algemeen gestapel in tematiese lae waarna elke laag verwerk word deur die toepassing van onderskeie style om die voorkoms van die data te definieer in terme van kleure, simbole, ens. Raster- en vektordata kan óf gesamentlik óf selektief verteenwoordig word in hierdie lae. Ook aangesien die uitset-kaarte tipies op 'n skerm vertoon word (en nie meer net op papier nie) kan inligting voortdurend bygevoeg word soos beelde, grafieke of enige ander multimedia entiteite wat verbind is aan die tematiese data wat op die betrokke tydstip vertoon word.

Elke GIS-pakket laat een of ander vorm van databestudering toe. Navrae betreffende eienskapsdata kan uitgevoer word en die resultate dan gevisualiseer word as geometriese funksies of *vice versa*, 'n funksie (of groep funksies) kan gekies en die eienskappe onttrek en op skerm voorgestel word. Die aan-skerm visualisering van GIS-data kan in die vorm van standaard 2D kaarte wees of 2.5D in die sin van tematiese lae (raster of vektor) wat oor 'n hoogtekaart gedrapeer word, waarna 'n 2.5D-oppervlakte geskep word deur middel van die selwaardes. 'n 3D kaart kan ook met vektordata gevisualiseer word.

Nóg 'n (fundamentele) aspek van kartografie is die voorstelling van data op 'n kaart aanpasbaar tot die skaal van die geselekteerde vertoonmedium. Nie alle geografiese of kartografiese besonderhede hoef altyd noodwendig behou te word nie. Van hierdie besonderhede kan die leesbaarheid van die kaart belemmer of kan in sommige gevalle net irrelevant wees vir die bepaalde doel waarvoor die kaart geskep is. Kaart veralgemening is daarom in die lewe geroep om die kompleksiteit van die werklike omgewing te verminder deur aanvullende of 'onnodige' besonderhede weg te laat by wyse van (geo)data verkiesing. Ander strategieë om kaarte eenvoudiger te maak sluit in vereenvoudiging, samestelling, gladmaking en verbeterde

sigbaarheid.

Internetgebaseerde publiserings van geodata: Voorbeelde van internetgebaseerde kartering is *Google Maps*, *Bing Maps* van *Microsoft* of die gemeenskapsgedrewe *OpenStreetMap* wat groot hoeveelhede ruimtelike data aan die publiek beskikbaar stel. Oor die algemeen fasiliteer internet karteringsdienste die verspreiding van geskepte kaarte deur middel van webblaaiers. Die proses geskied deur 'n kliëntbediener struktuur te volg waarvolgens die verbruiker 'n navraag rig rakende spesifieke data (kan ruimtelik of nie-ruimtelik wees) vanaf sy kliënttoepassing gevolg deur resultate wat voorsien word deur 'n afstandbediener na die webblaaier via die internet. Hierdie proses laat die dinamiese en interaktiewe bestudering van data toe, sowel as die funksie om verskillende data te kombineer om sodoende nuwe kaarte te skep na gelang van bepaalde vereistes gestel deur die verbruiker (Agugiaro, 2014:106-110).

3.4.2 Basiese konsepte van geografiese inligtingstelsels (GISs)

3.4.2.1 Datastrukture

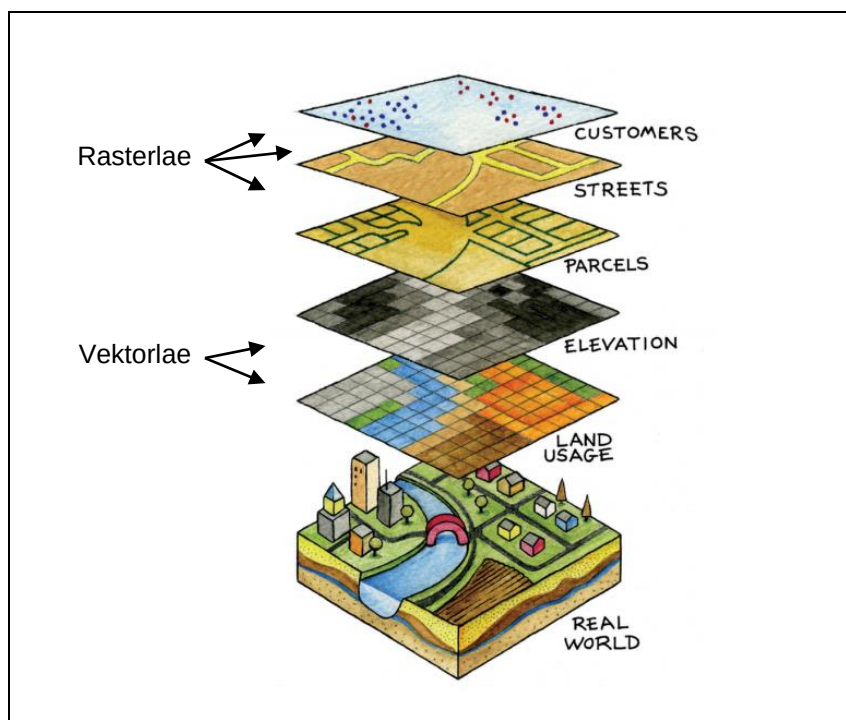
Die geselekteerde konseptuele model bepaal die wyse waarop inligting ingesamel word om in die stelsels ingevoer te word, asook die metode van onttrekking en analisering binne hierdie stelsels. Ruimtelike data, gekonseptualiseer as velde en entiteite, word tradisioneel verteenwoordig deur twee verskillende klasse met betrekking tot geografiese data in rekenars, naamlik raster en vektor (Figuur 3.2). Raster strukture steun op 'n interne databasis vir ruimtelike voorstelling, terwyl vektor strukture gevorm word deur 'n meer komplekse en gestruktureerde databasis waarin ruimtelike- en eienskapsdata aan mekaar verwant is maar tog afsonderlik gestoor word (Merlo, 2016:34-35).

Raster datastrukture

Tradisioneel is rasters die rekenaar se weergawe van aaneenlopende velde in geografiese datavoorstelling (Merlo, 2016:34). 'n Raster datastruktuur kan daarom omskryf word as 'n plat oppervlakte wat opgemaak is uit rye en kolomme van ewe groot, inmekaargeskakelde pieksels.³³ Hierdie pieksels word as boustene gebruik om punte, lyne, areas, netwerke en oppervlaktes te skep. Alhoewel pieksels in die vorm van driehoeke, heksagone of selfs oktagone kan wees, is vierkantige pieksels die eenvoudigste geometriese vorm om mee te werk en daarom is die grootste hoeveelheid beskikbare rasterdata gebou op vierkantige pieksels. 'n

³³ 'n Akroniem vir prentelement. Dus die kleinste prentelement wat deur sagteware gemanipuleer kan word (Merlo, 2016:34).

Raster datastruktuur staan dus bekend as 'n roostergebaseerde stelsel vanweë die reeks eenvormige vierkantige pieksels waarmee dit opgemaak is (Shin *et al.*, 2018:114). Só 'n pieksel word 'n sel genoem (Zeiler, 1999:25) en beskik oor 'n enkel waarde (Shin *et al.*, 2018:114). In 'n raster word na 'n sel verwys in terme van sy posisie in die bepaalde rooster (ry- en kolomnommer) (Worboy & Duckham, 2004:17) en die datasoort vir die selwaarde kan óf 'n heelgetal óf 'n sweefpunt wees. Alternatiewelik kan 'n rastergrafiek 'n databasisbestuurstelsel (DBBS) as verwysing hê waarin oop eienskapstabelle gebruik word om veelvuldige datawaardes aan elke pieksel toe te ken. 'n DBBS is 'n sagtewarepakket wat die skep, stoor, onderhoud, manipulering en herwinning van groot datastelle, verspreid oor een of meer lêers, magtig (Shin *et al.*, 2018:12,95).



Figuur 3.2: GIS in raster- en vektorlae (Shin *et al.*, 2018:18).

Rasterselle beskik boonop oor die kapasiteit om weerkaatsende lig vir 'n gedeelte van die spektrum te stoor, asook kleurwaardes vir foto's, waardes vir hoogte en tematiese eienskappe soos oppervlakwaardes of tipes plantegroei (Zeiler, 1999:38). 'n Raster datastruktuur se 3D ekwivalent word voorgestel deur 'n 3D rooster van kubieke selle, genaamd *voxels*. 'n Wye reeks berekenbare ruimtelike entiteite kan deur rasters verteenwoordig word (Worboys & Duckham, 2004:17).

Vektor datastrukture

Vektor datastrukture word weer tradisioneel toegepas om entiteitsgebaseerde datamodelle te verteenwoordig (Merlo, 2016:34). Worboys en Duckham (2004:17) omskryf 'n vektor as 'n

reguitlynsegment wat gedefinieer word deur sy eindpunte, terwyl die ligging van hierdie eindpunte gegee word in terme van 'n koördinering van die plat oppervlakte of hoër dimensionele ruimte.

Euklidiese geometrie³⁴ reguleer normaalweg die vorm van hierdie ruimte, asook die primitiewe (genoem funksies) by name punte, lyne en poligone wat in hierdie ruimte gevind word (Merlo, 2016:34):

- Punte word gedefinieer deur 'n gegewe koördinaat (x en y in dubbelvoudige ruimtes en x , y en z in volumetriese ruimtes) (Merlo, 2016:34). Punte word tipies toegepas in die modellering van enkelvoudige, diskrete entiteite soos geboue, kragpale, ensovoorts. Die enigste eienskap van so 'n punt is sy ligging, maar kan ook ruimtelik verbind word om meer ingewikkelde entiteite te vorm. Addisionele vorme van punte is die nodus en die hoekpunt. Terwyl 'n punt 'n alleenstaande entiteit is, kan 'n nodus beskryf word as 'n topologiese aansluiting wat 'n eenvoudige x , y koördinaatpaar in 'n kruising tussen lyne en/of poligone verteenwoordig. 'n Hoekpunt, aan die anderkant, is weer 'n buiging in 'n lyn of poligoon wat nie by 'n kruising van lyne of poligone is nie (Shin *et al.*, 2018:120).
- 'n Lyn word gekenmerk deur 'n begin- en eindpunt waarvan die koördinate bekend is (die vektor), terwyl die polielyn (of boog in tegniese terminologie) 'n reeks reguit lynsegmente is wat verbind word deur opeenvolgende punte (Merlo, 2016:34). Lyne word toegepas in die uitbeelding van liniêre entiteite soos paaie, waterstrome, ensovoorts (Shin *et al.*, 2018:120).
- Poligone in dubbelvoudige ruimtes (aldus areas) word gekenmerk deur die area se grense wat as 'n versameling vektore uitgebeeld word en waarvan die begin- en eindpunte dieselfde is (Merlo, 2016:34). Dus is die eerste koördinaatpaar (punt) van die eerste lynsegment gelykstaande aan die laaste koördinaatpaar (punt) van die laaste lynsegment. Poligone word gebruik in die uitbeelding van byvoorbeeld stadsgrense, geologiese formasies, ensovoorts (Shin *et al.*, 2018:120).
- Poligone in volumetriese ruimtes word ook gedefinieer deur die grense van die ruimte, maar in hierdie geval is die grens 'n diskrete oppervlak wat geskep word deur die samevoeging van plat poligeniese aansigte (Merlo, 2016:34).

³⁴ Ook bekend as paraboliese geometrie. 'n Reeks proposisies gebaseer op die Griekse wiskundige, Euklid se vyf stellings. Daar bestaan twee soorte Euklidiese geometrieë, naamlik plat oppervlak geometrie (2D Euklidiese geometrie) en soliede geometrie (3D Euklidiese geometrie) (Thangarajah, 2020).

3.4.2.2 Geodatabasisse

'n Geodatabasis (kort vir geografiese databasis) kan omskryf word as 'n versameling van metings van verskynsels op of naby die aardoppervlakte (Longley *et al.*, 2010:161). Só 'n databasis word geskep met die doel om geografiese inligting en ruimtelike data te stoor, asook navrae te rig en te manipuleer (Merlo, 2016:13).

Uitbeelding van die geografiese data kan op vier wyses geskied:

- Vektordata om funksies te verteenwoordig.
- Rasterdata vir die voorstelling van beelde, geruite tematiese data en oppervlaktes.
- Driehoekige onreëlmatige netwerke (DOne) vir oppervlaktes.
- Adresse en opspoorders om geografiese posisies vas te stel.

(Zeiler, 1999:8)

'n Geodatabasis vir argeologie

Tydens die skep van 'n geodatabasis moet twee belangrike aspekte bepaal word, naamlik hoe die geodatabasis met sy funksieklasse en funksiedatastelle georganiseer gaan word en watter tipe data in die eienskapstabelle van elke funksieklas gevoeg gaan word. Ter illustrasie kan ses datastelle genoem word (soos opgestel sal word in 'n GIS-pakket, byvoorbeeld *ArcGIS*) wat tipies sal deel uitmaak van 'n geodatabasis vir 'n argeologiese terrein. Elk van hierdie datastelle sal dan ook 'n aantal funksieklasse bevat:

- *Grense*. Bevat poligone wat die opname- en terreingrense, soos bepaal tydens veldwerk, verteenwoordig.
- *Strukture*. Bevat punt-, meervoudige punt-, lyn- en poligoon-lêers wat gebruik word om alle entiteite wat verbind word met geboue wat nog staan of ruïnes, te verteenwoordig.
- *Artefakte*. Bevat punt-, lyn- en poligoon-lêers wat individuele artefakte of 'n versameling verspreide artefakte, verteenwoordig.
- *Omgewing*. Inligting van die natuurlike omgewing of landskap, ingesluit kontoerdata.
- *Vervoer*. Sluit in punt-, lyn- en poligoon-lêers wat alle vorme (histories en modern) van vervoerfasiliteite soos paaie en spoorlyne, verteenwoordig.

(Tennant, 2007:14)

Die keuse van eienskapsdata vir enige gegewe geodatabasis word bepaal van geval tot geval en na gelang van die betrokke navorsingsraamwerk. Tog is daar algemene tipes van inligting wat teenwoordig moet wees in enige funksieklas. Hierdie inligting sluit in die naam van die terrein, identifiseringsnommer van die terrein, datum van okkupasie, metode van opname, historiese konteks, basiese afmetings, fotografiese inligting, inligting om verbinding met 'n eksterne databasis moontlik te maak en ander soortgelyke vorms van data. Die skep van 'n geodatabasis is as reël projek-spesifiek en kan 'n deurlopende proses wees, oop vir toekomstige veranderings (Tennant, 2007:14).

Voordele van 'n geodatabasis

Zeiler (1999:7) noem van die voordele wat 'n geodatabasis inhou as:

- 'n Eenvormige bewaarplek vir geografiese data.
- Data inskrywing en redigering is meer akkuraat.
- Verbruikers werk met data-entiteite wat meer van toepassing is op die spesifieke projek.
- Funksies se konteks is beter gedefinieerd.
- Kaarte kan beter saamgestel word.
- Funksies wat op 'n kaart uitgebeeld word is dinamies en reageer wanneer aangrensende funksies verander.
- Die vorms van funksies is beter gedefinieerd.
- Funksiestelle is aaneenlopend en kan deurlopend toegevoeg word tot die geodatabasis.
- Verskeie verbruikers kan gelykertyd geografiese data redigeer.

3.4.2.3 Kaarte

Shin *et al.* (2018:37) beskryf kaarte as 'n voorstelling van die wêreld wat ingespan word om verskeie aspekte daarvan te beskryf. Daar kan tussen drie hooftipes kaarte onderskei word, naamlik:

Verwysingskaarte

Die primêre doel van verwysingskaarte is om inligting rakende ligging aan die verbruiker te verskaf. Geografiese kenmerke en kaartelemente op só 'n kaart word as reël op soortgelyke wyse hanteer en voorgestel. Dus kry geen enkele aspek voorkeur bo 'n ander nie. Ook neig dié tipe kaarte oor die algemeen daartoe om die geografiese werklikheid heel akkuraat weer te gee. Voorbeelde van verwysingskaarte sluit in topografiese kaarte soos wat geskep word deur die *United States Geological Survey*, asook beeldkaarte verkry vanaf satelliete of vliegtuie,

beskikbaar deur aanlyn-karteringsdienste (Shin *et al.*, 2018:37).

Tematiese kaarte

Tematiese kaarte handel oor 'n spesifieke onderwerp of tema en is gefokus op die verspreiding van entiteite in 'n bepaalde ruimte. Hierdie voorwerpe kan ook abstrakte konsepte wees soos die lewensverwagting in 'n gebied. Verwysings- en tematiese kaarte is nie wedersyds eksklusief nie, menende dat tematiese kaarte dikwels ook inligting rakende geografiese verwysings bevat en verwysingskaarte weer tematiese inligting. Wanneer hierdie twee soorte kaarte saam gebruik word, komplementeer die inligting mekaar (Shin *et al.*, 2018:39-42).

Dinamiese kaarte

Hierdie soort kaarte bied veranderbare of interaktiewe voorstellings van die aarde. Dinamiese kartering verwys dan ook eerder na die wyse van beskikbaarstelling en gebruik van die kaart, as na die inhoud van die kaart self. Die gebruiker word aangemoedig om interaktief met hierdie kaarte om te gaan en kan dan elemente soos die skaal van die kaart verander of byvoorbeeld kies watter funksies en lae om van die kaart te verwyder of by te voeg. Beide verwysings- en tematiese kaarte kan dinamies van aard wees (Shin *et al.*, 2018:42).

3.4.2.4 Skaal

Die term 'skaal' verwys na die dimensies van waarnemings. Ruimtelike skaal beskryf beide die geografiese omvang, asook resolusie van 'n studie. Daar kan ook na kartografiese skaal verwys word wat die verhouding tussen die lengte op 'n kaart en die werklike afstand is. Die kernkonsep van skaal behels dat verskillende vlakke van gegewens op verskillende skale voorgestel word. Sou die skaal byvoorbeeld kleiner word, sal die effek daarvan wees dat die vlak van besonderhede verlaag. Daar word wel in die GIS-omgewing voorsiening gemaak om dit te hanteer by wyse van verskillende instrumente en toepassings wat ontwikkel is. Ter illustrasie, kan 'n gebruiker in GIS in- en uitfokus om die skaal waarteen die kaart vertoon word, te verander. Let wel, wanneer die gebruiker uitfokus na 'n kleiner skaal, kan van die fynere gegewens gebondel wees en sodoende onduidelik om uit te maak. Om hierdie kwessie te hanteer, kan die kartograaf vooraf besluit watter vlak van gegewens teen watter skaal vertoon moet word. Hierdie werkswyse staan bekend as vorming. Hiermee kan die GIS-gebruiker 'n skaalreeks bepaal waarbinne sekere lae vertoon word wanneer die kaart binne die bepaalde skaalreeks val (Sankey, 2017:1021-1022).

3.4.3 Koördinaatstelsels

3.4.3.1 Geografiese koördinaatstelsels (GKSs)

'n Geografiese koördinaatstelsel (GKS) gebruik 'n driedimensionele sferiese oppervlak om ligging op die aarde te definieer. Daar word soms verkeerdelik na 'n GKS verwys as 'n *datum*, terwyl 'n *datum* slegs 'n deel uitmaak van 'n GKS. Só 'n GKS sluit in 'n hoekeenheid, 'n primêre meridiaan en 'n *datum* (gebaseer op 'n sfeer). Daar word na 'n punt verwys in terme van sy lengte- en breedtegraad waardes, waar lengte- en breedtegrade gedefinieer word as hoeke wat gemeet word vanaf die aarde se middelpunt tot by 'n punt op die aardoppervlakte (Kennedy & Kopp, 2001:2). Lengte- en breedtegrade kan uitgedruk word in grade-minute-sekondes (GMS) of desimale grade (DG) (Shin *et al.*, 2018:46).

3.4.3.2 *Datums*

Terwyl 'n sferoïed die aarde se vorm op die mees funksionele wyse uitbeeld, definieer 'n *datum* die posisie van die sferoïed relatief tot die middelpunt van die aarde. Dus skep 'n *datum* 'n verwysingsraamwerk vir die meting van punte op die aardoppervlak, menende dat dit die oorsprong en posisie van die lengte- en breedtegrade definieer. Daarom, wanneer 'n mens die *datum* verander (wat beteken dat die GKS verander), lei dit tot die verandering van die koördinaatwaardes van die data (Kennedy & Kopp, 2001:6). Die behoefte, situasie en ligging is die bepalende faktore in die keuse van watter *datum* om toe te pas. 'n Opsie is om die plaaslike *datum* te gebruik wat die mees akkurate koördinate vir die spesifieke ligging sal aandui (Shin *et al.*, 2018:47). In Suid-Afrika is die offisiële plaaslike *datum* sedert 1 Januarie 1999 die Hartebeesthoek94 (Hart94) *Datum* met die Hartebeesthoek Radio Astronomie Observatory as punt van oorsprong. Hierdie *datum* is gebaseer op die *World Geodetic System van 1984 (WGS84)* en kan basies beskou word om die plaaslike toepassing van die *WGS84* te wees (Department of Rural and Land Reform, 2103). Die *WGS84* gebruik die middelpunt van die aarde as punt van oorsprong en neig daarom om die meting van liggings meer konsekwent weer te gee ongeag die posisie op die aardoppervlakte. Tog, sal dit heel moontlik minder akkuraat wees as die plaaslike *datum* van 'n bepaalde ligging (Shin *et al.*, 2018:47).

3.4.3.3 Geprojekteerde koördinaatstelsels

'n Geprojekteerde koördinaatstelsel is van toepassing op plat, 2D oppervlaktes. Anders as met 'n geografiese koördinaatstelsel, word 'n geprojekteerde koördinaatstelsel opgemaak uit konstante lengtes, hoeke en oppervlaktes regoor die twee dimensies. Só 'n koördinaatstelsel is altyd gebaseer op 'n GKS wat op 'n sfeer of sferoïed gebaseer is. Die liggings word

geïdentifiseer deur x , y op 'n rooster, met die middelpunt van die rooster wat dien as oorsprong. Elke entiteit of ligging bestaan uit twee waardes wat die sentrale posisie in terme van horisontaal en vertikaal (bekend as die x -koördinaat en y -koördinaat), bepaal. Die koördinate by die punt van oorsprong word dus genoteer as $x = 0$ en $y = 0$. Horisontale lyne bo die oorsprong en vertikale lyne regs van die oorsprong sal positiewe waardes hê, terwyl die onder en links van die oorsprong weer negatiewe waardes het. Wanneer ligging bepaal word, word die punt van oorsprong as die beginpunt gebruik (Kennedy & Kopp, 2001:10).

Kaartprojeksies

Kaartprojeksies verwys na die metodes en prosesse om 'n 3D aarde, hetsy 'n sfeer of sferoïed, te projekteer op 'n 2D plat oppervlakte. Hierdie projeksies bestaan uit wiskundige formules wat gebruik word om lengte- en breedtegrade op die aardoppervlakte te interpreteer in terme van x en y op 'n plat oppervlakte (Shin *et al.*, 2018:47). Let wel, om die aarde 2D uit te beeld veroorsaak 'n steurnis in die vorm, area, afstand en rigting van die data wat voorgestel word.

Dit is ook gereeld die geval dat 'n spesifieke kaartprojeksie na sy uitvinder of eerste publseerder vernoem word, soos die *Universal Transverse Mercator (UTM)* of *Lambert Conformal Conic (LCC)* (Georgiadou *et al.*, 2001:226-227). Dit is dan ook hierdie twee projeksies wat volgens Iliffe & Lott (2008:77) 90% van alle basiskaart-projeksies uitmaak. Die *UTM*-projeksies aan die een kant het die kleinste effek op die vervorming van areas wat noord-suid strek, terwyl die *LCC*-projeksies aan die ander kant weer die kleinste effek het op die areas wat meer oos-wes strek (Iliffe & Lott, 2008:58). Daar is sestig sones in die *UTM*-stelsel (die stelsel is gebaseer op die *UTM*-projeksie), waarvan elke sone ses grade wyd is. Een só 'n sone kom ooreen met die vorm van 'n halwe silinder langs 'n bepaalde lengtegraad af (Longley *et al.*, 2005:120).

Aangesien van die toepaslike *UTM*-sone gebruik gemaak gaan word in hierdie studie, word 'n kort uiteensetting gegee van die *UTM*-projeksie se invloed op die vorm, area, afstand en rigting van geprojekteerde data, asook die beperkings van hierdie projeksie:

- Die *vorm* is konformeel, menend dat die kleiner areas se vorms behou word, terwyl die groter areas se vorms toenemend vervorm soos wegbeweeg word vanaf die sentrale meridiaan op die kaart.
- Die *areas* se vervorming neem toe soos toenemend wegbeweeg word vanaf die meridiaan.

- Wat die *afstand* betref, is die skaal akkuraat as teen die sentrale meridiaan afbeweeg word, mits die skaal 1.0 is. Sou die faktor minder as 1.0 wees, is daar twee reguit lyne aan weerskante van die sentrale meridiaan wat oor akkurate skaal gelyke-afstand kaartprojeksie beskik.
- Plaaslike hoeke is akkuraat op enige gegewe plek.
- Is *beperk* deurdat dit nie geskik is vir areas wat oor 'n paar sones tegelyk strek nie. Ook kan data nie geprojekteer word oor 90° vanaf die sentrale meridiaan nie.

(Kennedy & Kopp, 2001:89)

3.4.4 Voorstelling van ruimtelike entiteite in geografiese inligtingstelsels (GISs)

Volgens Merlo (2016:7) kan die ruimtelike dimensie van entiteite beskryf word as data wat entiteite in die tasbare dimensie verteenwoordig in terme van hul ligging, eienskappe en topologie wat op hul beurt weer verwys na die onderlinge ruimtelike verhouding tot mekaar. Hierdie ruimtelike entiteite kan in kan ses kategorieë ingedeel word:

- *0 Dimensioneel*. 'n Punt is 0 dimensioneel aangesien dit nie oor lengte, breedte, hoogte of diepte beskik nie. Punte word ingespan om ruimtelike verskynsels of gebeurtenisse asook die verspreiding daarvan, aan te dui (Longley *et al.*, 2010:88).
- *1 Dimensioneel*. 'n Lyn het lengte, maar nie breedte, hoogte of diepte nie en is daarom 1 dimensioneel. Lyne word ingespan om liniêre entiteite voor te stel soos paaie, pyplyne, ensovoorts. Lyne kan ook ingespan word om afstande tussen twee entiteite te meet (Longley *et al.*, 2010:88).
- *2 Dimensioneel*. 'n Area bestaan uit twee dimensies, naamlik lengte en breedte. 'n Area kan ook gebruik word om liniêre entiteite en punte met mekaar te verbind (Longley *et al.*, 2010:88). Ligging word deur die metings op die x y -as bepaal (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:25).
- *2.5 Dimensioneel*. 'n Entiteit wat bestaan uit 2 dimensies met 'n addisionele z -as vir elke stel x en y ligging (Merlo, 2016:11), soos byvoorbeeld hoogte bo die *datum* (Longley *et al.*, 2010:182). 'n Digitale Hoogte Model (DHM) en DOn, is tipies 2.5D (Merlo, 2016:11).
- *3 Dimensioneel*. Entiteite met volume beskik oor lengte, breedte en hoogte/diepte, en word

daarom 3 dimensioneel genoem (Longley *et al.*, 2010:88). 'n Werklike 3D entiteit (3D GIS) het meer as een *z*-waarde vir elke stel *x*- en *y*-waardes (Longley *et al.*, 2010:182). Daar word ook na só 'n entiteit verwys as soliede entiteite of modelle (Abdul-Rahman, 2008:35). Soliede entiteite kom basies in drie vorms voor, naamlik *voxels*, tetraëders en begrensde oppervlaktes (Merlo, 2016:12). Belangrik is dat 'n soliede modelleringstelsel nie verwar moet word met grafiese stelsels wat oppervlaktes en entiteite skep wat solied vertoon, maar in werklikheid slegs 'n 3D modellering daarvan is nie. Hierdie verskil het 'n beduidende effek op die analitiese kapasiteit van so 'n model (Merlo, 2016:43).

- *4 Dimensioneel.* Tyd word gereken om die 4de dimensie van ruimtelike entiteite te verteenwoordig (Longley *et al.*, 2010:88). In praktyk behels dit dat byvoorbeeld, 'n tydstempel 'n entiteit se eienskappe op 'n gegewe tydstip definieer (Agugiaro, 2014:105).

Die verhouding tussen hoër- en laer dimensionele ruimtelike entiteite behels dat laer-dimensionele entiteite afgelei kan word vanaf hoër-dimensionele entiteite, maar nie *vice versa* nie (Longley *et al.*, 2010:88).

3.4.5 Geografiese inligtingstelsel (GIS)-sagteware in die 2D modellering van kulturele terreine

Siende dat ons leef en handel in 'n 3D wêreld, dra die 3D opname en digitale modellering van kulturele erfenisterreine by tot 'n begrip van realisme wanneer die verwerkte data bestudeer en geïnterpreteer word (Georgopoulos & Stathopoulou, 2017:1). Tog is die terreinbesonderhede wat verkry word met die skep van só 'n 3D terreinkaart nie dieselfde kwaliteit as wat steeds met 'n 2D uitbeelding verkry word nie, veral waar die terrein fyn besonderhede soos plantegroei bevat. In só 'n geval is 'n 2D uitbeelding van groter visuele waarde en kan ingezoem word om tot die kleinste oppervlakbesonderhede te bestudeer en weer uitgezoem word om die ruimtelike konteks te analiseer.³⁵ Die 2D modelleringsofsie vir terreinvoorstelling in GIS kom in die vorm van 'n ortomosaïek-kaart. Om só 'n kaart te vorm behels die ortorifikasie van die geneemde multifoto's (by wyse van lugfotogrammetrie) van die terrein. Dus, in beginsel doen die GIS sagteware 'n regstelling (waar nodig) van die beelde met betrekking tot hul plasing en oriëntering van elke foto en skep ook 'n gelyke skaal eindproduk, genaamd 'n ortomosaïek-kaart (oftewel 'n 2D kaart) (Ossim, 2014).

Dit is vandag algemeen, en eintlik die standaard, om GIS sagteware toe te pas in die modellering en/of analise van kulturele terreine (Sadjadi, 2005:81), veral ook met betrekking tot

³⁵ Sien 3.4.2.4 vir dimensies van waarnemings met betrekking tot die ruimtelike skale van kaarte.

rotskuns (López-Menchero Bendicho, 2017:34). Só byvoorbeeld het Bikoulis *et al.* (2016) in 2016 'n ortomosaïek-kaart geskep van petrogliewe in die Sihua Vallei in Peru met data ingesamel deur 'n OVS. Eers het hul 'n basiskaart geskep deur gebruik te maak van data verkry by wyse van satellietfotogrammetrie. Daarna is 'n multirotorhommeltuig ingespan om spesifieke areas met gekonsentreerde petrogliewe te fotografeer (multifoto's) om sodoende 'n meer gedetailleerde ortomosaïek van die betrokke areas te skep.

Verskeie GIS sagtewarepakkette vir beide 2D en 3D modellering van terreine is kommersieel en gratis beskikbaar soos ondermeer *ArcGIS*, *QGIS*, *GRASS* en *DroneDeploy*. Sien <https://www.captterra.com/gis-software/> vir 'n meer omvangryke lys van sagteware, asook vir die opsie om verskillende pakkette met mekaar te vergelyk.

3.5 Afstandwaarnemingstegnologie en argeologie

Innovasies met betrekking tot laser- en fotogrammetrie het buite die veld van argeologie ontwikkel. Met tyd, vanweë die moontlikhede wat hierdie afstandwaarnemingstegnologieë teweeggebring het tesame met die toenemende koste-effektiwiteit, het dit daartoe gelei dat die toepassing daarvan oor die totale argeologiese dissipline versprei het (Nobles & Roosevelt, 2021:589).

3.5.1 Wat is afstandwaarnemingstegnologie?

Afstandwaarneming se letterlike betekenis is om “*waar te neem deur indirekte waarneming*” (Forte, 2016:276). 'n Breër verduideliking word deur Longley *et al.* (2005:202) gegee, naamlik dat afstandwaarneming 'n tegniek is wat toegepas word om inligting te bekom met betrekking tot die fisiese, chemiese en biologiese eienskappe van oppervlaktes of entiteite sonder direkte fisiese kontak. Die inligting wat verkry word, word afgelei van die berekenings van die hoeveelheid elektromagnetiese bestraling wat gereflekteer, uitgestraal of versprei word vanaf die oppervlaktes van die entiteite. 'n Verskeidenheid van sensors, aktief oor die hele elektromagnetiese spektrum, word vir dié doeleinde aangewend. As reël word hierdie data as 'n raster struktuur uitgebeeld en bevat dus hoë volumes data (Worboys, 1995:30).

'n Kernkomponent van 'n afstandwaarnemingsinstrument is sy resolusie en word opgemaak uit drie aspekte wat in ag geneem moet word (Longley *et al.*, 2005:202):

- i) *Ruimtelike resolusie* verwys na die piekselgrootte van 'n beeld met inagname van die grootte van die area wat gemeet word op die oppervlak of entiteit.

- ii) *Spektrale resolusie* verwys na die gedeeltes van die elektromagnetiese spektrum wat gemeet word.
- iii) *Tydlike resolusie* (ook genoem herhalende siklus) beskryf die frekwensie waarmee foto's vir dieselfde area verkry word.

Afstandwaarnemingstechnologie dateer terug na die Napoleaanse-era met die Franse wat 'n warmlugballon gebruik het om die vyandelike magte se posisie vanuit die lug vas te stel alvorens aangeval word. Tog, alhoewel afstandwaarneming vandag steeds toegepas word in militêre observering, het die tegnologie en toepassings baie ontwikkel en so ook gevorder tot by algemene siviele implementering (Sarlitto, 2017:557-558). In argeologie is die toepassing van laserskandeerders en/of fotografiese toerusting nie net vandag algemeen nie, maar 'n 'basiese vereiste' wanneer veldwerk gedoen word. Die tegnologiese afstandwaarnemingsinstrumente waarmee hierdie datastelle ingesamel word, sluit huidiglik ondermeer satelliete, vliegtuie, hommeltuie, laserskandeerders en DELR-kameras, in (Forte, 2016:276).

3.5.2 Fotogrammetrie en argeologie

Vanweë die koste-implikasie van lasergrammetrie is op fotogrammetrie besluit vir opnamedoeleindes in hierdie studie en dus gaan fotogrammetrie en die toepaslike dokumenteringsinstrumente en tegnieke daarvoor, voorts kortliks bespreek word.

Fotogrammetrie word gebaseer op fotografiese tegnieke (Lesvignes *et al.*, 2019:3) en sluit in sy breedste betekenis nie net die wyse van dokumentering van die entiteit of oppervlakte in nie, maar ook die prosesseringstegnieke en die interpreteerbaarheid wat aan die ingesamelde data verleen word vanweë die dokumenteringstegniek (ASPRS, 2012). Fotografie word in argeologie toegepas sedert die ontstaan van beide en het met tyd gevorm tot 'n wetenskap genaamd fotogrammetrie. Toegepas op rotskuns, verskaf dit 'n middel tot kontekstualisering en uitbeelding van die kunswerke, asook die skep van akkurate ontledingsmateriaal wat bestudeer kan word. Let wel, die kwaliteit van die data is onderhewig aan die beperkings gestel deur die fotograaf se vermoë, raamwerk, afstand, moontlike hoeke waarteen die rotskuns afgeneem kan word, spesifikasies van die toerusting, kamera se stellings, asook beligting (Hanneken, 2016: 184; Lesvignes *et al.*, 2016:3).

3.5.2.1 Fotogrammetriese dokumenteringsinstrumente

Satelliete

Die term 'afstandwaarneming' is oorspronklik aan die verkryging van satellietbeelde gekoppel (Remondino, 2014a:65) en fotogrammetrie as 'n komponent van afstandwaarneming het in 1960 hul eerste verskyning gemaak met Amerika se Corona militêre verkenningprogram. Daarna, met die bekendstelling van die Corona KH-4 in 1962, is begin om satellietbeelde ook in te span vir kartering- en metingsdoeleindes (Galatzatos, 2014:92).

Satellietfotogrammetrie behels in beginsel dat soos die satelliet in sy wentelbaan, op 'n hoogte wat wissel tussen 160km en 2 000km bo die grond wentel (Roberts, 2017), hy foto's neem van die aardoppervlakte (Cramer, 2017:1589). Dus beskik satellietfotogrammetrie oor die vermoë om omgewings- en argeologiese data te voorsien wat oor groot areas strek en stel Argeoloë in staat om patrone in die landskap te identifiseer met betrekking tot verskillende ruimtelike en tyd skale. Satellietbeelde maak dit ook moontlik om fokus te verskuif vanaf plaaslike data na streeksdata en van staties na dinamiese beskrywings van 'n betrokke landskap (Galatzatos, 2014:91).

Hierdie vorm van fotogrammetrie verskil van ander wyses van lugfotogrammetrie soos lugbalonne, vliegtuie en hommeltuie veral in terme van die tipe sensor, verwerkingsbenadering, asook die hoogte waarteen die foto's geneem word (Mishra, 2017:4). 'n Satelliet is toegerus met 'n hoë resolusie CCD sensor (in kontras met die verskeidenheid van sensors wat in ander vorms van lugfotogrammetrie gebruik word) met groot lense. 'n Aansienlike hoeveelheid inligting is in só 'n fotobeeld vervat vanweë die groot areas/tonale wat op 'n slag gefotografeer word. Daarom beskik hierdie satelliete dan ook oor die vermoë om groot hoeveelhede data te stoor (Mishra, 2017:4-5). Daarmee saam pas satelliete die sogenaamde lyn skanderingsbenadering toe, menende dat 'n lyn op 'n slag verwerk word in stede van 'n pieksel op 'n slag wat die geval is met die raamgebaseerde-benadering, soos toegepas deur ondermeer OVSSs.

Wat betref die data wat deur satelliete ingesamel word, word dié wat fotogrammetries van aard is as reël deur son-sinchroniese satelliete gegenereer (Mishra, 2017:5) en is die optiese kwaliteit daarvan onderhewig aan wolke dekking (Remondino, 2014a:65). 'n Paar belangrike oorwegings wanneer dit kom by die spesifieke keuse van verlangde fotogrammetriese satellietdata is:

- Die formaat – digitaal of analogies.

- Die tyd – jaar en watter tyd van die jaar.
- Ruimtelike resolusie – ruimtelike besonderhede.
- Spektrale resolusie – spektrale reikafstand/weerkaatsing na en vanaf die aardoppervlakte.
- Reeks- of aantal helderheidswaardes.
- Ruimtelike dekking.
- Koste van data.

(Galiatzos, 2014:91)

‘n Bemande vlug (BV)

BVe geskied hoofsaaklik by wyse van vliegtuie, maar het voorheen ook instrumente soos lugbalonne en vlieërs ingesluit (Jeziorska, 2019:4). ‘n BV is vandag die mees populêre keuse as dit by die kartering van groot areas kom (Cramer, 2017:1588) en bied meer oppervlakbesonderhede as satellietbeelde, maar die koste verbonde daaraan is ten nadeel van hierdie dokumenteringsopsie.

Fotogrammetrie by wyse van ‘n BV behels ‘n kamera wat onderaan die vliegtuig gemonteer word en oorvleuelende foto’s neem (multibeeld fotogrammetrie) soos wat die vliegtuig die vlugplan volg (Photo Modeler Technologies, 2019). Voordele verbonde aan hierdie tegnologie behels:

- Hoë kwaliteit optiese stelsels met uiters hoë onderskeidingsvermoë.
- Aanpasbaarheid met voorwaartse beweging.
- Montering aan ‘n gestabiliseerde platform.
- Foto-vlug navigasie.

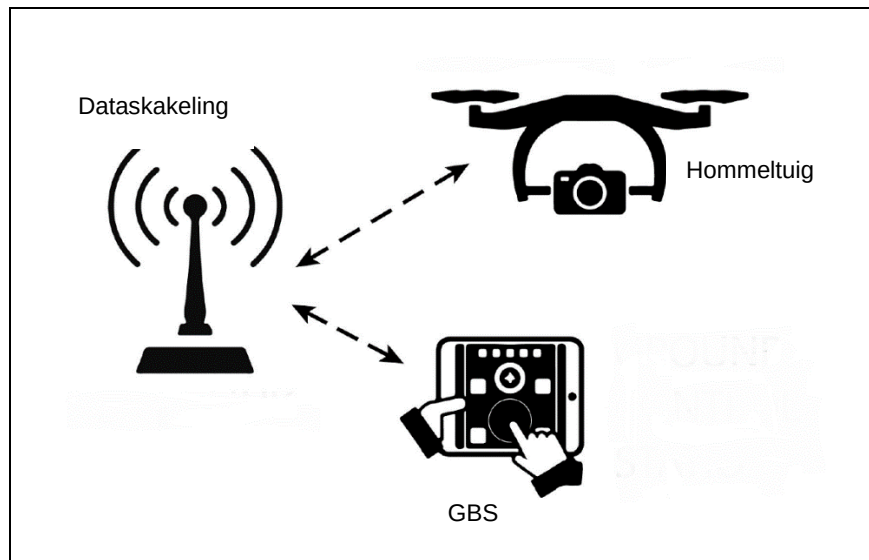
(Cramer, 2017:1588)

‘n Onbemande vlugstelsel (OVS)

‘n OVS sluit hommeltuie, vlieërs en lugbalonne in (Remondino, 2014b:76). Die algemeenste hiervan is hommeltuie en gaan ook voorts bespreek word. ‘n Hommeltuig is in werklikheid slegs ‘n komponent van ‘n ‘n groter opname stelsel en vorm saam met die grondbeheerstasie (GBS) en dataskakeling ‘n kompleet stelsel, genoem ‘n OVS (Jeziorska, 2014:4) (Figuur 3.3). In Suid-Afrika staan hierdie stelsel ook bekend as *Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)* (Jansen van Vuuren, 2021).

Die konsep om van hommeltuie gebruik te maak het sy ontstaan reeds in die negentiende eeu gehad: Na aanleiding van die groot aantal sterftes van vliegtuigvlieëniers, het Nikola Tesla in 1898 die

idee gekry dat dit meer effektief sou wees om boodskappe met kleiner vliegtuie te stuur (Parada Creativa, 2021). Nadat dit aanvanklik slegs aangewend is vir militêre doeleindes, het die gebruik daarvan in die laat 1970s uitgebrei tot toepassing in die siviele veld, asook vir die doeleinde van geomatika (Remondino, 2014b:76).



Figuur 3.3: Voorstelling van 'n OVS (Jeziorska, 2019:4).

Die gebruik van 'n OVS vir lugfotogrammetrie hou verskeie voordele in soos:

- Bekostigbaarheid (Remondino, 2014b:74).
- Kan in gevaarlike of moeilik bereikbare gebiede gevlieg word (Jeziorska, 2014:1).
- Vermoë tot hoë ruimtelike resolusie opnames (Jeziorska, 2014:1).
- Die moontlikheid van gereelde opnames om omgewingsverskynsels te monitor (Jeziorska, 2014:1).
- Die nuutste waarnemingstechnologie vir klein tot medium ruimtelike skale (Jeziorska, 2014:1).

Daar is twee hoof kategorieë hommeltuie, genaamd vastevlerk- en multirotorhommeltuie (Jansen van Vuuren, 2021; Jeziorska, 2014:6; Remondino, 2014b:74) (Tabel 3.1). Albei tipes se kostes en ladingskapasiteite is soortgelyk aan mekaar (Jansen van Vuuren, 2021).

Hommeltuigmodelle verskil wel van mekaar op verskeie wyses wat betref die ontwerp, grootte, asook die tipe stelselkomponente vervat in só 'n tuig. Die belangrikste aspekte van 'n hommeltuig soos uitgelig deur Jeziorska (2019:5) is die outomatiese vlieënier, navigasiesensors, meganiese stuurkomponente en ladingskapasiteite.

Tabel 3.1: Die twee kategorieë hommeltuie (Jansen van Vuuren, 2021).

Vastevlerk-hommeltuie	Multirotorhommeltuie
- Dié tipe het 'n breër reikwydte vlug-kapasiteit – 'n voordeel in groter gebiede. - Hulle is ook ongelukbestand. - Aangesien hierdie hommeltuie groot afstande kan aflê, kan dit moeilik wees om in die operateur se lyn van sig te bly, wat 'n wetlike vereiste is. - Beeldgehalte kan deur die vinniger spoed benadeel word. Kan byvoorbeeld selde opmetingsgraad 3D of topografiese besonderhede vasvang.	- Hierdie tuie is vinniger om op te stel en kan vertikaal opstyg en land. - Die opstel van die missie is eenvoudig; Dit is nie nodig om die opstyg en land teen die wind te beplan, soos met die vastevlerk-tipes nie. Vir onervare operateurs is hierdie die maklikste manier om vinnig aan die gang te kom. - Hulle kan meer akkuraat vlieg en skerp draai. - Hulle kan op laer hoogtes vlieg wanneer baie duidelike beelde vasgevang moet word. Kan ook stilbeelde neem.

Wanneer 'n beeldgebaseerde vlug beplan word, word dit as reël voorafgegaan deur hetsy 'n vlug- of 'n missieplan (Remondino, 2014b:77). Tydens só 'n plan is uitsluitlik rakende ondermeer die volgende twee aspekte, van kardinale belang (Jeziorska 2019:14-15):

- **Beheer**

- *Grondbeheer*: Vereis konstante insette vanaf die operateur by wyse van die GBS.
- *Semi-outonoom*: Operateur beheer die tuig tydens voorvlug, opstyg, landing, asook 'n beperkte aantal ander bewegings, maar skakel oor na outomatiese bestuur vir die grootste gedeelte van die missie.
- *Ten volle outonomies*: Beheer berus uitsluitlik by die aanboordrekenaar. In só 'n geval moet die tuig oor die vermoë beskik om sy eie omstandighede te bepaal en ook besluite te neem rakende die vlug en missie.

- **Geomerkers**

Vanweë aanboord-bewegingsensors (*IMU*), die Globale Navigasie Satellietstelsel (GNSS) en/of traagheidsnavigasiestelsel (*INS*) word nie net vlugnavigasie moontlik gemaak nie, maar word die oriëntering van die geneemde foto's ook bepaal. Alhoewel hierdie 'geomerkers' die ruimtelike plasing van entiteite moontlik maak, verskaf dit relatiewe lae akkuraatheid betreffende hul posisies (Jeziorska, 2019:15). Sou die betrokke missie 'n

hoër vlak van akkuraatheid vereis, kan dit op die volgende wyses verkry word:

- *Grondbeheerpunte (GBPe)*: Hierdie is punte op die terrein waarvan die presiese ligging bekend is. Die punte word eweredig versprei oor die terrein en die koördinate van die punte word na afloop van die opname verbind met die ooreenstemmende punte in die geoverwysde foto's tydens verwerking van die data.
- *Intydse kinematika (RTK)*: Hierdie vermoë is in sommige hommeltuie ingebou en behels die konstante kommunikasie tussen die hommeltuig en die virtuele verwysingstasie in terme van die korrigerende en kalibrering van die posisie van die hommeltuig. Die resultaat is meer akkurate geoverwysings van die geneemde foto's.

(Jeziorska, 2019:15-16)

Tydens opname van data vlieg die hommeltuie enigiets tussen 35 en 100 meter bo die aardoppervlakte. Hoe laer hy vlieg, hoe hoër die resolusie van die foto's. Sou die tuig byvoorbeeld tussen 30 en 40m bo die oppervlakte vlieg, kan 'n grondresolusie van ongeveer 2cm verwag word. Met ander woorde, elke 2cm op die grond word geassosieer met 'n piksel in die foto (Willis *et al.*, 2016:12).

Lugfotogrammetrie by wyse van OVSs word reeds in verskeie velde aangewend soos landbou, bosbou, argitektuur, argeologie, omgewingstudies, asook noodbestuur en om verkeer te monitor. Ook word dit gereeld in kombinasie met terrestriële fotogrammetrie toegepas (Remondino, 2014b:76).

Beide 'n BV en 'n OVS sal ideal wees om die rotskunterrein in die betrokke studie te dokumenteer vanweë die grootte van die terrein, asook die mate van besonderhede op die oppervlakte wat sigbaar moet wees in die geneemde foto's. Omrede 'n hommeltuig meer koste-effektief is, is besluit om van 'n OVS gebruik te maak en dan meer spesifiek 'n multirotorhommeltuig. 'n Multirotorhommeltuig se voordele vir hierdie projek is die feit dat hy vertikaal kan opstyg, die hantering van die tuig eenvoudig is en ook dat hy laag kan vlieg om meer oppervlakbesonderhede te kan dokumenteer.

Digitale enkellens refleks (DELR)-kameras

Terrestriële fotogrammetrie is die hoofmetode van dokumentasie wanneer dit by argeologie kom (Sadjadi, 2005:83) en vind plaas by wyse van 'n DELR-kamera (alhoewel spieëllose kameras 'n marktaandeel begin kry). Só 'n kamera het 'n spieël wat binne-in die kamera, reg voor die sensor, ingebou is. Die beeld wat deur die lens die kamera binnekom, word daardeur

gereflekteer sodat wanneer 'n mens deur die beeldsoeker kyk kan hy/sy sien wat gefotografeer gaan word. Wanneer 'n foto dan geneem word, lig die spieël op en die lig val op die sensor waarna die beeld of foto geskep word. Nadat die foto geneem is, val die spieël terug in posisie voor die sensor en die volgende foto kan geneem word (Van Heerden, 2015).

Wat die voorafverstellings vir beeldgehalte betref, kan dit soos volg verduidelik word: Die stellings van die sluiterspoed (tydsmeting van hoeveel lig deurgelaat word deur die sluiters), f-stop (grootte van die lensopening) en ISO (ligsensitiwiteit van die sensor) reguleer die hoeveelheid lig wat deur die lens van die kamera deurgelaat word en word bepaal na gelang van die hoeveelheid lig wat vanaf die gefotografeerde entiteit reflekteer (Burke & Smith, 2004:265-268). Hierdie stellings kan óf op eie diskresie verstel word óf kan oorgelaat word aan die kamera se sagteware om by wyse van algoritmes die beste verhouding tussen die verstellings te bepaal (Burke & Smith, 2004:268; StackExchange, 2014).

Aangesien terrestriële fotogrammetrie ook vereis word in die betrokke studie, gaan van 'n draagbare DELR-kamera gebruik gemaak word om foto's van die individuele rotse met kunswerke te neem. Hierdie wyse van fotogrammetrie lewer 'n hoë graad van oppervlakbesonderhede vir die morfologiese bestudering van die rotskunswerke.

3.5.2.2 Fotogrammetriese tegnieke

Die tegnieke om fotogrammetriese data in te samel kan in twee kategorieë verdeel word, naamlik 'n enkelfoto (enkelbeeld fotogrammetrie) of 'n reeks opeenvolgende, oorvleuelende foto's geneem van 'n bepaalde entiteit of oppervlakte wat dan as 'n datastel dien (multibeeld fotogrammetrie) (Georgopoulos & Stathopoulou, 2017:13; Mudge *et al.*, 2012:654). 'n Multibeelddatastel word in sagteware gelaai wat die foto's vorm na 'n 3D model. Laasgenoemde kategorie is hoofsaaklik die verwysingsraamwerk wanneer na fotogrammetrie verwys word vanweë die hoë mate van tegniek en ontleedbare resultate wat hierdeur verkry word.

Enkelbeeld fotogrammetrie

Enkelbeeld fotogrammetrie behels 'n enkele 2D verteenwoordiging van 'n 3D databron (Hellwich, 2017:1575), 'n rotskunswerk in hierdie geval. Die kamera word parallel met die (rots)oppervlakte geposisioneer (Duminy, 2006:35) met die perspektiewe middelpunt van die lens gefokus op die sentrale gedeelte van die betrokke rotskunswerk, waarna 'n foto geneem word.

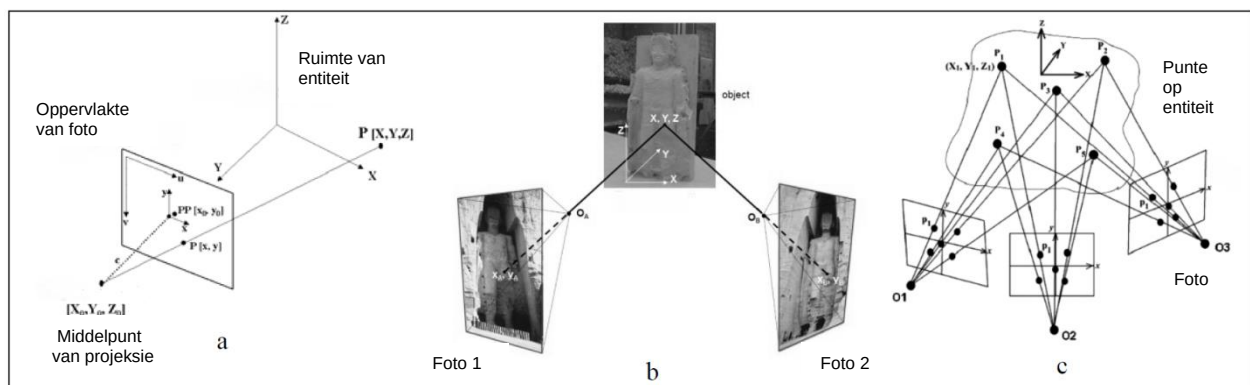
Dit is van kardinale belang dat die kamera so stil as moontlik gehou word tydens die neem

van die foto en daarom word aanbeveel dat die kamera op 'n driepootstaander gemonteer word indien die sluiterspoed van die kamera gestel is op 1/60 of laer (Burke & Smith, 2004:273).

As voorbeeld hiervan kan Hollmann en Lombard (2020) genoem word wat enkelfoto's geneem het van petrogliewe op Keimoes rotsgravureterrein in die Noord-Kaap provinsie. Sommige van hierdie foto's is deur hul ontleed om die sigbaarheid van die kunswerke te probeer verhoog. Dit is gedoen deur die betrokke foto's ondermeer te omskep na 2D digitale natrekkinge.

Multibeeld fotogrammetrie

SfM (of ook genoem multibeeld fotogrammetrie) is 'n 3D modelleringstegniek vir die skep van oppervlakte en entiteite deur middel van fotografiese datastelle. Hierdie tegniek behels groot stelsel oorvleuelende foto's (60%-80% oorvleueling binne 'n stel foto's word aanbeveel) wat van die betrokke oppervlakte of entiteit geneem word vanuit verskillende hoeke en hoogtes. Dit is belangrik dat die entiteit stilstaande is en/of geen waarneembare beweging op die oppervlakte moet plaasvind tydens die proses nie. Ook word aanbeveel om nie die kamera se stellings, soos die fokus van die lens, te verstel gedurende die neem van só 'n stel foto's nie aangesien dit die kwaliteit van die eindresultaat nadelig kan beïnvloed (McCarthy, 2014:176-177) (Figuur 3.4).



Figuur 3.4: Die *SfM*-tegniek (Remondino, 2014a:66).

Na afloop van die neem van die fotostel word die foto's in modelleringsagteware gelaai wat dan ook die outomatiese kalibrering van die kamera bewerkstellig (McCarthy, 2014:176; Stentoumis, 2017:226). Die sagteware bereken die ruimtelike verhoudings tussen die onderskeie foto's deur die toepassing van trigonometriese beginsels in terme van bepaalde posisies of verwysingspunte soos GBPe in die foto's, asook die uitvoer van herhaalde toetsing en verfyning van die data vervat in die foto's. Hierdie proses staan ook bekend as bondelaanpassing (Burnham, 2019:8; McCarthy, 2014:177). Die meeste van hierdie *SfM* sagtewarepakkette gebruik die sogenaamde *Scale Invariant Feature Transform* algoritme, oftewel *SIFT* om hierdie

berekenings uit te voer. Hierdeur word homologiese kenmerke in die verskillende foto's bymekaar gepas ten spyte van variansie in skaal en oriëntering van die onderskeie foto's. Die eindresultaat van hierdie proses is 'n skepping van 'n basiese vorm van die toneel, genoem 'n semi-digte puntwolk waarna beeldgebaseerde modellering (BGM)³⁶ kan plaasvind (McCarthy, 2014:177).

'n Voorbeeld van hierdie vorm van fotogrammetrie kan gesien word in Plets *et al.* (2012) waarin hul 'n reeks foto's geneem het vanuit verskillende hoeke en hoogtes van die petrogliewe in die Elangash Valley in die Altai bergreeks. Daarna is dit ingevoer in die 3D modelleringsagteware, *PhotoScan*, om 'n 3D model te skep van die multibeelddatastel.

3.6 3D modellering van beelddata

3.6.1 Volumemodellering

Die wyse waarop 3D ruimtelike entiteite voorgestel word kan in twee kategorieë verdeel word, naamlik volume modellering en oppervlak modellering (sien 3.6.2) (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:26; Merlo, 2016:42).

Die volumegebaseerde entiteite word uitgedruk in terme van 'n soliede voorstelling se inligting en word verteenwoordig deur 3D skikking, okboom, konstruktiewe soliede geometrie (KSG) en 3D DON (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:26) (Figuur 3.5).

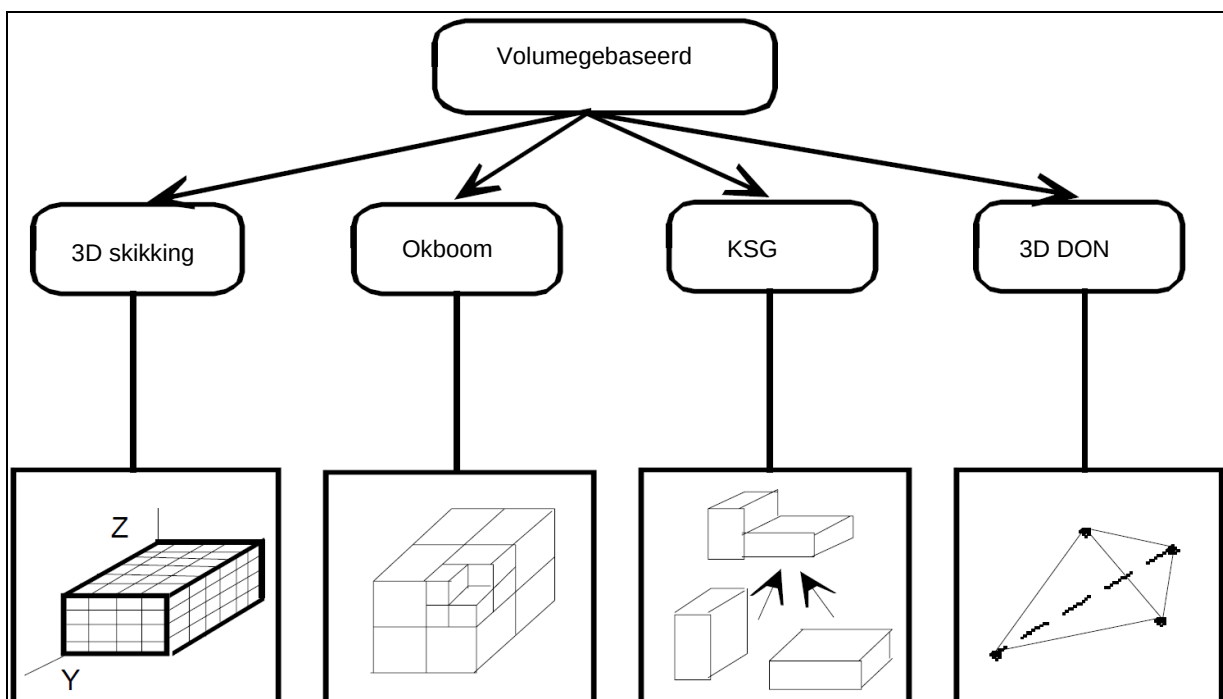
'n Kort beskrywing van elk van hierdie datastrukture volg:

3D skikking. Hierdie struktuur is die eenvoudigste om te implementeer, maar is nie voldoende in alle omstandighede nie. Indien 'n groot hoeveelheid skikkingselemente dieselfde waardes bevat, skep dit 'n onnodige groot aanvraag vir rekenaarstoorplek en -geheue. Daarom is die toepassing van hierdie struktuur nie so gepas om entiteite met 'n hoë resolusie te verteenwoordig nie (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:32).

Okboom. Is die mees algemene hiërargiese datastruktuur en beskryf die okkupering van die kubieke areas van die ruimte van die entiteit, ook bekend as *voxels*. Dit is basies die skep van 'n 3D kwadboom waar die area van belang omsluit word deur 'n *voxel*. Hierdie datastruktuur is die mees toegepaste benadering in beeldverwerking en rekenaargrafika (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:33). Met die okboombenadering verteenwoordig elke skakel 'n kubieke

³⁶ Sien 3.6.3 vir 'n beskrywing van die wyse wat BGM plaasvind.

deeltjie ('n kubus) van die heelal wat 'n eienskapswaarde bevat (byvoorbeeld, vol, leeg, grys) wat dan geassosieer kan word met daardie kubus (Sadjadi, 2005:57). Chan *et al.*, (1989:205) beskryf die heelal as 'n kubus met 'n randlengte van 2^n , waar n die aantal kere voorstel wat die heelal verdeel is. Hierdie kubus kan dan in agt identiese kubusse (oktante) verdeel word, elk met 'n randlengte van 2^{n-1} (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:33). Elke ander skakel van die boom word weer geassosieer met 'n kubus met 'n randlengte van 2^i , waar i verwys na die vlak van skakels in die boom. Die oktant met die kleinste randlengte 2^0 eenhede (byvoorbeeld een eenheid), verteenwoordig die stelsel se resolusie en word na verwys as 'n kubuseenheid (Sadjadi, 2005:57). 'n Voordeel van die okboombenadering is die eenvoudige toepassing daarvan in visualisering-vormings algoritmes, maar die nadeel is dat dit ook baie rekenaarspasie opneem (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:33).



Figuur 3.5: Voorbeelde van volumegebaseerde ruimtelike entiteite (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:37).

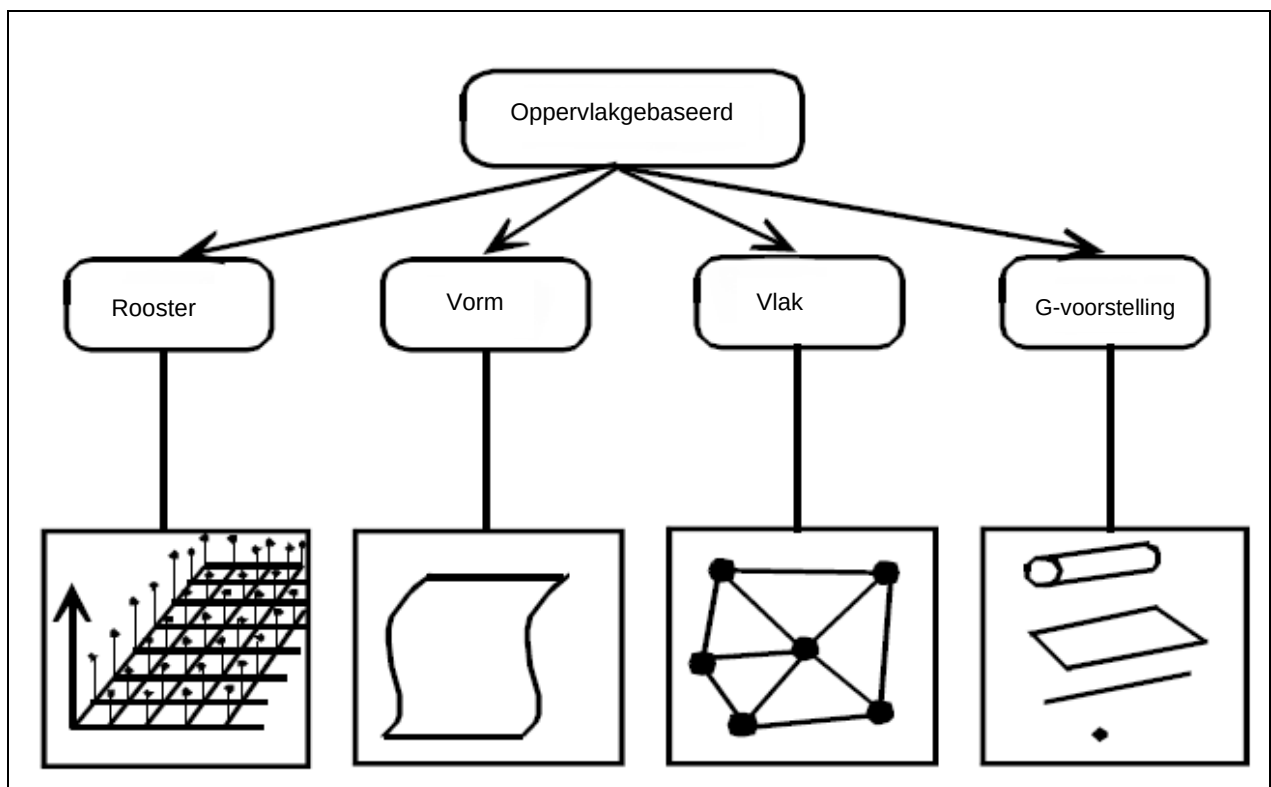
KSG. Konstruktiewe soliede geometrie kombineer ruimtelike 3D primitiewe soos 'n kubus, silinder en sfeer om 'n voorafbepaalde voorwerp te vorm (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:34; Worboys, 1995:319). Die primitiewe word gekombineer deur geometriese omskakeling of deur Boolean instruksies toe te pas (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:35). Boolean instruksies behels woorde soos 'en', 'of' en 'nie' wat ingevoeg word (Richard, 2018). Geometriese omskakelings behels gewoonlik vertaling, rotering en skalering, terwyl Boolean instruksies as reël die kombinerings, kruisings en herbouings van die onderskeie primitiewe behels. Ten nadeel van hierdie datastruktuur is dat soos primitiewe bygevoeg word, word meer stoorplek opgeneem. Boonop word KSG ook gereken om nie 'n goeie opsie te wees wanneer dit kom by

onreëlmatige voorwerpe nie (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:35).

3D DON. Ook bekend as 'n tetraedrale netwerk (TEN). 'n TEN is 'n vektor datastruktuur en 'n basiese uitbreiding van die 2.5D DON (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:35; Shin *et al.*, 2018:91). 2.5D DONE word opgemaak uit aangrensende, nie-oorvleuelende driehoeke om geografiese oppervlaktes uit te beeld (Shin *et al.*, 2018:91), terwyl TENE tetraedrale vorm waarmee 3D voorwerpe geskep kan word (ESRI, 2020). Só 'n tetraedraal bestaan uit skakels, vier hoeke, ses rante en vier oppervlaktes (Abdul-Rahman & Poulik, 2008:35). Die skakels in 'n tetraedrale voorwerp is oneweredig verspreid wat dit ideaal maak om komplekse modelle met wisselende oppervlaktes voor te stel (ESRI, 2020). Die voordele wat TENE inhou is eerstens dat dit gereduseer kan word tot punte, lyne, areas en volume (soliede entiteite) voorstellings. Tweedens, dra dit by tot vinnige topologiese verwerkings en laastens, is dit gemaklik met kragtige visualisering (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:36).

3.6.2 Oppervlakmodellering

Oppervlakgebaseerde entiteite word weer opgemaak uit verskillende oppervlak primitiewe en kan uitgebeeld word in terme van 'n rooster, vorm, vlak en grensvoorstelling (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:26) (Figuur 3.6).



Figuur 3.6: Voorbeelde van oppervlakgebaseerde voorstellings (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:32).

Rooster. 'n Struktuur wat hoogtewaardes vir posisies, konstante afstand van mekaar af, weergee. Verskeie Digitale terrein modelleringspakkette (DTMs-pakkette) word op hierdie voorstelling gebaseer. Die voordele van hierdie struktuur is dat dit eenvoudig is om te skep en dat topologiese data, in terme van posisie, duidelik definieerbaar is. 'n Nadeel is dat dit nie toepasbaar is waar diverse hoogtes ter sprake is nie, soos in die geval van vertikale mure, asook oorhange (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:27).

Vorm. Hierdie struktuur beskryf 'n entiteit se oppervlakte in terme van die bepaalde oppervlakafleidings soos hellingshoeke, gegrond op punte op die oppervlakte. Elke puntrooster het dus 'n helling in plaas van 'n *z*-waarde. Dié wyse van modellering is ideal vir die voorstelling van die seebodem as voorbeeld, maar die wyse wat data ingesamel word is wel problematies (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:27-28).

Vlak. 'n Entiteit se oppervlakte word gedefinieer deur selle op 'n plat oppervlakte waarvan die selle se grootte en vorms verskil van mekaar (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:28). Die mees populêre vlakstruktuur is die DON, met die *Delaunay* driehoeksmeting as die algemeenste vorm hiervan. Die *Delaunay* driehoeksmeting behels in beginsel dat die omskrywingsirkel van enige driehoek geen punt van die datastel daarin bevat nie (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:163) en ook is dit die kleinste hoek van die driehoek wat vergroot word. Dus word langwerpige, skerp hoeke vermy (Chen & Knoblock, 2017:301). 'n Vlakstruktuur word veral toegepas in DTMe vir hul strukturele stabiliteit en aanpasbaarheid tot die terrein se oppervlakte, asook beter visuele vertoon. Nadele verbonde aan hierdie struktuur is dat hoë resolusie datastelle baie stoorplek inneem en verwerking van die DON 'n geruime tyd kan neem (Merlo, 2016:44).

Grensvoorstelling. 'n Entiteit word voorgestel na gelang van voorafgedefinieerde primitiewe wat opgemaak is uit punte, rante, vlakke en volume. Om dus 'n entiteit in hierdie struktuur voor te stel moet die betrokke element 'n geometriese data element bevat, 'n identifikasie kode, asook sy verhouding tot ander elemente weergee.

3.6.3 Beeldgebaseerde modellering (BGM)

Die sogenaamde BGM-tegniek wat deur sagtewarepakkette ingespan word om 3D modelle te skep by wyse van digitale foto's, behels in beginsel dat 'n 3D model geskep word by wyse van oorvleuelende foto's met bekende of veronderstelde oriëntasies tot die gefotografeerde entiteit. Alhoewel daar alom na hierdie metode as die *SfM*-tegniek verwys word, maak dit in werklikheid slegs 'n deel uit van die totale BGM proses (Solem & Nau, 2020:4).

Die BGMs metodologie wat deur die sagteware gevolg word om dan so 'n 3D model te skep,

kan soos volg uiteengesit word:

Stap 1: Belyning. Die posisies van die kamera word vir elke foto bereken, gebaseer op homologiese punte waar die foto's oorvleuel (Solem & Nau, 2020:4).

Stap 2: Skep van 'n 3D puntwolk. Die punte wat ooreenstem word gebruik om 'n semi-digte puntwolk, bestaande uit x -, y - en z -data, te skep by wyse van die *SfM*-tegniek. Daarna word digte beeldpassing algoritmes toegepas om die puntwolk te verdig (Solem & Nau, 2020:4). Die puntwolk se samestelling kan gestruktureerd of ongestruktureerd wees (Remondino, 2014a:70). 'n Gestruktureerde puntwolk is topologies konstant en elke skakel in die *mesh* dien as 'n hoekpunt vir vier aangrensende *mesh*-selle (Vasques & Eldredge, 2011:510). In 'n ongestruktureerde puntwolk weer, word die *mesh*-selle vrylik (ongestruktureerd) aan mekaar verbind. Die laasgenoemde samestelling is die mees toegepaste opsie in BGM sagteware (Tu *et al.*, 2013:228) aangesien geen voorafbelyning van die stel foto's nodig is nie (Remondino, 2014a:70).

Stap 3: Konstruksie van die 3D mesh. Die onderskeie toepaslike punte in die digte puntwolk word met mekaar verbind deur poligone wat sodoende 'n 3D (poli)*mesh* skep (Verhoeven, 2017:1005). Poligone kan uit verskeie vorms bestaan, maar die mees toegepaste vorms vir gestruktureerde *meshes* is driehoeke en tetragone (*voxels* en tetraëders in soliede modellering) (Verhoeven, 2017:1005) en *Delaunay* driehoeksmeting (TENE in soliede modellering) vir ongestruktureerde *meshes* (Guidi, 2014:48).

Stap 4: Drapering van tekstuur. Tekstuur word deur die GIS woordeboek (ESRI, 2021) beskryf as 'n digitale uitbeelding van die oppervlakte van 'n struktuur in raster-formaat (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:227). Die digitale verteenwoordiging van hierdie struktuur, genaamd 3D *mesh*, kry sy tekstuur met kleurskakerings soos vervat is in die toepaslike foto's (Solem & Nau, 2020:4). Die wyse waarop die kleurdata geprojekteer word op die struktuur word deur die sagteware bepaal relatief tot die parameters van die kamera waarmee die foto's geneem is (Abdul-Rahman & Pilouk, 2008:227). Die resolusie van die 3D eindproduk word dus bepaal deur die kwaliteit van die foto's (Badea & Badea, 2020:10).

3.7 Verwerking tot waarneembaarheidsmanipulering en voorstelling in argeologie

Die toepassing van sagteware om argeologiese terreine en artefakte duideliker te kan visualiseer is alombekend in argeologiese kringe en word veral toegepas in navorsing en opnames waar die studie-onderwerp onduidelik of van die elemente moontlik onsigbaar is

(Cerrillo-Cuenca & Sepulvéda, 2015; Kotoula *et al.*, 2018; Mark & Billo, 2002). Verskeie sagtewarepakkette, algoritmes, sagteware-biblioteke, 3D skeppingsuites, ensovoorts is beskikbaar vir dié doeleinde, hetsy gratis of kommersieel (Faizen, 2020:12-19; Mark & Billo, 2002). Alhoewel van hierdie sagteware-instrumente eenvoudig is om toe te pas deurdat dit slegs basiese rekenaargeletterdheid vereis tesame met die minimum tyd om die fynere tegnieke te bemeester, verg 'n groot gedeelte van die sagteware wél die kennis en insette van 'n professionele programmeerder as gevolg van die moeilikheidsgraad in terme van die toepassing daarvan (Bentkowska-Kafel, 2017:xxxix-xl). Dit is veral die geval wanneer beoog word om nuwe digitale tegnieke of 'n kombinasie van tegnieke en/of sagteware-instrumente te implementeer.

Om die beoogde multinavorsingsmodel vir hierdie studie te skep, vereis daarom die volgende drie vlakke van sagteware kennis:

- i) Basiese rekenaarvaardigheid om die ortomosaïek-kaart in *Drone2Map*, asook die 3D modelle in *Colmap* en *Materialize* te vorm.
- ii) Intermediêre kennis rakende die toepassing van rekenaarsagteware vir die manipulerings-instrumente, asook die uiteindelijke bymekaarbring en voorstel van die onderskeie elemente wat die toepassing van *Blender*, *False Color*, *Unity* en *Angular* behels.
- iii) Opgeleide vakkennis van programmering vir die skryf van *scripts* om die onderskeie sagteware-instrumente van die studie op 'n outomatiese wyse met mekaar te laat kommunikeer.

3.7.1 Sagteware

'n Kort omskrywing volg van die onderskeie sagteware wat tydens hierdie studie van die petrogliewe op Bosworth-rotskunterrein geïmplementeer gaan word om:

- i) *By wyse van GIS sagteware die studiegebied in streekskonteks en uitleg te karteer.* Hiervoor gaan *Drone2Map* ingespan word om die rotskunterrein in 2D te modelleer en ruimtelike analise daaraan te verleen. *Drone2Map* is gekies vanweë die sagteware se eenvoud en die mate van outomatisasie van die invoer- en verwerkingsopsies van data. Ook maak die multifunksionaliteit van die sagteware en integrasie moontlikhede met verskeie ander sagtewarepakkette, wat op hul beurt addisionele analiserings- en bekendstellingsopsies verleen, *Drone2Map* ideaal vir die studie.

- ii) (a) 'n Roteerbare 3D model van elk van die vier voorafgeïdentifiseerde individuele rotse te skep.

(b) 'n 3D Oppervlakmodel te skep van die rotskunswerke op die panele van hierdie rotse.

Nadat beide *Regard 3D* en *Colmap*, albei gratis en oopbron sagtewarepakette, getoets is vir hierdie doeleinde, is op laasgenoemde besluit omrede die gevormde *mesh* in *Colmap* meer oppervlakbesonderhede getoon het.

- iii) Die geselekteerde individuele kunswerke op die die ortomosaïek-kaart wat in *Drone2Map* geskep is, te identifiseer en uit te sny om sodoende in 'n volgende sagtewarepakket (*Unity*) 'n kiesopsie aan elk te verleen. Hierdie stappe is nodig vir die verdere analise van die betrokke kunswerk deur die gebruiker. Hiervoor sal *Paint* gebruik word aangesien dit nie net gratis en oopbron is nie, maar ook van al die foto-redakteur sagteware-instrumente die een is wat die grootse lêer op 'n slag kan invoer.

- iv) Die 3D rotsmodel van elke geselekteerde rots, asook die 3D oppervlakmodelle (beide reeds in *Colmap* gevorm), af te rond deur dit netjies uit te sny ter voorbereiding vir die multinavorsingsmodel. *Blender* is die vanselfsprekende sagteware opsie vir hierdie verwerkings aangesien daar nie 'n ander pakket is wat dieselfde verskeidenheid funksionaliteite bied of met dieselfde spoed verwerkings hanteer, asook op al die groot platforms werk nie. Boonop is *Blender* gratis om te gebruik.

- v) 'n Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van elke kunswerk te skep, gevorm vanaf 'n enkele 2D foto van die onderskeie kunswerke. Hiervoor word die sagteware-instrument, *Materialize*, ingespan aangesien die integrasie daarvan met die res van die sagteware in die skep van die gebruikersbeheerde verbindingskanaal naatloos is.

- vi) Die individuele rotse met die geselekteerde kunswerke se oppervlak-kleursamestelling te kan wysig deur die variasie tussen alternatiewe kombinasies van RGB (*R* = rooi, *G* = groen, *B* = blou) kleure moontlik te maak. Die *nodejs*-biblioteek, *False Color*, bied die algoritme vir hierdie verwerkings.

- vii) (a) Virtuele skaduwees te skep deurdat 'n digitale ligstraal vanuit verskillende hoeke gewerp kan word op die 3D oppervlakmodel, asook die vertolkte 3D oppervlakuitleiding om die morfologie van die petrogliewe duideliker uit te bring.

(b) Die onderskeie komponente van hierdie studie in een platform byeen te bring vir

die bou van 'n verbruikersbeheerde verbindingsskanaal, asook die interaktiewe funksionaliteite daarvan te skep.

Unity bied beide die beligtingsopsie én die byeenbring van die onderskeie interaktiewe komponente van hierdie studie. *Unity* is hiervoor gekies vanweë die funksionaliteit wat dit bied binne die onderlinge versoenbaarheid van die verskillende komponente met mekaar binne hierdie videospelletjie-enjin. Ook is *Unity* ten volle versoenbaar met al die groot platforms en bied 'n gerieflike hoeveelheid aanlyn-ondersteuning in die gebruik van hul onderskeie sagteware komponente.

- viii) Die multinaavorsingsmodel beskikbaar te stel vir voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering op 'n platform (webtoepassing) geskep deur middel van 'n webraamwerk. Hiervoor is die toepassing, *Angular* as webraamwerk gekies omrede hy nie addisionele biblioteke benodig nie en bevat ook meer integrerende funksies as byvoorbeeld die ander gewilde webraamwerk, *React*.

Hierdie geselekteerde sagteware-instrumente behels in beginsel die volgende.

3.7.1.1 *Drone2Map*

Drone2Map, 'n toepassing van *ArcGIS*, is in 2016 aan die mark bekendgestel (GCN, 2021) en is 'n alleenstaande 64-bis *Windows* rekenaartoepassing (*ArcGIS*, 2020a) wat gedryf word deur 'n derdeparty fotogrammetrie-enjin, genaamd *Pix4D* (*ArcGIS*, 2020b; Van Rees, 2016). Hierdie toepassing verwerk hommeltuigdata (beelde en geoverwysings) na beeldgebaseerde produkte in terme van ortomosaïek-kaarte, DTMe, DHMe, DOME en 3D modelle. Vir die suksesvolle skepping van hierdie produkte benodig die sagteware ook metadata, waarvan die mees elementêre elemente lengte-, breedte- en hoogtegrade van elke foto is. Addisioneel sal GBPe, oriëntasie, asook brandpunt en piekselgrootte van die sensor bydra tot 'n beter kwaliteit eindproduk. Die nadeel van *Drone2Map* is dat dit tot op datum nie oor die vermoë beskik om videomateriaal te verwerk nie (Van Rees, 2016).

Wanneer dit kom by die 2D en 3D uitset-formate wat *Drone2Map* bied, is die volgende opsies beskikbaar:

- 2D As 'n ortomosaïek, DOM en DTM (laasgenoemde twee modelle kan eerder geklassifiseer word as 2.5D).³⁷

³⁷ Sien 3.4.4 vir 'n verduideliking van die verskil tussen 2D en 2.5D.

- 3D As,
 - *puntwolk*: SLPK-, LAS-, zLAS-, PLY- en XYZ-formate.
 - *mesh*: OSGB-, SLPK-, OBJ-, FBX-, DXF-, PLY-, 3D PDF-formate.

(Badea & Badea, 2020:10,11)

‘n Bespreking van elk van hierdie formate onder die 3D skeppings val buite die bestek van die betrokke studie.

Ná verwerking van die datastel bied *Drone2Map* ontledingsfunksies van die 2D beeldgebaseerde produkte in terme van:

- Die ortomosaïek se kleursamestelling op enige betrokke punt.
- Afstand.
- Meting van ‘n geselekteerde oppervlakte.
- Die bepaling van ‘n geselekteerde entiteit se volume.

Wat die uitvoer van die geskepte terreine na ander *ArcGIS* platforms betref, het die gebruiker verskillende opsies om ‘n 2D produk uit te voer, naamlik as ‘n ‘*Web Map*’, ‘*Elevation Layer*’, ‘*Imagery Layer*’, ‘*Tile Layer*’ en ‘*Feature Layer*’. Opsies met betrekking tot die 3D uitvoerprodukte is om dit as ‘n ‘*Scene Layer*’, ‘*Elevation Layer*’, ‘*Tile Layer*’ en/of ‘*Feature Layer*’ uit te voer.

Indien die gebruiker die eindproduk wil uitvoer en stoor vir die gebruik in nie-*ArcGIS* platforms, kan die onderskeie 2D produkte as foto-beelde uitgevoer word met ‘n keuse tussen verskeie uitvoer-formate, terwyl ‘n 3D model gestoor kan word as ‘n *OBJ*-lêer.

3.7.1.2 *Colmap*

Colmap is ‘n gratis en oopbron sagteware-biblioteek, geskryf deur Johannes L.Schönberger as deel van sy navorsing vir sy PhD in Rekenaarwetenskap in 2019. *Colmap* is ‘n veeldoelige *SfM* en MAS (multi-aansig stereo) verbindingskanaal met ‘n grafiese- en bevelreël koppelvlak. Hierdie sagteware-biblioteek bied ‘n verskeidenheid van funksies vir die rekonstruksie van gerangskikte sowel as ongerangskikte foto’s (Colmap, 2020). *Colmap* pas die okboombenadering toe met die bou van die datastruktuur en bied aan die gebruiker, in terme van oppervlakrekonstruksie, ‘n keuse tussen ‘n *Delaunay* driehoeksmeting/okboom kombinasie of ‘n *Poisson*/okboom kombinasie (Fisher *et al.*, 2021:1; ProgrammerSought, 2021). *Poisson* oppervlakrekonstruksie bied as reël ‘n meer gladde resultaat as die *Delaunay* driehoeksmeting vanweë die hoër getal punte wat in die oppervlakdata vervat is (Kazhdan *et al.*, 2006:1). Beide

Delaunay driehoeksmeting en *Poisson* resorteer onder vlak modellering.

As invoer-formaat neem *Colmap* slegs *JPG*-formaat en bied, nadat die puntwolk en *mesh* model gevorm is, 'n 3D *OBJ*-leër in *PLY*-formaat as uitset ter visualisering en verdere verwerking van die model.

3.7.1.3 *Blender*

Die *Blender* Stigting is in 2006 op die been gebring deur Ton Roosendaal met die oogmerk om programmeerders en kunstenaars byeen te bring. *Blender* sagteware word beskryf as 'n gratis en oopbron 3D skeppingsuite wat ondersteuning verskaf vir 'n totale 3D verbindingsskanaal. Dit sluit funksies soos modellering (asook die redigering van elemente in 3D modelle), riglyngewing, animasie, simulاسie, vorming, samestelling, bewegingsopsporing, videoverwerking, asook 2D animasie verbindingsskanaal, in (Blender Institute, 2021). *Blender* kan 'n wye reeks invoer- en uitvoer-formate hanteer, soos ondermeer *OBJ*, *FBX*, *3DS*, *PLY*, *STL*, ensovoorts. Sou daar nie reeds vir 'n betrokke formaat voorsiening gemaak wees nie, kan die verlangde formaat slegs geaktiveer en toegevoeg word onder '*Preferences*' (Blender, 2021).

3.7.1.4 *Materialize*

Bounding Box sagteware het *Materialize* ontwikkel as 'n alleenstaande instrument vir *Windows* wat hiermee aan die gebruiker die vermoë verleen om fisies-gebaseerde vormingsmateriaal te skep vanaf foto's vir die hoofsaaklike doel om dit in videospelletjies te implementeer. *Materialize* is ook 'n gratis en oopbron sagteware-instrument wat geskep is met *Unity* sagteware (Sternisha, 2019) en beskik oor die volgende funksionaliteite (Bounding Box Software, 2015):

- Die skep van tekstuurkaarte vir die 3D vorming van die ingevoerde foto's naamlik:
 - '*Diffuse Map*' vir kleur en tekstuur (Slick, 2021).
 - '*Height Map*' om meer definisie aan die oppervlakte te gee (Unity Documentation, 2020a).
 - '*Normal Map*' om besonderhede op die oppervlakte te beklemtoon (Unity Documentation, 2020c).
 - '*Metallic Map*' om te beheer hoe metaal- of nie-metaalagtig 'n entiteit moet vertoon (Unity Documentation, 2020b).
 - '*Smoothness Map*' om die besonderhede van die mikro-oppervlakte te beheer (Unity Documentation, 2020e).
 - '*Edge Map*' vir die skep en/of beheer van rante (Paltsiuk, 2009).

- 'Occlusion Map' om die indirekte lig wat die entiteit op sekere areas moet kry, te beheer (Unity Documentation, 2020d).

- Naatlose teëling van teksture.
- Beskik oor verskeie stoor- en oplaai-formate.
- 'n Aantal outomatiese verwerkings met knipbord-bevele in *xml*-formaat.

Hierdie sagteware-instrument kan *BMP*, *JPG*, *PNG*, *TGA* en *TIFF* as invoer- en uitvoer-formate hanteer.

3.7.1.5 *False Color*

Die Merriam-Webster.com woordeboek (2021) beskryf 'n vals kleur as 'n nie-werklike kleurverteenwoordiging in 'n beeldvoorstelling van 'n entiteit wat toegepas word om besonderhede te beklemtoon, onderskei of kontrasteer. Dus verhoog dit die interpreteerbaarheid van die data vervat in die oppervlakbeeld (Sarp, 2014). Die kodering vir vals kleure behels 'n abstrakte wiskundige model waar 'n numeriese waarde (0-255) aan elke pieksel van die betrokke beeld toegeken word. Daarna word hierdie waardes omgeskakel na die alternatiewe kleurrangskikking wat deur die geselekteerde kleurspasie aangewys word (Méndez-Caratini, 2018:59; npm, 2018) .

In praktyk behels dit dat met die neem van 'n kleurfoto, word die inligting van die RGB-kanale gekarteer na die ooreenstemmende RGB kanale op die beeld (oftewel foto). Wanneer die vals kleurfunksie dan toegepas word, verander die verhouding tussen die opgeneemde RGB-kanale en die nuut toegekende kleurkombinasie binne die RGB-kleurspasie om sodoende nuwe, nie-werklike kleure aan die beeld toe te ken (GDSC, 2018). Pseudo kleur is op sy beurt 'n variant van die vals kleurtoepassing deurdat die toekenning van die numeriese waardes gekoppel word aan 'n monochroom beeld en nie 'n kleur beeld nie (MicroImages, 2021). Om die funksies van vals- en pseudo kleure in hierdie studie te verkry gaan *False Color*, 'n nodejs-biblioteek (gratis en oopbron), toegepas word (npm, 2018).

3.7.1.6 *Unity*

As dit kom by die 3D visualisering van data, word die instrumente om dit te ontwikkel tradisioneel vanaf die videospelletjie-domein verkry en is gewoonlik ook aanpasbaar om 3D geodata te akkommodeer (Agugiaro & Remondino, 2014:145). Die huidige mees toegepaste videospelletjie-enjin is beslis *Unity* wat in 2005 bekendgestel is deur *Unity Technologies* (Axon, 2016). *Unity* is geskryf in C# en die feit dat hy alle operasionele stelsels ondersteun, verskaf

aan dié enjin 'n groot markvoordeel (Petty, 2021). *Unity* kan gebruik word om beide 2D en 3D videospelletjies te skep, asook interaktiewe simulاسies en verskeie ander aktiwiteite (Lavieri, 2018). Alhoewel *Unity* 'n gratis sagtewarepakket is, is daar wel 'n limiet op die omset wat daarmee gegenereer kan word alvorens betaling vereis word (Petty, 2021).

Videospelletjie-enjins word nie net toegepas in die videospelletjie-bedryf nie, maar is ook al reeds op ander terreine geïmplementeer soos konstruksie, die filmbedryf, argitektuur, argeologie, ensovoorts. *Unity* akkommodeer verskeie invoer-formate soos *FBX*, *DAE*, *DXF*, *OBJ* (Unity Documentation, 2020f), *BMP*, *TIFF*, *TGA*, *JPG* en *PSD* (Unity Documentation, 2020g). Nadat *Unity* die geselekteerde verwerkings in die *cloud* uitgevoer het, beskik die verbruiker oor verskeie keuses in terme van die projek se bou uitvoer-platform, naamlik *iOS*, *Android*, *Windows*, *Mac OS*, *Linux*, *WebGL*, *Unity Web Player* (Unity Documentation, 2020h).

3.7.1.7 *Angular*

Hierdie toepassing word gereken om een van die drie gewildste webraamwerke onder programmeerders te wees. *Angular* is 'n gratis en oopbron voorkant raamwerk wat in 2016 deur *Google* bekendgestel is en is die enigste webraamwerk wat van *TypeScript* gebruik maak (Simform, 2021). *TypeScript* is op sy beurt 'n programmeertaal wat op *JavaScript* bou en deur *Microsoft* spesifiek ontwerp is vir die skep van groot toepassings (Microsoft, 2021). *Angular* word gebruik om selfoon- en webtoepassings te bou en word gebruik deur onder andere *Google*, *Microsoft* en *Paypal* (Goel, 2021).

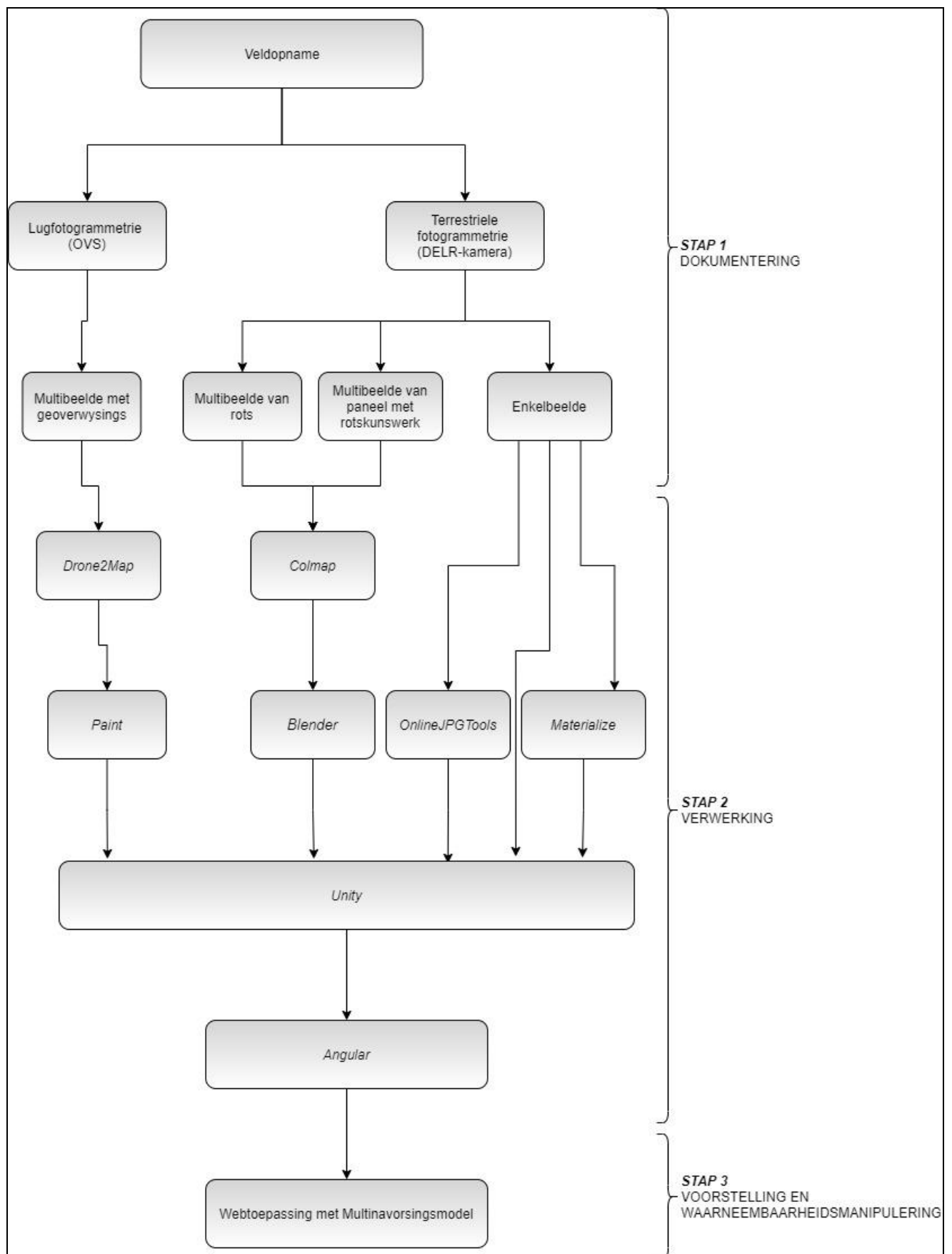
3.8 Beplande metodologiese vloei

Die metodologiese stappe van hierdie studie kan soos volg uiteengesit word (Figuur 3.7):

STAP 1: Dokumentering

Soos aangedui, word die veldopname opgemaak uit twee afsonderlike bene:

- Lugfotogrammetrie by wyse van 'n OVS is die eerste been van die dokumenteringsproses. Op 'n hoogte van ongeveer 24m word die multirotorhommeltuig in 'n "*mowing the lawn*"-formaat oor die rotskunsterrein gevlieg op 'n semi-outonome wyse deurdat die operateur die opstyg en landing hanteer, maar verder vlieg die tuig self volgens 'n voorafingesleutelde vlugplan.



Figuur 3.7: Metodologiese vloei van studie.

- Soos wat die tuig vlieg neem hy oorvleuelende foto's (aldus multibeeld fotogrammetrie) van die aardoppervlakte onder hom om tydens die verwerkingsfase die data te omskep na 'n ortomosaïek-kaart van Bosworth-rotskunsterrein.

Die bewegingsensors en aanboord GPS-ontvanger van die hommeltuig gaan geoverwysings aan elk van die geneemde foto's toewys. Hierdeur word aan elke foto 'n lengte- en breedtegraad waarde toegeken. Dus sal 'n GKS hier van toepassing wees, siende dat dit 'n 2D oppervlakte is.³⁸ Tesame met GBPe, word die metadata van die GKS deur *Drone2Map* gebruik om die plasing en oriëntering van die onderskeie beelde in die eindproduk te bepaal.

- Die tweede been is terrestriële fotogrammetrie by wyse van 'n draagbare DELR-kamera. Na afloop van die terreinopname met die OVS word foto's van die individuele rotse met die rotskunswerke op, geneem met 'n DELR-kamera. Beide multibeeld- en enkelbeeldtegnieke word toegepas. Vir hierdie been van die opname is vier rotse voorafgeïdentifiseer waarop elk van hierdie tegnieke op toegepas word:
 - Verskeie foto's vanuit verskillende hoeke en hoogtes word van die kompleet rotse geneem.
 - Verskeie foto's vanuit verskillende hoeke en hoogtes word van die panele met die rotskunswerke op, geneem.
 - Twee enkel foto's, parallel tot die rotspaneel, word geneem. Een met 'n liniaal aan die voet van die rotskunswerk/e en 'n foto sonder die liniaal.

STAP 2: Verwerking

In hierdie stap kan twee fases onderskei word, naamlik *Fase 1* waarin vorming van die verkrygte data in STAP 1 plaasvind. Daarna volg die byeenbring van die resultate, asook die inbring van die waarneembaarheidsmanipulering-opsies in *Fase 2*.

Fase1

- Die multibeelddata afkomstig van die multirotorhommeltuig word in *Drone2Map* ingevoer vir verwerking na 'n ortomosaïek-kaart. Na afloop van *Drone2Map* se verwerking van die data

³⁸ Sien 3.4.3.3 vir 'n verduideliking van GKSs.

word die 2D geskepte data gebruik om analiseringsdata in terme van die onderskeie rotse se areas wat hul beslaan, te bereken. Die ortomosaïek-kaart is beskikbaar vir uitvoer en word in *JPG*-formaat uitgevoer na *Paint* vir verdere verwerking.

- In *Paint* word die vier voorafgeïdentifiseerde rotse uitgesny en as selfstandige entiteite gestoor tesame met die kaart waaruit dit gesny is. Hierdie gestoorde kaart en vier rotse word dan in *Unity* ingevoer en gebou na weer 'n kompleet ortomosaïek-kaart van die terrein waarvan die vier rotse elk individuele funksies kry met betrekking tot data verskaffing.
- Beide stelle multibeeelddata (menende van die kompleet rotse, asook die panele) geneem deur die DELR-kamera word op hul beurt in *Colmap* ingevoer vir verwerking na onderskeidelik 3D rotsmodelle van die kompleet rotse en 3D oppervlakmodelle van die panele (beide deur 'n puntwolk en *mesh* te skep) van elke rots deur die toepassing van BGM. Hierdie modelle word dan in *PLY*-formaat uitgevoer na *Blender* vir verdere verwerking.
- In *Blender* word die 3D modelle van die individuele rotse en panele, gevorm in *Colmap*, afgerond deur dit netjies uit te sny om van die oortollige beelddata ontslae te raak. Vervolgens word die afgeronde modelle van hierdie rotse en panele in *FBX*-formaat uitgevoer en gestoor, gereed om in die volgende fase in *Unity* ingevoer te word.
- Hierna volg die gefotografeerde enkelbeelde se verwerking in Fase 1. Hierdie stilbeelde van die rotskunswerke, afkomstig vanaf die DELR-kamera, word op hul beurt op drie wyses hanteer:
 - Die digitale kleurfoto's met die liniaal aan die voet van die onderskeie petrogliewe, word in die volgende fase direk in *Unity* ingevoer in hul bestaande *JPG*-formate vir verdere verwerking.
 - 'n Monochroom beeld van elk van hierdie kleurfoto's word geskep in die aanlyn-omskakelingsagteware, *OnlineJPGTools*. Hierdie skepping word dan ook in *JPG*-formaat uitgevoer en gestoor vir latere verdere verwerkings in *Unity*.
 - Laastens, word elk van die kleurfoto's (wat gefotografeer is sonder die liniaal) om die beurt in *Materialize* ingevoer om 'n kleur sowel as monochroom 'vertolkte' 3D oppervlakuutbeelding te skep. Só 'n uitbeelding behels die simulاسie van 'n 3D oppervlakte vanaf 'n 2D foto deurdat die sagteware die inkepinge op die foto vertolk om 'n 3D uitbeelding te skep. Hierdie vertolking geskied na gelang van variasie in die kleur

van die rotsoppervlakte wat 'n aanduiding is van die verandering in die topografie van die betrokke oppervlakte. Hierdie vertolkte 3D oppervlaktebeeldings word in *JPG*-formaat gestoor en is dan gereed om ingevoer te word na *Unity* vir verdere verwerkings.

Fase 2

- In *Unity* word al die onderskeie komponente, geskep in *Fase 1*, ingevoer en as 'n geheel aanmekaar gekoppel om 'n verbruikersbeheerde verbindingsskanaal te vorm. *False Color* word ook as 'n derde party biblioteek ingebring en tesame met die digitale ligstraal (wat 'n beskikbare funksie van *Unity* is) word dit dan ook deel gemaak van hierdie verbindingsskanaal.

Die interaktiwiteit van die onderskeie komponente word daarna in *Unity* geskep en gekoppel aan die toegang daartoe deur virtuele knoppies wat gedruk en ander wat geskuif kan word om die waarneembaarheidsmanipulering-opsies uit te oefen.

Let wel, die interaktiwiteitskomponent van *False Color* kan eers verwesenlik word nadat toegang tot die nodejs-biblioteek verleen is deur *Angular* (dus moet die inbou van die kompleet model in *Angular* eers plaasvind in die verwerkingsproses alvorens *False Color* funksioneel sal wees). Tog word *False Color* reeds ingebou in die verbindingsskanaal wat in *Unity* aanmekaar gesit word.

Na afloop van die skepping van die verbruikersbeheerde verbindingsskanaal, word 'n *WebGL* van die aaneengeskakelde data in *Unity* as uitvoerproduk gebou.

- Hierdie *WebGL* word dan in *Angular* ingebou en al die funksies en inligting wat benodig word vir voorstelling in 'n webtoepassing word in hierdie webraamwerk geskep. Inligting soos ondermeer die landingsbladsy met sy subbladsye, addisionele data met betrekking tot die terrein en die aktivering van opsies wat tussen en binne bladsye uitgevoer kan word, word dus in *Angular* geskep.

STAP 3: Voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering

Die voorstelling van die multinavorsingsmodel in die webtoepassing kan in drie afdelings gedeel word, elk met hul eie visuele vorm en interaktiewe funksionaliteite (Tabel 3.2).

Tabel 3.2: Die drie afdelings van die multinavorsingsmodel.

<u>Afdeling A</u> Ortomosaïek-kaart	<u>Afdeling B</u> 3D rotsmodelle	<u>Afdeling C</u> 2D en 3D voorstellings en waarneembaarheidsmanipulering
Die ortomosaïek-kaart verskyn in die eerste skerm as die laai-opsie van Bosworth-rotskunsterrein gekies word op die landingsbladsy van die webtoepassing. <i>Interaktiewe funksionaliteite:</i> - Ruimtelike analise in terme van, ➤ vergroting/verkleining van die kaart; ➤ ligging; ➤ beslaande area.	Wanneer op een van die vier gemerkte rotse op die ortomosaïek-kaart geklik word, verskyn 'n opspringskerm met 'n 3D model van die bepaalde rots. Tesame met die 3D rotsmodel verskyn ook 'n 2D uitbeelding van die bepaalde rots, asook 'n beskrywing van die kunswerk/e op die rots. <i>Interaktiewe funksionaliteit:</i> - Rots kan geroteer word.	Wanneer op die 'Analyse'-knoppie geklik word in Afdeling B, word 'n nuwe skerm oopgemaak en verskyn die 2D kleurfoto as basis uitbeeldingsvorm in die middel van die skerm met verskeie knoppies rondom waarmee interaktiewe funksies en waarneembaarheidsmanipulering-opsies uitgevoer kan word. <i>Interaktiewe funksionaliteite:</i> Hierdie virtuele knoppies bied die vermoë om, - te wissel tussen die skerm met die ortomosaïek-kaart en die waarneembaarheidsmanipulering-skerm. - te wissel tussen die onderskeie uitbeeldingsvorme in die waarneembaarheidsmanipulering-skerm, naamlik 2D kleur, 2D monochroom, vertolkte 3D in kleur en monochroom, asook die 3D oppervlakmodel. - interaktiewe funksies uit te oefen met betrekking tot die kleurtoekenning, vergroting/verkleining, hellingshoek waarteen die oppervlakte gesien word, digitale ligstraal, asook die digitale diepte/hoogte van die petrogliewe. Elke uitbeeldingsvorm sal nie oor al die genoemde funksionaliteite beskik nie, maar wel oor dié wat gereken word om die beste resultate op die betrokke uitbeeldingsvorm te lewer.

3.9 Gevolgtrekking

Na aanleiding van hierdie hoofstuk is dit duidelik dat benewens die bestaande metodologiese benaderings in die veld van argeologie, daar steeds ruimte te vind is vir nuwe metodes en werkswyses soos opkomende tegnologie dit aandryf. Met die integrasie van verskillende vakgebiede binne só 'n tipiese argeologiese metodologie, moet balans gevind word tussen volhoubaarheid, beskikbare kundigheid, toerusting, asook sagteware. Die beplande metodologie maak voorsiening hiervoor op die volgende wyses:

- Die eenvoud van veral die dokumenteringstegnieke maak dat basies enige persoon dit kan uitvoer.
- Die enigste kundigheid wat in hierdie studie van buite die argeologiese veld vereis word, is 'n programmeerder.
- Die toerusting is ook geredelik bekostigbaar en behels slegs 'n OVS en 'n standaard DELR-kamera.
- Laastens, is die oogmerk van die studie om die bekostigbaarheid in berekening te bring, veral wanneer dit by die koste van sagteware kom. Dus is al die genoemde sagteware-instrumente wat gebruik word in hierdie studie gratis en oopbron sagteware, buiten *Drone2Map*.

Inaggenome hierdie beplande metodiek, is die studie ten volle volhoubaar op die langtermyn.

In hoofstuk 4 word gekyk na die praktiese uitvoering van hierdie metodologie, tesame met die probleme wat ervaar is tydens dokumentering en verwerking van die data.

HOOFSTUK 4

BOU VAN DIE MULTINAVORSINGSMODEL

4.1 Inleiding

In hierdie hoofstuk volg die implementering van die metodologie soos beskryf in Hoofstuk 3, naamlik die ontwikkeling van die multinavorsingsmodel. Daar word begin met 'n beskrywing van die oorwegingsfaktore met betrekking tot die mees aangewese tyd vir dokumentering van die terrein en rotskunswerke op Bosworth-plaas. Hierna volg 'n uiteensetting van die fotogrammetriese metodes wat gevolg is vir hierdie dokumentering tesame met die gepaardgaande uitdagings.

Met die data wat ingesamel is, kon die verwerking daarvan begin word en die proses en eindresultate van elke stap in die proses word in besonderhede beskryf en getoon. Die hoofstuk sluit af met 'n verduideliking van hoe hierdie geboude verbruikersbeheerde verbindingsskanaal ten laaste in die webtoepassing ter realisering gebring word.

4.2 Studioterrein

Vanweë die natuurlike elemente waaraan hierdie studioterrein blootgestel is, was deeglike beplanning nodig met betrekking tot die tyd van die jaar, asook die bepaalde tyd van die dag wat die terrein besoek en/of gedokumenteer moes word. So byvoorbeeld moet die Bosworth-rotskunsterrein in die somermaande liefers vermy word. Die rede hiervoor is eerstens die gevaar wat slange op die terrein kan inhou en tweedens val die Bosworth-terrein in 'n somerreënvalstreek wat 'n groot risiko vir weerlig inhou vanweë die blou-ysterklippe op die terrein. Ook was die moontlikheid van sterk wind 'n faktor wat in berekening gebring moes word met die besluit van wanneer die mees ideale omstandighede sou wees om die hommeltuig op te stuur. 'n Laaste faktor was die plantegroei op die terrein wat met sekere tye van die jaar meer ruig is en hul skaduwees wat dan oor sommige van die petrogliewe gewerp word. Inaggenome hierdie skaduwees, moes die mees gewenste tyd van die dag dan ook bepaal word vir die neem van die foto's met die draagbare digitale enkellens refleks (DELR)-kamera.

Dus, met al hierdie faktore inaggeneem, is tydens die voorafbesoeke aan die terrein besluit om die veldwerk aan die einde van die winter te doen, net ná Augustusmaand se winde waarvoor die streek bekend is. Ook was die gras waarmee die terrein oorgroei word dan gedeeltelik opgevrete deur beeste wat daar wy gedurende die wintermaande. Laastens, kon die risiko van weerlig tydens veldwerk uitgeskakel word omrede die reënseisoen eers in Septembermaand

begin in hierdie streek. Sien Hoofstuk 5 vir 'n beskrywing van Bosworth-terrein.

4.3 Lugfotogrammetrie

4.3.1 Toerusting

'n *DJI Phantom 4 Pro* multirotorhommeltuig met 'n 20 megapiekseel aanboord-beeldsensor is gebruik vir die digitale opname van die terrein. Hierdie hommeluig is toegerus met 'n infrarooi hindernissensor om te verhoed dat dit in 'n voorwerp vasvlieg en dan, belangrik vir hierdie studie, is die globale posisioneringstelsel (GPS) en 'n Russiesvervaardigde globale navigasie satellietstelsel (GLONASS) waaroor die hommeluig beskik. Hierdie GLONASS bepaal die tuig se posisie, asook die oriëntering van die foto's wat geneem word. Soos met alle opnames wat deur 'n hommeluig gedoen word, is van 'n kompleete onbemande vlugstelsel (OVS) gebruik gemaak vir die dokumentering van die Bosworth-rotskunssterrein. Dan, om die tuig in die lug te hou vir die duur van die vlug, was daar vier volgelaai 6000 mAh LiPo 2S batterye beskikbaar vir die hommeluig.

4.3.2 Dokumentering van die terrein met die onbemande vlugstelsel (OVS)

Die eerste fase van dokumentering het reeds op 'n vorige besoek aan die terrein plaasgevind, naamlik die insameling van die koördinaatpaar van elk van die vier voorafgeïdentifiseerde rotse met kunswerke. Vir dié doel is die selfoontoepassing, genaamd *My GPS location* ingespan. Die idee was om hierdie koördinaatpare in desimale grade (DG)³⁹ later op die ortomosaïek-kaart aan te dui vir die gebruiker as deel van die model se ruimtelike analiseringsvermoë. Let wel, na gesprekvoering met die SAEHA, het die bekendmaking van hierdie data geblyk om sensitiewe inligting te wees omrede dit die presiese ligging van die kunswerke weergee wat kan lei tot moontlike vandalisme. Dus is besluit om eerder nie die koördinate te publiseer nie.

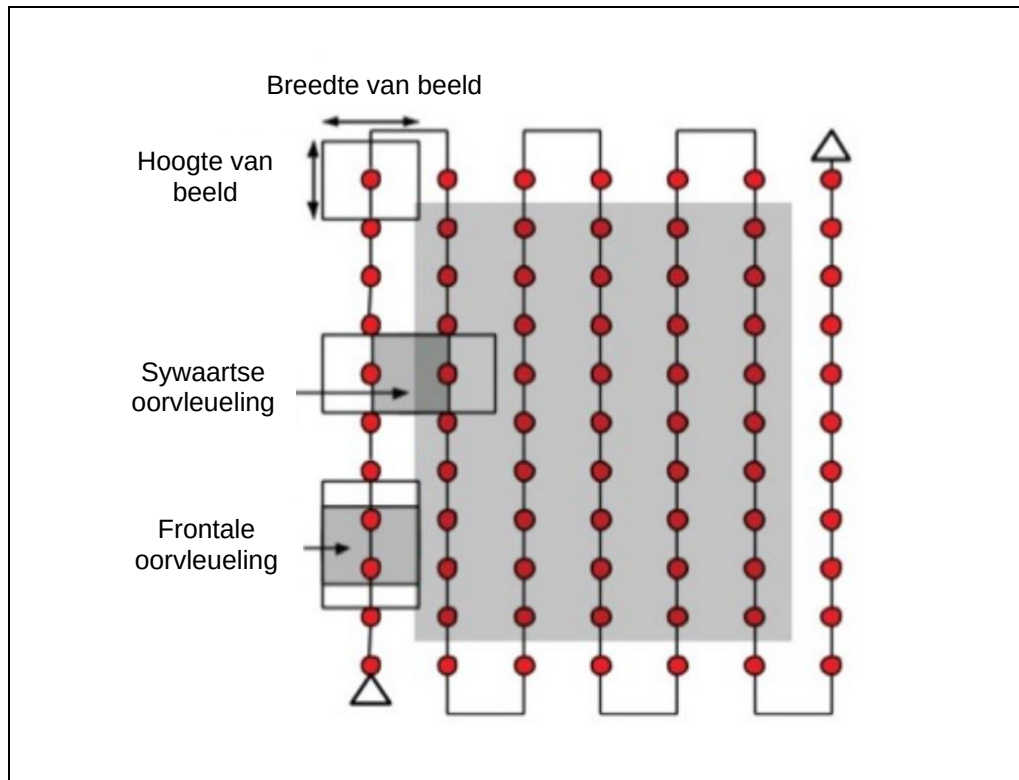
Op die beplande dag vir die terreinopname met die OVS, is reeds vroeg in die oggend begin om die terrein voor te berei vir die opname deur dertig grondbeheerpunte (GBPe) uit te sit, eweredig verspreid oor die terrein. Die vlug van die tuig is beplan vir 12:00nm op 'n wolkllose dag vroeg in September 2021 met 'n verwagte windspoed van 13-18km/h. Die rede vir die bepaalde tyd van 12:00nm was om so min as moontlik skaduwees in die opgeneemde beeldmateriaal te hê.

DJI se GS Pro-toepassing vir hommeluigbedrywighede is gebruik om 'n vlugplan op die terrein

³⁹ Sien 3.4.3.1 vir 'n bespreking van geprojekteerde koördinaatstelsels (GKSs).

self in te sleutel by wyse van skermnavigasie van die terrein. Die ‘*mowing the lawn*’-vlugplan (Figuur 4.1) is vir die terrein gekies en gestel op die volgende parameters:

- Foto’s word geneem teen ‘n 90° hoek (nadir-aansig).
- Beide die frontale en sywaartse oorvleulingsverhoudings is gestel op 70%.
- Vlughoogte van 24,384m (80vt).



Figuur 4.1: Die vlugplan wat gevolg is, naamlik “*mowing the lawn*”.

Met inagnome van die breedte van die sensor (Sw), die brandpunt (Fr), vlughoogte (H), breedte van die beeld in pieksels (imW) en die hoogte van die beeld in pieksels (imH), is die grondmonsterafstand (GSD) bereken om 1.26cm te wees (Tabel 4.1). GSD kan op sy beurt omskryf word as die afstand tussen die twee middelpunte van aangrensende pieksels. Hoe kleiner die afstand, hoe hoër is die ruimtelike resoluusie van die beeld. Die gemiddelde afstand is tussen 1,5 en 2,5cm vir fotogrammetrie met ‘n OVS (Vision Aerial, 2021).

Na aanvang van die vlug het die hommeltuig ongeveer 1 uur in die lug gespandeer om die geïdentifiseerde 33 000m² terrein te dokumenteer in terme van foto’s wat geneem is, asook die stoor van die geoverwysings van hierdie geneemde foto’s. Na afloop van die vlug is ‘n totaal van 561 foto’s deur die tuig se aanboordkamera geneem wat op ‘n veilige digitale (SD)-kaart aanboord die tuig gestoor is.

Tabel 4.1: Berekening van die GSD.

Calculator		
Sw	25,4	= the sensor width of the camera (millimeters)
FR	9	= the focal length of the camera (millimeters)
H	24,384	= the flight height (meters)
imW	5472	= the image width (pixels)
imH	3648	= the image height (pixels)
GSD	1,26	= <u>Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)</u>
Dw	69	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	46	= height of single image footprint on the ground (meters)

4.3.2.1 Probleme wat ondervind is tydens dokumentering van die terrein

Verskeie probleme is ervaar net voor, asook tydens opname van Bosworth-rotskunsterrein. Hierdie probleme het dan ook tot gevolg gehad dat die terrein nie na wense gedokumenteer kon word nie (Figuur 4.2) vanweë 'n tekort aan batterykapasiteit en die ruil van batterye:



Figuur 4.2: Versteurde beelde in die geskepte ortomosaïek-kaart na aanleiding van die rukwinde wat ervaar is tydens die dokumentering van die terrein.

- Met die beplande aanvang van die vlug is sagteware probleme ervaar in terme van 'n gebrek in kommunikasie tussen die hommeltuig en die grondbeheerstasie (GBS). Daarom kon die vlug eers teen 1:30nm begin word nadat die digitale opstelling van die vlug hersien

is. Hierdie sagteware probleem het tot gevolg gehad dat die eerste battery nie meer op 100% kapasiteit was met aanvang van die vlug nie.

- Tydens die vlug, met die ruil van die batterye, het die sagteware dan ook nie altyd die fotografering van die multifoto's in die korrekte posisie hervat het nie. Hierdie aspek het gelei tot gedeeltes aan die kante van die terrein wat nie genoeg oorvleuelende foto's gelewer het om die gewenste ortomosiek-kaart van die voorafbeplande opname terrein te kon skep nie (Figuur 4.3).



Figuur 4.3: Die voorafbeplande opname terrein (wit area) met die gedeelte van die ortomosaïek-kaart wat wel geskep kon word met die ingesamelde data (sien 4.3.3.1), bo-oor.

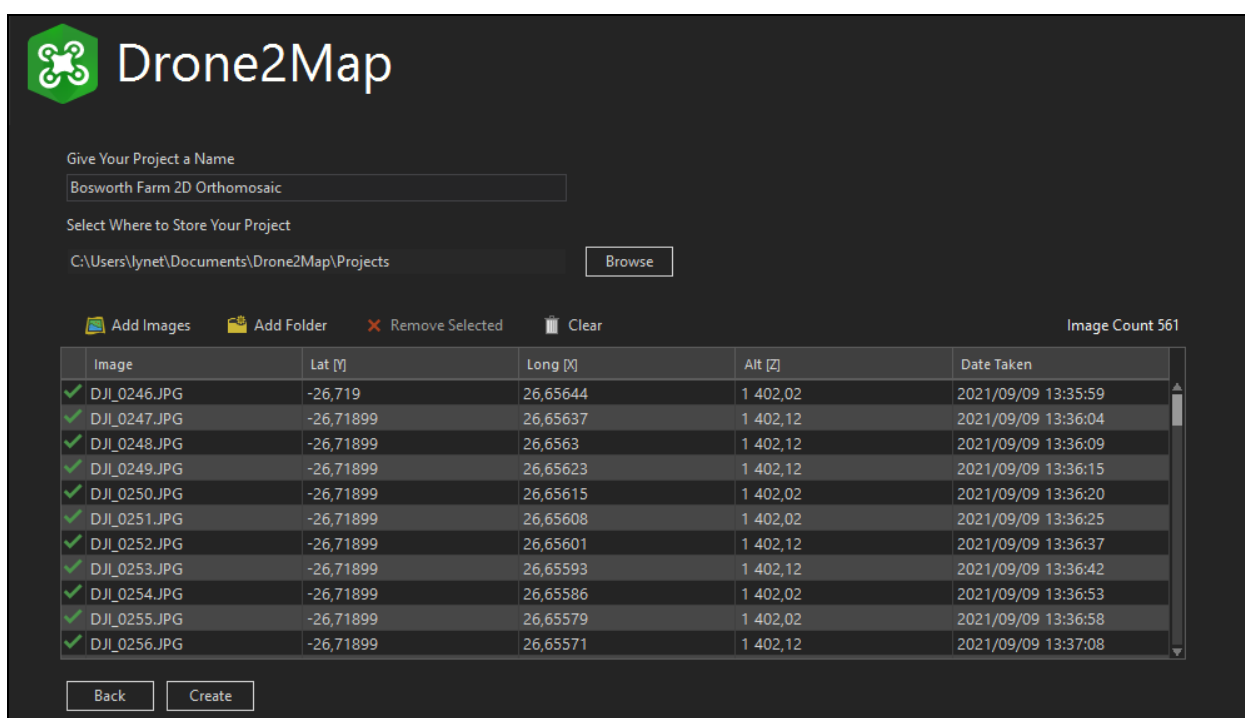
- Laastens, het rukwinde met tye opgesteek wat daartoe gelei het dat die hommeltuig langer geneem het om te stabiliseer voordat 'n foto geneem kon word. Hierdie probleem het nie net tot gevolg gehad dat sommige foto's nie teen 'n presiese hoek van 90° geneem is nie, maar het ook bygedra tot verminderende batterykapasiteit vir die oorblywende gedeelte van die vlug. Nóg 'n gevolg hiervan was dan ook dat gedeeltes van die terrein nie doeltreffend deur die sagteware gebou kon word nie, soos gesien kan word in Figuur 4.2.

Nietemin, ten spyte van hierdie probleme wat tydens opname ondervind is, is die vier voorafgeïdentifiseerde rotse tog gedokumenteerd en kon die studie voortgaan met die data wat wél ingesamel is.

4.3.3 Fase 1 verwerkings

4.3.3.1 Verwerkings in *Drone2Map*

In *Drone2Map* is begin deur die '2D Full'-opsie te kies as die uitvoerproduk se formaat. Daarna is die 561 foto's wat deur die OVS van die Bosworth-rotskunsterrein geneem en gestoor is, in die sagtewarepakket *Drone2Map* gelaai vir die ortorifikasie van die multifoto's. Die einddoel was om 'n ortomosaïek-kaart van die terrein te skep. Ná die uitvoer-lêer vir die ortomosaïek-kaart gespesifiseer is, is die lêer met die multifoto's gelaai in *Drone2Map*. Die sagteware onttrek dan die koördinate van elke foto wat in die metadata van die lêer gestoor is (Figuur 4.4). Hierdie metadata is essensieel vir die ortorifikasie proses.

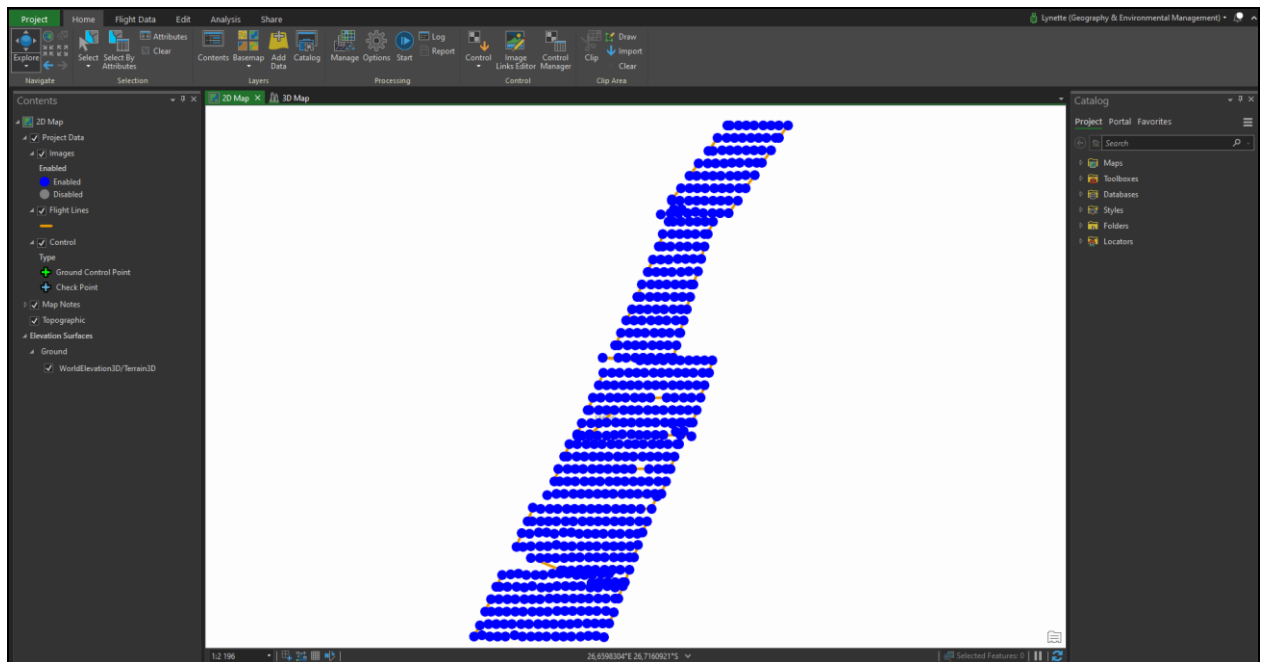


Figuur 4.4: Die spesifisering van die uitvoer- en invoer-lêers (met verwysing na elke foto se koördinate) in *Drone2Map*.

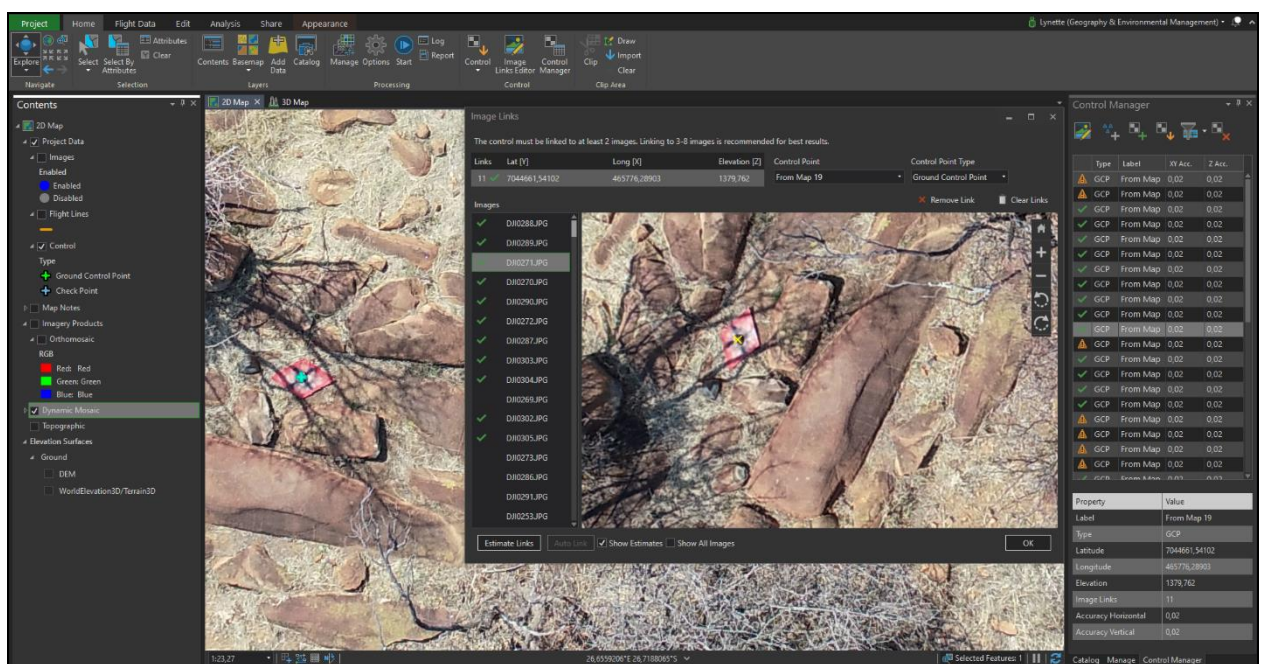
Hierna bied die sagteware 'n uitbeelding van die projekdata soos bereken vanaf die ingevoerde metadata. Hierdie uitbeelding dui die vluglyne aan tesame met die posisie van die hommeltuig met die neem van elke foto. Soos gemerk kan word in Figuur 4.5, loop al die vluglyne in die betrokke geval nie parallel tot mekaar nie en oorvleuel sommige posisies van die hommeltuig tydens die neem van die foto's. Hierdie afwykings in die vluglyne kan toegeskryf word aan die rukwinde, asook die posisie waarin die vlug elke keer hervat is met die ruil van die batterye.

Hierna is die sagteware instruksie gegee om met die stappe te begin ter skepping van 'n ortomosaïek-kaart. Die eerste stap hiervan behels die skep van 'n dinamiese mosaïek, menend

dat alhoewel elke foto as 'n individuele beeld uitgebeeld word, dit in hierdie stap in die geallokeerde posisie geplaas word in terme van die inligting vervat in die metadata. Met die geskepte dinamiese mosaïek was die volgende stap om in '*Control Manager*' die dertig GBPe op die mosaïek te identifiseer en hul op elke foto waarin hul voorkom te merk (Figuur 4.6). Hierdie stap het ten doel gehad om die skakeling tussen sleutelpunte op die kaart te optimaliseer sodat daar nie uitsluitlik gesteun word op die sagteware se outomatiese wyse van identifisering en skakeling nie.



Figuur 4.5: Vlughlyne en posisies van die hommeltuig met die neem van elke foto.



Figuur 4.6: Die identifisering en skakeling van GBPe in *Drone2Map*.

Ná al die GBPe op die mosaïek geskakel is met die punte in die onderskeie foto's, is die opsie gekies dat die sagteware die ortomosaïek-kaart moet skep, opgemaak uit 'n raster struktuur.⁴⁰ Dus, met inagnam van die toegevoegde data van die GBPe, is die onderskeie beelde gekombineer om 'n enkele vloeiende beeld te skep, aldus 'n ortomosaïek-kaart. Na afloop van hierdie proses, was die resultaat 'n kaart met growwe rante. Om hierdie geskepte ortomosaïek-kaart dus netjies af te rond, is die '*Clip Area*'-instrument van *Drone2Map* toegepas (Figuur 4.7).



Figuur 4.7: Die geskepte ortomosaïek-kaart van die rotskusterrein op Bosworth-plaas en die afronding by wyse van die '*Clipping Area*'-instrument.

Hierna is die kaart in *JPG*-formaat uitgevoer en gestoor vir verdere verwerking in *Paint*.

4.3.3.2 Verwerking in *Paint*

Die 80MB ortomosaïek-kaart is in *Paint* ingevoer waarna met die uitsny van die vier rotse begin kon word. Die rede vir hierdie stap is dat dit nodig is om die rotse as entiteite te skei van die kaart vir die doel dat hul later in *Unity* as selfstandige entiteite, sekere funksies kon verkry. Deur dus van die sny-funksie in *Paint* gebruik te maak, is die vier rotse elk uitgesny en afsonderlik

⁴⁰ Sien 3.5.1 vir 'n verduideliking hiervan.

van die uitgesnyde kaart gestoor vir Fase 2 van verwerkings wat dan in *Unity* plaasgevind het.

4.4 Terrestriële fotogrammetrie

4.4.1 Toerusting

Die DELR-kamera wat gebruik is vir die terrestriële fotogrammetrie, is 'n *Canon EOS 760D* toegerus met 'n komplementêre metaaloksied halfgeleiersensor (*CMOS*) (grootte: 22,3 x 14,9mm; effektiewe resolusie: 24,2 megapiëksels; grootte van piëksels: 3.72 μ m).

4.4.2 Dokumentering van die voorafgeïdentifiseerde rotse met die digitale enkellens refleks (DELR)-kamera

Omrede die skaduwees van die doringbome op die terrein vanaf 12:00nm geleidelik oor die rotse met die renosters en sjamaan kunswerke op gewerp word, is reeds 8:00vm begin met die neem van die foto's. Elk van die vier individuele rotse is om die beurt op dieselfde wyse gefotografeer deur eerstens Tegniek 1 toe te pas, gevolg deur Tegniek 2 en laastens Tegniek 3, voordat na die volgende rots met sy rotskunswerk/e beweeg is:

Tegniek 1

Tussen 82 en 166 foto's is geneem van elk van die vier rotse. Eers is die kamera so laag as moontlik gehou en die fokus gestel dat die rots wat gefotografeer word, die venster van die beeldsoeker vul met slegs 'n klein addisionele gedeelte beskikbaar in die beeldraam rondom die beoogde area. Die rede vir hierdie addisionele ruimte waarvoor voorsiening in die beeldraam gemaak word, is sodat daar genoegsame speling is vir die beeldgebaseerde modellering (BGM) wat sou volg tydens verwerking van die data.

Daarna, met die kamera wat deurentyd gehou is teen ongeveer dieselfde grade bo die grond, is in 'n sirkelvorm (360°) om die rots beweeg en foto's geneem met die gedagte dat elke foto se beeld ten minste 60% moet oorvleuel met die voorafgaande foto. Ná voltooiing van die eerste sirkel is die kamera 'n paar grade hoër gehou en is die proses rondom die rots herhaal. Op dieselfde wyse is tussen 5 – 7 sirkels om elke rots voltooi met die kamera wat met die aanvang van fotografering van elke nuwe sirkel 'n paar grade hoër gehou is as die hoogte in die pas voltooide sirkel (Tabel 4.2). Die hoogte van die rots was die bepalende faktor met vastelling van die hoeveelheid sirkels wat voltooi moes word: Hoe hoër die rots, hoe meer sirkels was nodig. Dan, na aanleiding van 'n volhoubare liggaamlike posisie met elke sirkel, is die onderskeie hoogtegrade vir fotografering bepaal met die idee dat die grade so ver as moontlik eweredig

gespaseer moet wees tussen die verskillende hoogtegrade. Ook, hoe groter die volume van die rots, hoe meer foto's is geneem. Die rede hiervoor is dat nie net die hoogte van die rots 'n faktor was met betrekking tot die hoeveelheid foto's wat geneem is nie, maar ook die omtrek omrede die foto's moes oorvleuel.

Tabel 4.2: Aantal foto's van elke rots geneem per hoogtegraad.

Rots (Afstand vanaf rots met aanvang van fotografering)	Aantal foto's geneem per hoogtegraad (met rotsoppervlakte as basis-hoogte) vir elke 360° fotodatastel						
	7°	13°	16°	22°	26°	33°	40°
<u>BF01-01</u> (2,5m)	28	25	22	20	18	14	9
<u>BF02-01</u> (1,7m)	17°	26°	35°	40°	42°	45°	-
	38	34	30	26	22	16	-
<u>BF03-01</u> (2,5m)	12°	25°	32°	39°	42°	-	-
	23	19	17	14	9	-	-
<u>BF04-01</u> (1,1m)	15°	24°	33°	39°	42°	45°	-
	28	25	22	19	16	11	-

Verdermeer is daar deurgaans gepoog om tydens fotografering in dieselfde radius om die rots te beweeg tot die bepaalde sirkel voltooi is, waarna effens nader beweeg is vir die neem van die volgende sirkel se stel foto's. Die kriteria vir die bepaling van hierdie afstand tussen die rots en die kamera tydens die neem van elke sirkel se stel foto's, was dat die kompleet rots die beeldsoeker se venster tot dieselfde mate moes vul as in die vorige posisie. Dan ook, die bepaling van die sluiterspoed, f-stop en ISO-verstelling vir elke foto is aan die geoutomatiseerde berekenings van die kamera se sagteware oorgelaat. Let wel, hierdie inligting rakende elke foto is beskikbaar vir bestudering onder die '*properties*'-opsie van die foto's nadat die beelddata afgelaai is op die rekenaar.

Tegniek 2

Na afloop van die dokumentering van die eerste kompleet stel multifoto's (dus al die betrokke sirkels) van 'n rots, is nader aan die rots beweeg en gefokus om die venster van die beeldsoeker te vul met slegs die petrogliewe wat gefotografeer wil word. Tesame met die bepaalde petrogliewe is weereens 'n klein addisionele ruimte rondom die kunswerk binne die beeldsoeker se venster gelaat vir beter resultate tydens verwerking van die multibeelddata. Deur dieselfde proses van fotografering te volg as met Tegn timer 1, is tussen 43 en 54 foto's van

elke rots se paneel met petrogliewe, geneem. Let wel, met hierdie tegniek is slegs 3-4 sirkels per rots voltooi en was die grade wat die kamera met die begin van elke sirkel se fotograferingsessie hoër gehou is, minimaal. Die rede hiervoor is dat slegs die paneel met die petrogliewe op gefotografeer is en nie weer 'n kompleet rots nie, dus is die oppervlakte van die entiteit waarop gefokus was in hierdie geval aansienlik kleiner. Daarom, vanweë die minder sistematiese wyse van berekening van die hoek waaruit elke foto in 'n sirkel geneem is, asook die minimale speling in die hoogtegrade tussen elke sirkel, is die notering daarvan nie as doeldiendend gesien tydens hierdie tegniek se fotografering nie.

'n Kwessie wel met die toepassing van die betrokke tegniek was dat die skaal van sommige van die kunswerke van só 'n aard is dat nie genoeg besonderhede in elke foto vasgevang kon word nie, soos in die geval van BF01-01 en BF03-01. Ter oplossing hiervan is die kunswerke op hierdie twee rotse in meer as een gedeelte opgedeel vir die toepassing van hierdie tegniek. Om die resultaat hiervan te illustreer is 'n eerste gedeelte van die kunswerke op BF01-01 en BF03-01 gedokumenteer.

Tegniek 3

Met die uitvoer van die laaste fotografiese tegniek, is eerstens 'n liniaal wat sentimeters aan die eenkant en duime aan die anderkant aandui, geplaas aan die voet van die betrokke kunswerk/e. Hierna is die kamera so na as moontlik parallel gehou met die paneel se oppervlakte sodat die perspektiewe middelpunt van die lens gefokus was op die sentrale gedeelte van die betrokke rotskunswerk/e, waarna 'n foto geneem is. Op dieselfde wyse is 'n tweede foto geneem sonder 'n liniaal in die beeldsoeker.

4.4.2.1 Uitdagings tydens die dokumentering van die individuele rotse en kunswerke

Die grootste uitdaging tydens fotografering was om reg te kon posisioneer vir elke foto omrede bome rondom sommige van die rotse, asook die ongelyke terrein, dit gekompliseer het (Figuur 4.8). Hierdie uitdagings het gelei tot die soms oneweredig verspreiding van die geneemde multifoto's (soos gesien kan word in Figuur 4.10). Tweedens was die skaal van drie van die rotse se kunswerke van só aard, dat die foto's wat met die toepassing van Tegniek 3 geneem is, gefotografeer is vanaf 'n leer wat langs die rotse opgeslaan is. Op dié wyse kon die totale korpus petrogliewe op die betrokke rots in die raam van die beeldsoeker ingepas word. Ten nadeel hiervan was dat sommige van Tegniek 3 se foto's nie presies parallel tot die rotsoppervlakte geneem kon word nie.



Figuur 4.8: 'n Tak van 'n boom kan regs in die foto gesien word, asook die ongelyke terrein rondom BF01-01.

4.4.3 Fase 1 verwerkings: Multibeeld fotogrammetrie

4.4.3.1 Verwerkings in *Colmap*

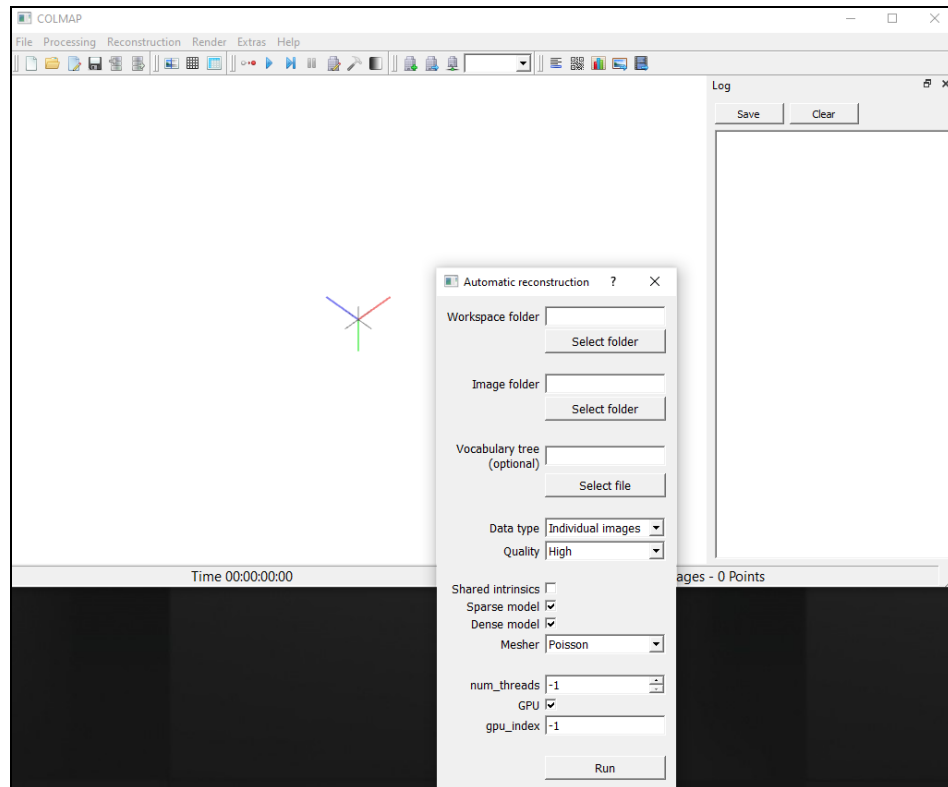
Beide Tegniek 1 en 2 se multifoto's word met Fase 1 in *Colmap* verwerk in terme van BGM. Die wyse van verwerking is soortgelyk aan mekaar, maar met diverse eindprodukte.

Tegniek 1 se data

Die eerste gedeelte van die verwerkingsproses behels die skep van 'n 3D model van elk van die vier rotse. Hiermee word die eerste stel multibeeelde, naamlik die stel foto's geneem van die kompleet rots BF01-01 in *Colmap* ingevoer in hul oorspronklike *JPG*-formaat. Die invoer en wyse van dataverwerking in *Colmap* is uiters eenvoudig in die sin dat die proses tot 'n groot mate geoutomatiseerd is. Nadat *Colmap* oopgemaak is, is die outomatiese opsie onder die '*Reconstruction*' opskrif van die geopende venster gekies. Hierdie opsie open op sy beurt 'n kleiner venster (Figuur 4.9) waarin uitvoer- en invoer-leërs gespesifiseer moet word, asook die keuse tussen:

- Die tipe data wat ingevoer gaan word.
- Kwaliteit van die BGM in terme van ekstreem, hoog, medium en laag. Die verskillende kwaliteite se 3D vormingstyd verskil ook aansienlik van mekaar.

- Tipe vormingsopsies.
- *Delaunay* of *Poisson* oppervlakrekonstruksie van die model.
- Die gebruik van die rekenaar se plaaslike grafikaverwerkingseenheid (*GPU*) of 'n sekondêre eenheid aangesien die verwerkings 'n kragtige *GPU* vereis.

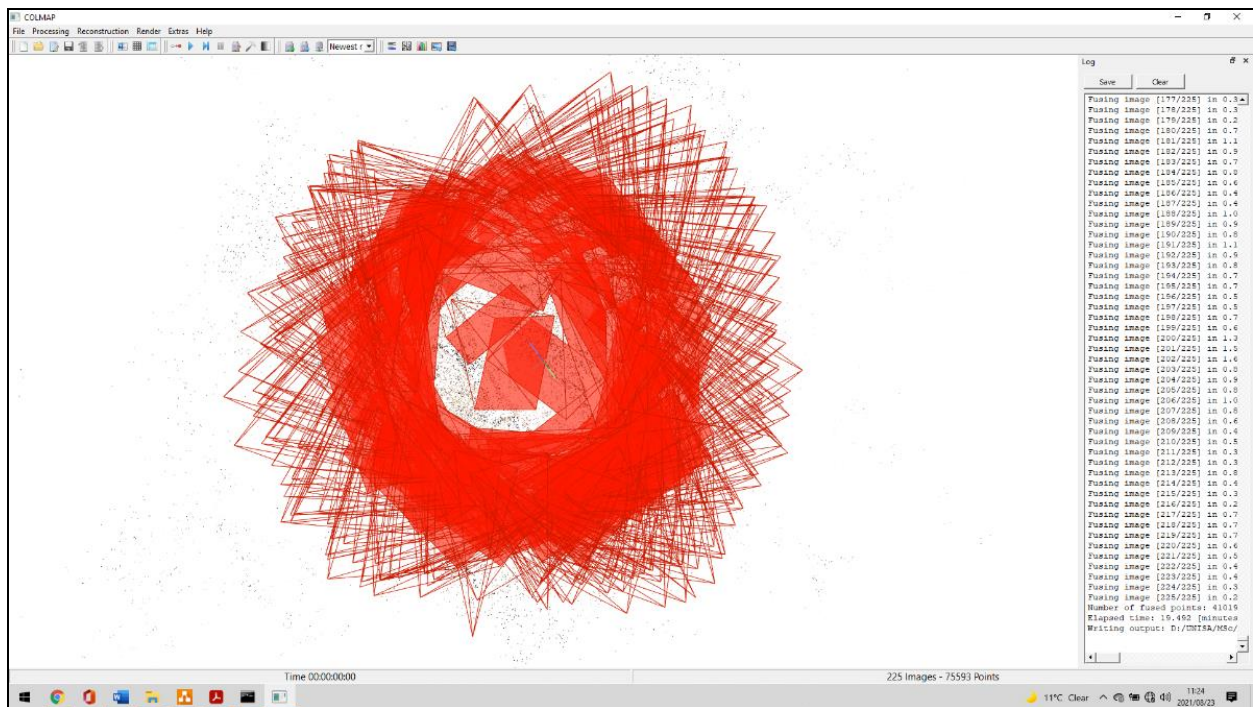


Figuur 4.9: Voorverwerkingsopsies

Nadat 'n spesifieke uitvoer-leër vir die plasing van die gevormde 3D model van die rots geskep en in hierdie venster gespesifiseer is, word die invoer-leër met die stel foto's opgelaa. Die data is daarna ingevoer as '*individual images*' met '*high*' as die keuse tot vormingskwaliteit. Die rede vir laasgenoemde keuse is dat voorafproefnemings getoon het dat die ekstreemkwaliteit-opsie nie funksioneer vir hierdie spesifieke toepassing van die sagteware nie. Die rede hiervoor is onbekend, maar die resultate tydens proeflopies het geen gevormde puntwolk of *mesh* gelever nie en daarom is die tweede hoogste kwaliteit gekies vir die BGM in hierdie studie, naamlik '*high*'. Die *Poisson* oppervlakrekonstruksie is dan ook gekies vir 'n meer gladde afwerking van die 3D model. Wat die '*GPU*'-opsie betref, omrede die rekenaar wat vir die verwerkings gebruik word wel oor 'n kragtige *GPU* beskik in terme van 'n GTX1650 met 'n klokspoed van 1 485MHz, is dié opsie afgemerk. Dan, die getalle wat by verstek gegee en ook aanbeveel word vir optimum verwerking, naamlik -1 vir '*num-threads*' en '*gpu_index*' is so gehou. Met die '*Run*'-opsie gekies, het die vorming van die 3D model by wyse van BGM, begin.

Na afloop van die modellering, toon die sagteware die metadata soos geprosesseer in terme

van die hoeveelheid foto's wat ingevoer is, asook vanwaar (hoek en afstand vanaf rots) die foto's geneem is (Figuur 4.10).



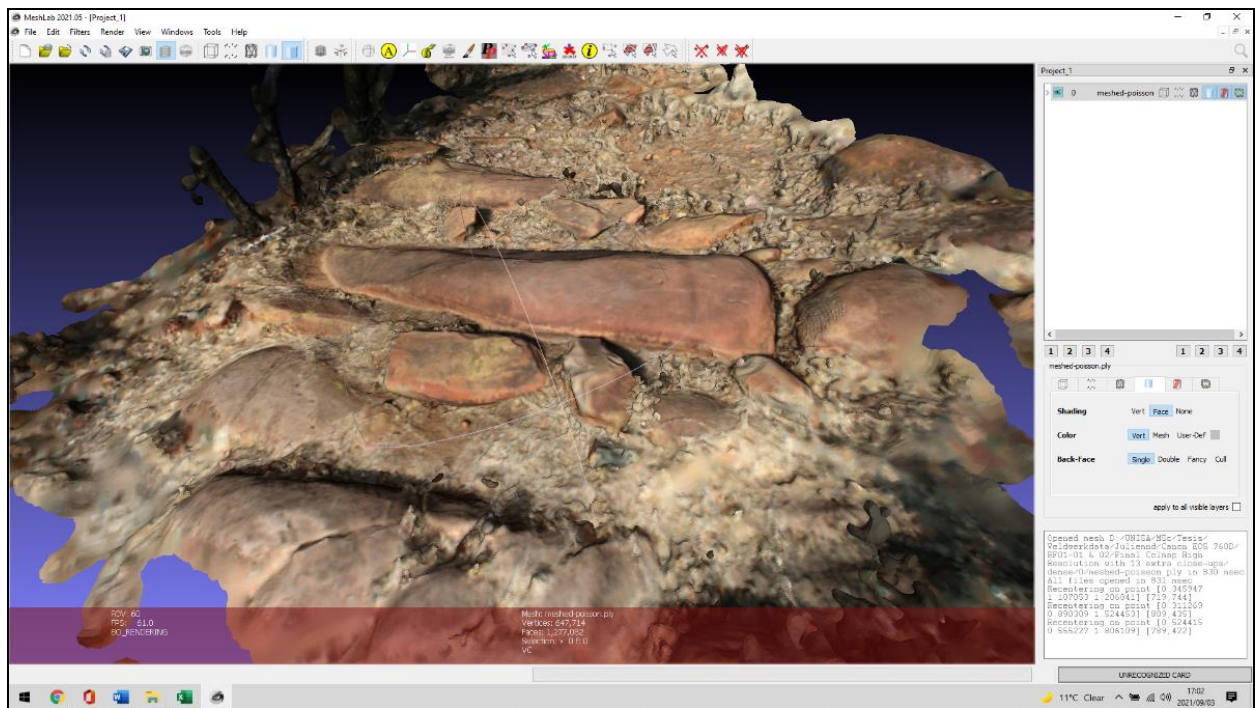
Figuur 4.10: Tydens BGM bereken die sagteware die hoeke vanwaar die foto's geneem is, asook die area wat deur die betrokke foto gedek word. Hierdie is 'n voorbeeld van dié berekende inligting soos vertoon na afloop van Colmap se verwerkings - BF01-01 se data in hierdie geval.

Op dieselfde wyse is hierdie metode op al vier stelle foto's van die kompleet rotse toegepas. Die volgende tabel (4.3) dui aan hoe lank dit die sagteware geneem het om 'n 3D model te vorm van elke rots in terme van die aantal foto's wat van elk ingevoer is.

Tabel 4.3: Verwerkingstyd van data per kompleet rots.

Rotse	Aantal foto's geneem en ingevoer vir BGM	Verwerkingstyd in ure
BF01-01	136	6
BF02-01	166	6
BF03-01	82	2
BF04-01	121	3½

Die 3D modelle van die kompleet rotse soos geskep tydens hierdie verwerkings (Figuur 4.11), sal voorts na verwys word as 3D rotsmodelle.



Figuur 4.11: Die geskepte 3D rotsmodel van BF01-01 oopgemaak in *Meshlab*. Die rots in hierdie 3D model moet nog afgerond word in *Blender*.

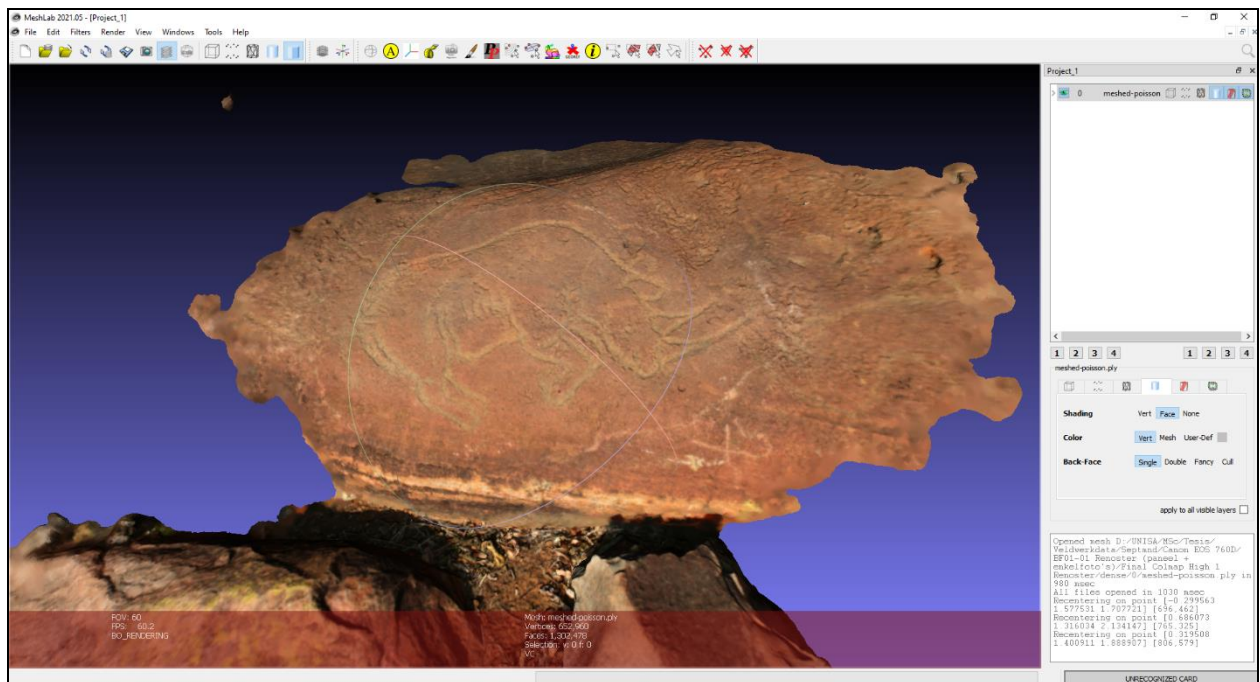
Tegniek 2 se data

Hierna het die 3D modellering van die vier studierotse se betrokke panele met kunswerke op, gevolg. Hierdie data is op dieselfde wyse verwerk as Tegniek 1 se data: Elke stel foto's is om die beurt ingevoer en dieselfde opsies is in *Colmap* gekies (behalwe vir alternatiewe invoer-en uitvoer-leërs). Hierna kon BGM begin en geskepte 3D modelle van die betrokke panele is gelewer as eindresultate. Tabel 4.4 toon die BGM-data van hierdie verwerkings.

Tabel 4.4: Verwerkingstyd van data per rotspaneel.

Rotspanele	Aantal foto's geneem en ingevoer vir BGM	Verwerkingstyd in ure
BF01-01	45	1½
BF02-01	54	2½
BF03-01	46	1½
BF04-01	43	1¼

Die 3D modelle van die panele met die petrogliewe op soos geskep tydens hierdie verwerkings (Figuur 4.12), sal voorts na verwys word as 3D oppervlakmodelle.



Figuur 4.12: Die geskepte 3D oppervlakmodel van BF01-01 oopgemaak in *Meshlab*. Hierdie rotspaneel moet ook nog afgerond word in *Blender*.

Resultate

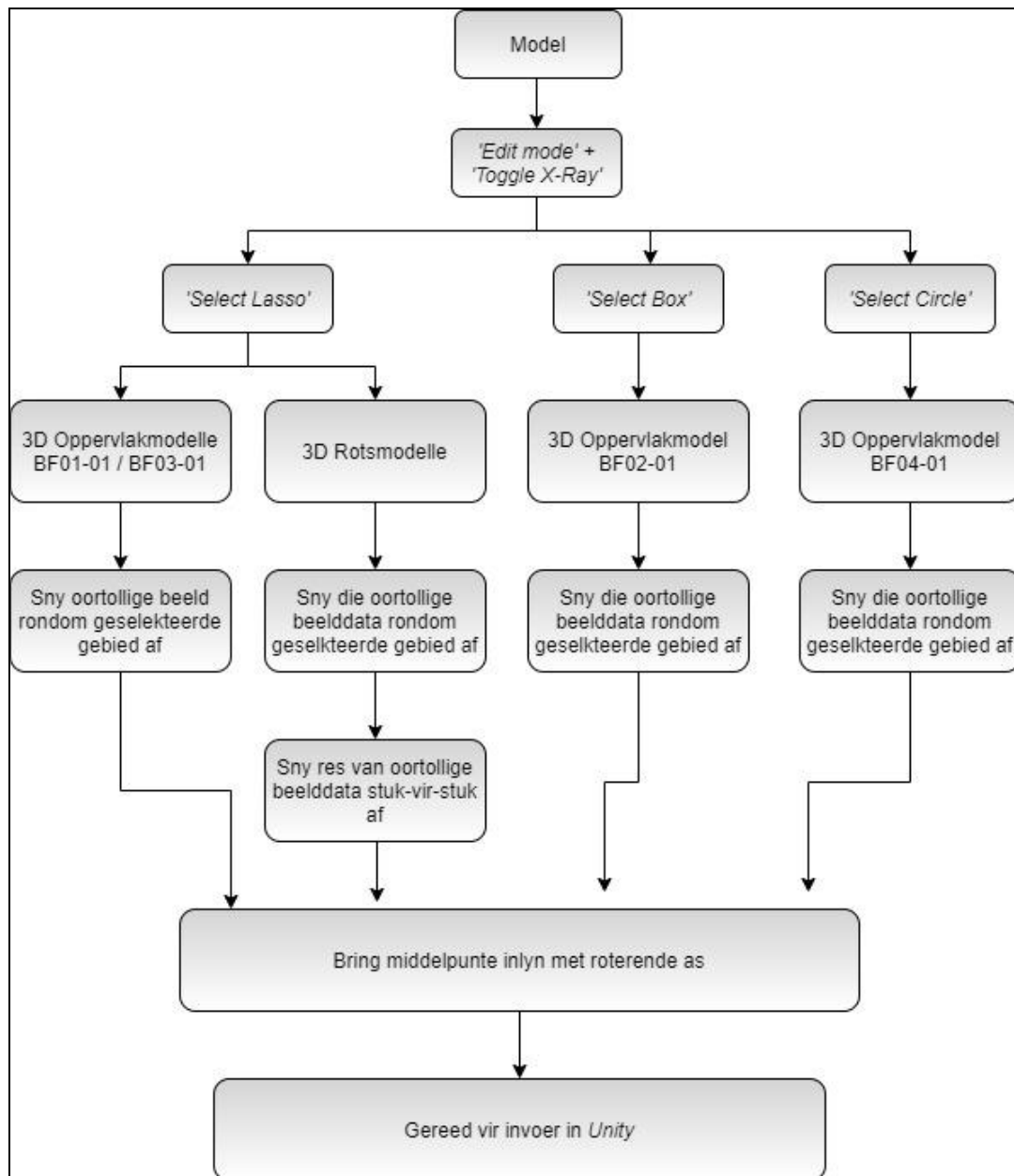
Na afloop van die BGM van beide tegnieke se datastelle, is die geskepte puntwolke en *meshes* in die voorafgespesifiseerde uitvoer-leërs gestoor. Hierna het verdere verwerking in *Blender* plaasgevind waar elk van hierdie geskepte 3D modelle afgerond is deur dit netjies uit te sny.

4.4.3.2 *Blender* as afrondingsinstrument

Die afrondingsproses in *Blender* is toegepas op beide tegnieke se dataverwerkings. In beginsel is hierdie verwerkings dieselfde vir beide tegnieke, menende die 3D rotsmodel en die 3D oppervlakmodel, en kan die uiteensetting daarvan in Figuur 4.13 gesien word.

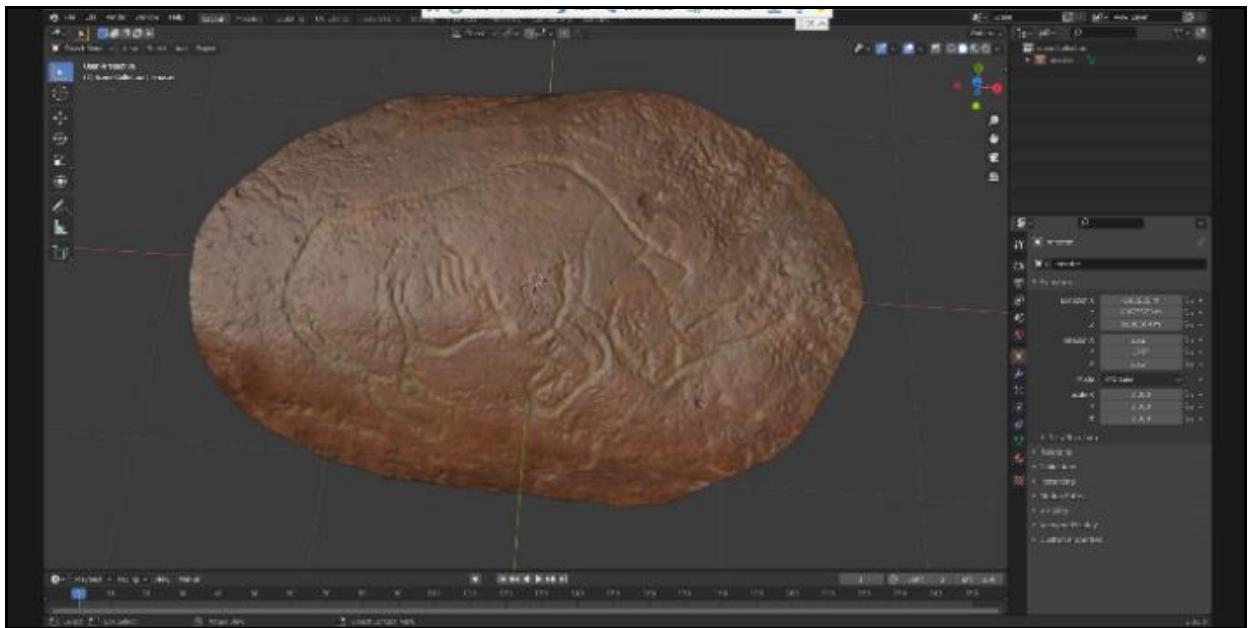
Eerstens, is die onafgewerkte 3D model in sy *PLY*-formaat (soos uitgevoer deur *Colmap*) ingevoer in *Blender*. Om die rante van die model af te rond was dit nodig om die rots/kunswerke netjies uit te sny in '*Edit Mode*' met die '*Toggle X-Ray*'-funksie aangeskakel om seker te maak daar word deur al die lae van elke geselekteerde gedeelte gesny. Sonder hierdie funksie sal slegs die gedeeltes wat visueel vanuit 'n bepaalde hoek sigbaar is, afgesny word. Die snyproses is begin deur eerstens die '*Select Lasso*'-opsie te kies in stede van die '*Select Box*'- of '*Select Circle*'-opsie op die nutsbalk onder die '*Select Box*'-funksie. Hierdie geselekteerde opsie behels die sny by wyse van die vryhand-tegniek, terwyl die ander twee opsies slegs óf in reguitlyne óf sirkels sny. Let wel, na aanleiding van die vorm van die kunswerke in BF02-01 en

BF04-01, is weer onderskeidelik die '*Select Box*'- en '*Select Circle*'-opsies gekies vir die uitsny/af rond van slegs húl 3D oppervlakmodelle.



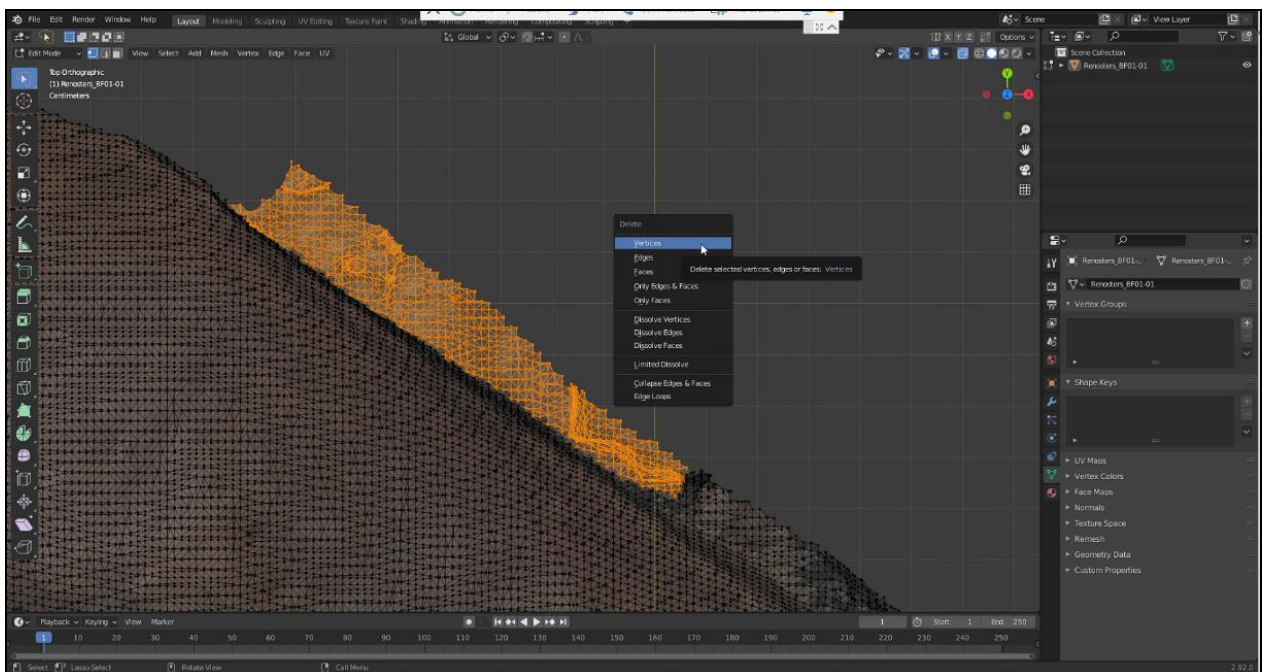
Figuur 4.13: Afrondingsproses in *Blender*.

Die fisiese sny-tegniek behels die trek van 'n semi-akkurate grens om die rots, of dan kunswerke in die geval van die 3D oppervlakmodelle, waarna '*Ctrl i*' op die sleutelbord gedruk is om res van die beeld rondom die omgrensde gebied te selekteer. Hierdie geselekteerde gebied is dan uitgevee en die 3D oppervlakmodel was gereed vir die volgende stap waartydens die model se middelpunt in lyn gebring is met die as waarom dit gaan roteer ter uitvoering van sy funksionaliteit in die multinavorsingsmodel. Vir dié doel is die '*Origin to 3D Cursor*'-opsie toegepas om die rotasie-as te skuif na die model se middelpunt (Figuur 4.14).



Figuur 4.14: Resultaat van 'n afgeronde 3D oppervlakmodel soos toegepas op BF01-01.

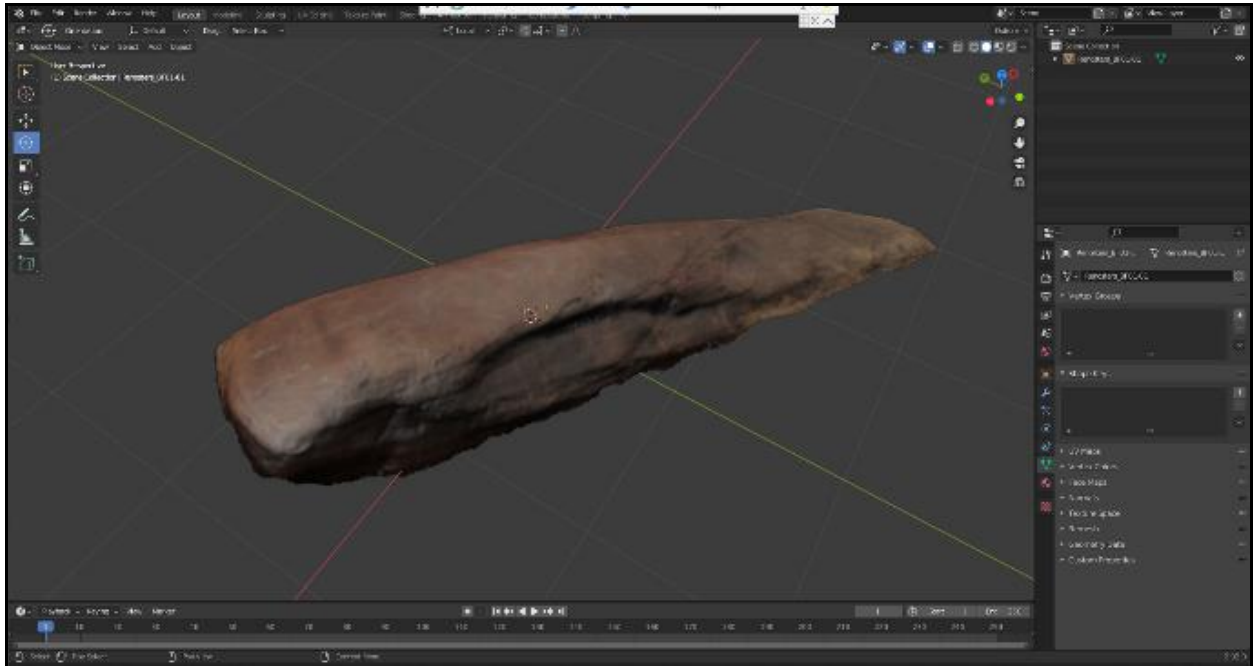
Let wel, alvorens die 3D rotsmodelle se middelpunte ook inlyn gebring kon word op dieselfde wyse, moes eers van die oortollige beelddata wat nog rondom die rots sigbaar was, ontslae geraak word. Weereens is die 'Lasso'-instrument toegepas en die ongewenste rante is stuk-vir-stuk met die muis aangedui, waarna dit met die 'X' → 'vertices' sleutelkombinasie afgesny is (Figuur 4.15).



Figuur 4.15: Oortollige beelddata word van die rots afgesny. Hier geïllustreer op BF01-01.

Tydens die afsnyproses is die rots deurentyd deur die invoerder geroteer om seker te maak dat

alle oortollige beelddata wat teen enige hoek sigbaar is, afgesny word. Hierdie proses is herhaal totdat die rots se rante netjies vertoon het en slegs die verlangde gedeelte van die rots aan die einde van die proses sigbaar was. Hierna kon die 3D rotsmodelle se middelpunte ook inlyn gebring word met hul roterende asse (Figure 4.16).



Figuur 4.16: Hier weer die resultaat van 'n afgeronde 3D rotsmodel soos toegepas op BF01-01. Die sirkel op die entiteit dui die middelpunt van die rots/oppervlak aan, dus die as waarom hy kan roter in die multianavorsingsmodel.

Hierna was die modelle gereed om gestoor te word vir die inbou in die verbruikersbeheerde verbindingsskanaal in *Unity*.

4.4.4 Fase 1 verwerkings: Enkelbeeld fotogrammetrie

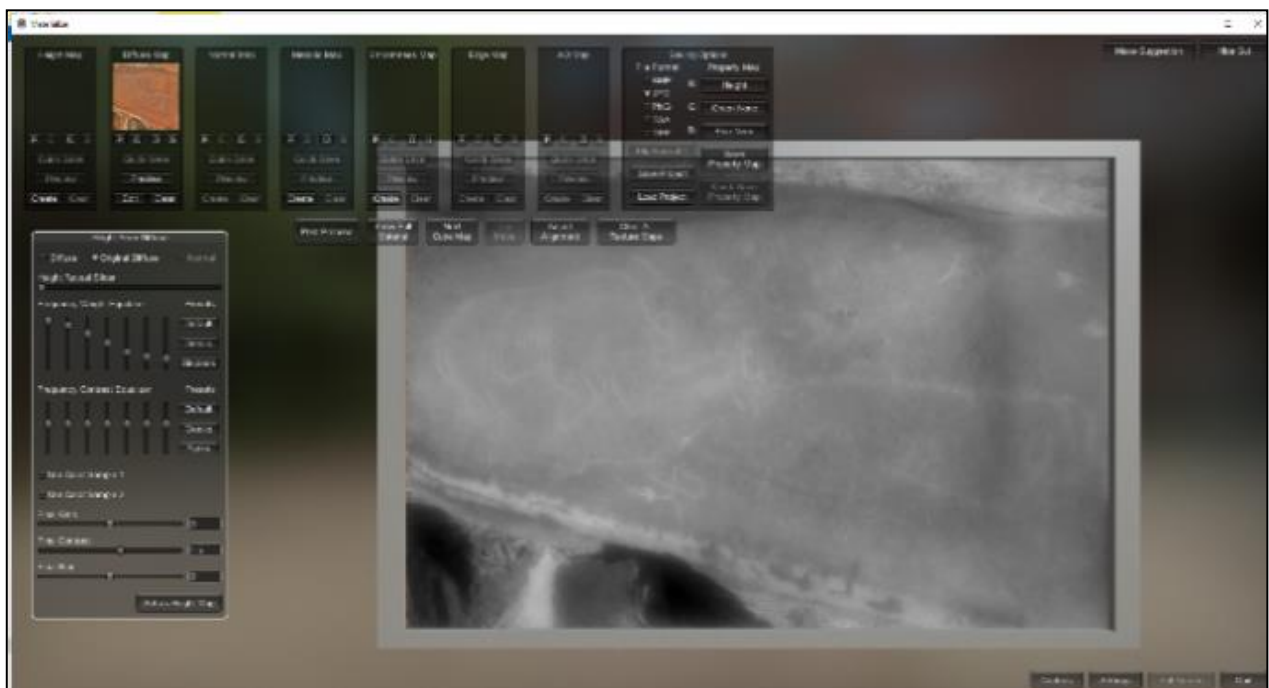
Die foto's van die vier rotspaneel met die petrogliewe wat tydens Tegniek 3 gefotografeer is (sonder die liniaal by), is elk om die beurt in die sagtewarepakket, *Materialize* ingevoer en verwerk. Die tweede stel foto's wat by wyse van dieselfde tegniek gefotografeer is, maar met die liniaal by, is op hul beurt weer tot 'n minimale mate verwerk in die aanlyn sagteware-instrument, *OnlineJPGtools*.

4.4.4.1 Verwerking in *Materialize*

Eerstens, is die kleurfoto ingevoer en onder '*Diffuse Map*' geplaas waarna gekies is om die foto in sy oorspronlike kleur te behou. Hierna is die '*Height Map*'-opsie gekies en 'n venster wat oopmaak bied verskeie opsies in terme van verstellings waardeur die mate van hoogte of diepte

van al die elemente op die foto verstelbaar is. Die gepaste verstellings wat vir elk van die vier rotse se enkefoto's gemaak is in hierdie venster verskil, maar met die belangrikste verstelling wat wél deurlopend by elk gemaak is, naamlik by '*Final Contrast*'. Met verstelling van '*Final Contrast*' word bepaal watter gedeeltes van die rots dieper moet vertoon en watter gedeeltes uitgelig moet word as hoër in die finale uitvoerprodukt. Hierdie tegnologie staan bekend as paralaks kartering en behels die gebruik van per-pieksel koördinaattoewysing vir tekstuur om eerstens die vormingskwaliteit te verhoog en tweedens die per-pieksel bewerkings met grafika hardeware te realiseer. Op hierdie wyse word tekstuur gevorm om ooreentestem met die werklike vorm van die kunswerk wat verteenwoordig word (Kaneko *et al.*, 2001:3).

By verstek is die numeriese waarde van '*Final Contrast*' 1.5 wat beteken dat die inkepinge in die rotse ligter aangedui word as die res van die rots (Figuur 4.17). Hierdie waarde is dus na negatief geskuif sodat die inkepinge donkerder vertoon as die rotsoppervlakte rondom (Figuur 4.18). Die rede hiervoor is dat die sagteware geskryf is om die donkerder gedeeltes te vertolk as inkepinge en hoe ligter die oppervlakte vertoon hoe hoër die elevasie wat geskep word. Die sagteware bereik dié oogmerk deur die berekenings rakende die variasie in die topologie van die oppervlakte uit te voer na gelang van die mate van lig wat uitgestraal word deur elke pieksel (Lawlor, 2017: 125).



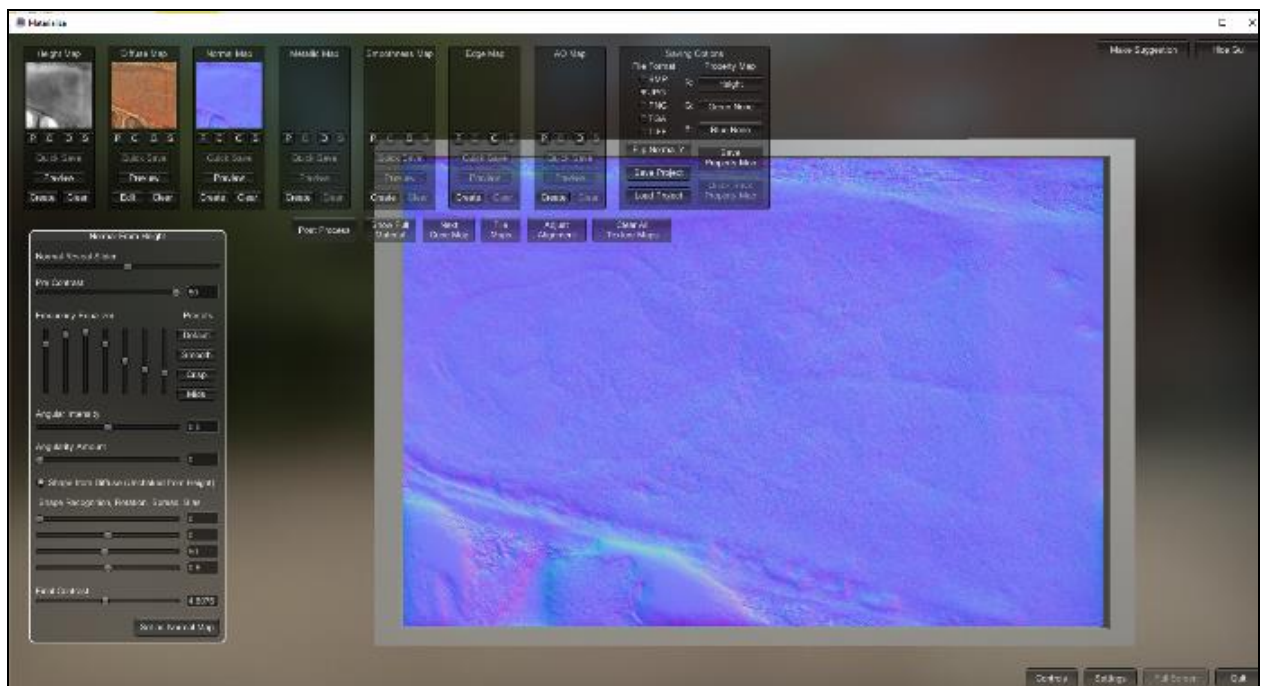
Figuur 4.17: Die petrogliewe vertoon aanvanklik ligter as die rots rondom.

Laastens, is ook 'n '*Normal Map*' geskep vanaf die gegenereerde '*Height Map*'. Die '*Normal Map*' se funksie is om aan te dui tot watter mate die besonderhede wat uitgelig word in die '*Height Map*' beklemtoon moet word in die finale uitvoerprodukt (Figuur 4.19). Vir dié doel is

slegs op drie komponente gefokus in die verstellingsopsies, naamlik 'Pre Contrast', 'Shape Recognition' en 'Final Contrast'.



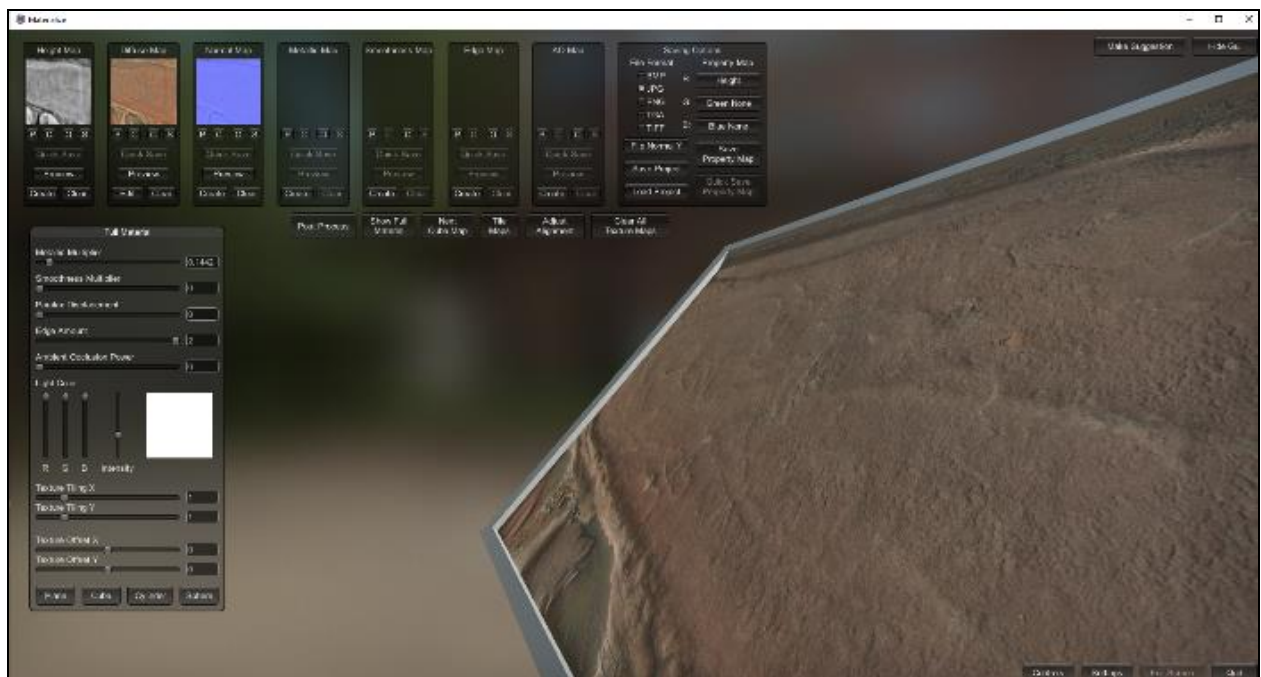
Figuur 4.18: Nadat die kontras omgekeer is deur 'Final Contrast' se waarde te verander na 'n negatiewe getal.



Figuur 4.19: In 'Normal Map' verwerk.

Hierdie eindproduk word dus 'n vertolkte 3D oppervlaktebeelding genoem vir die doeleinde van hierdie studie (Figuur 4.20). Só 'n 3D uitbeelding is dan in *JPG*-formaat gestoor om later

ingevoer te word in *Unity* vir Fase 2 van die verwerkingsproses.



Figuur 4.20: 'n Vertolkte 3D oppervlaktebeelding van BF01-01 (gedraai teen 'n hoek ter illustrasie van die geskepte driedimensionaliteit).

Ook was 'n monochroom verteenwoordiging nodig vir die multianavorsingsmodel en daarvoor is die reeds ingevoerde kleurfoto en geskepte "*Height*-' en '*Normal Maps*' behou, maar is slegs die intensiteit van die kleur in die beeld afgebring na '0' om sodoende 'n monochroom vertolkte 3D oppervlaktebeelding te skep. Hierdie variasie in die 3D uitbeelding is dan ook in *JPG*-formaat gestoor vir verdere verwerking in *Unity*.

4.4.4.2 Verwerking in *OnlineJPGtools*

Die kleurfoto's met die liniaal by word om die beurt in die aanlyn-omskakelaar, *OnlineJPGtools*, ingevoer vir omskakeling na monochroomuitbeeldings. Hierna word beide die kleur- en monochroomuitbeeldings van al vier rotspanele gestoor vir verdere verwerking in Fase 2 (Figure 4.21 en 4.22).



Figuur 4.21: Kleurfoto van BF01-01.



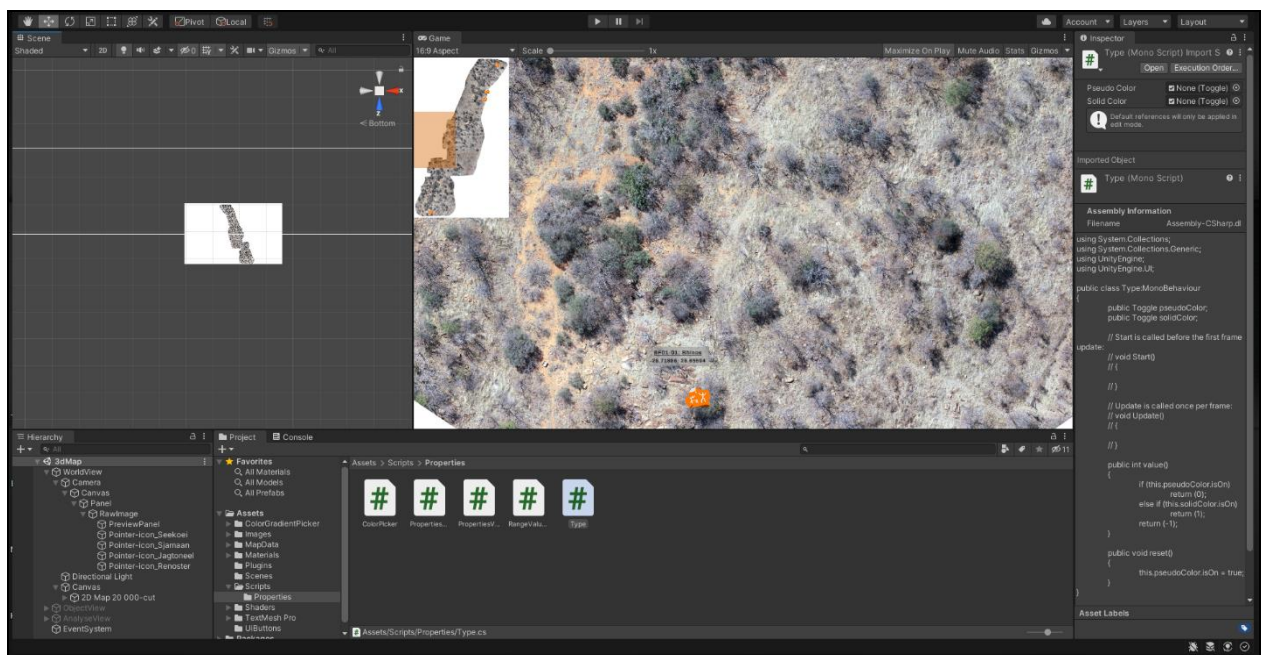
Figuur 4.22: Die monochroom ekwivalent van die BF01-01 se kleurfoto.

4.5 Fase 2 verwerkings: Integrasie van digitale eindprodukte

Om die onderskeie geskepte komponente bymekaar te bring om as 'n *WebGL* uitvoer te word na *Angular*, is begin deur 'n toneel te skep in *Unity*, genoem '3dMap' vir hierdie studie. Hierdie verbruikersbeheerde verbindingsskanaal wat in *Unity* onder 3dMap gebou word, word hier bespreek in terme van die drie onderafdelings A, B en C soos uiteengesit by Stap 3 in hoofstuk 3 (sien 3.7).

4.5.1 Afdeling A

Afdeling A is geskep om die ortomosaïek-kaart van die Bosworth-rotskunssterrein as die basis van die *WebGL* te posisioneer (Figuur 4.23). Van hierdie kaart af word die individuele rotse met die res van die verbruikersbeheerde verbindingsskanaal gekoppel.



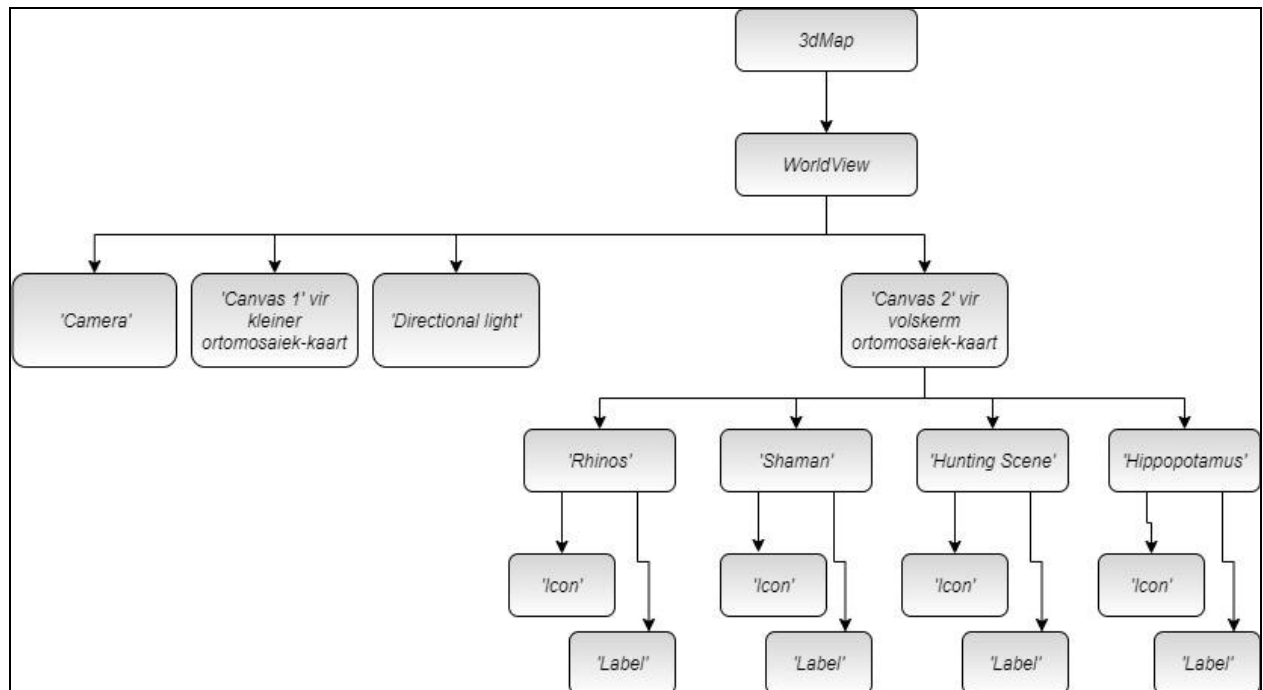
Figuur 4.23: Verwerking en inbou van die ortomosaïek-kaart in *Unity*.

Om dus hierdie kaart in *Unity* in te bou, is begin deur die skep van 'n '*GameObject*', getiteld '*WorldView*' binne 3dMap. Onder *WorldView* is die volgende elemente gevoeg, elk met hul spesifieke verwerkingsdata (Figuur 4.24):

- '*Camera*': Bepaal die hoek waaruit die rots waargeneem gaan word.
- '*Canvas 1*': Hierdie element is geskep vir die bou en huisves van die kleiner ortomosaïek-kaart van die terrein wat in die boonste linkerhoek van die venster vertoon. Subelemente

wat toegevoeg is onder hierdie kaart sluit in:

- Die paneel wat vir die gebruiker sy ruimtelike posering aandui op die kleiner terreinkaart in terme van die gebruiker se beweging oor die volskerm kaart.
- Die vier ikone wat die posering van die vier rotse op die volskermkaart aandui.



Figuur 4.24: Die skep van Afdeling A in Unity.

- *'Directional light'*: Is gebruik om die rots op 'n natuurlike wyse te belig tydens verwerking.
- *'Canvas 2'*: In hierdie element is die volskerm ortomosaïek-kaart geplaas met die vier rotse as subelemente. Hierdie subelemente bevat elk die volgende data:
 - Die ikoon om die ligging van die rots aan te dui. Binne hierdie subelement genaamd *'icon'* is:
 - *'Capsule Collider'* om te bepaal wanneer die muis oor die ikoon beweeg om interaksie tussen die muis en ikoon te aktiveer.
 - 'n *'Item Click' script* wat die muis se pyltjie laat verander na 'n hand wanneer die gebruiker oor die ikoon beweeg om aan te dui dat daar die opsie is om te kan klik. Hierdie *script* bevat ook die instruksies dat die geselekteerde rots moet ophelder as oor die betrokke ikoon beweeg word en dat die opspringskerm van Afdeling B moet

oopmaak sodra op die ikoon geklik sou word.

- Individuele beskrywing van die rots in terme van die kode, tipe kunswerk en area wat hy beslaan.

4.5.2 Afdeling B

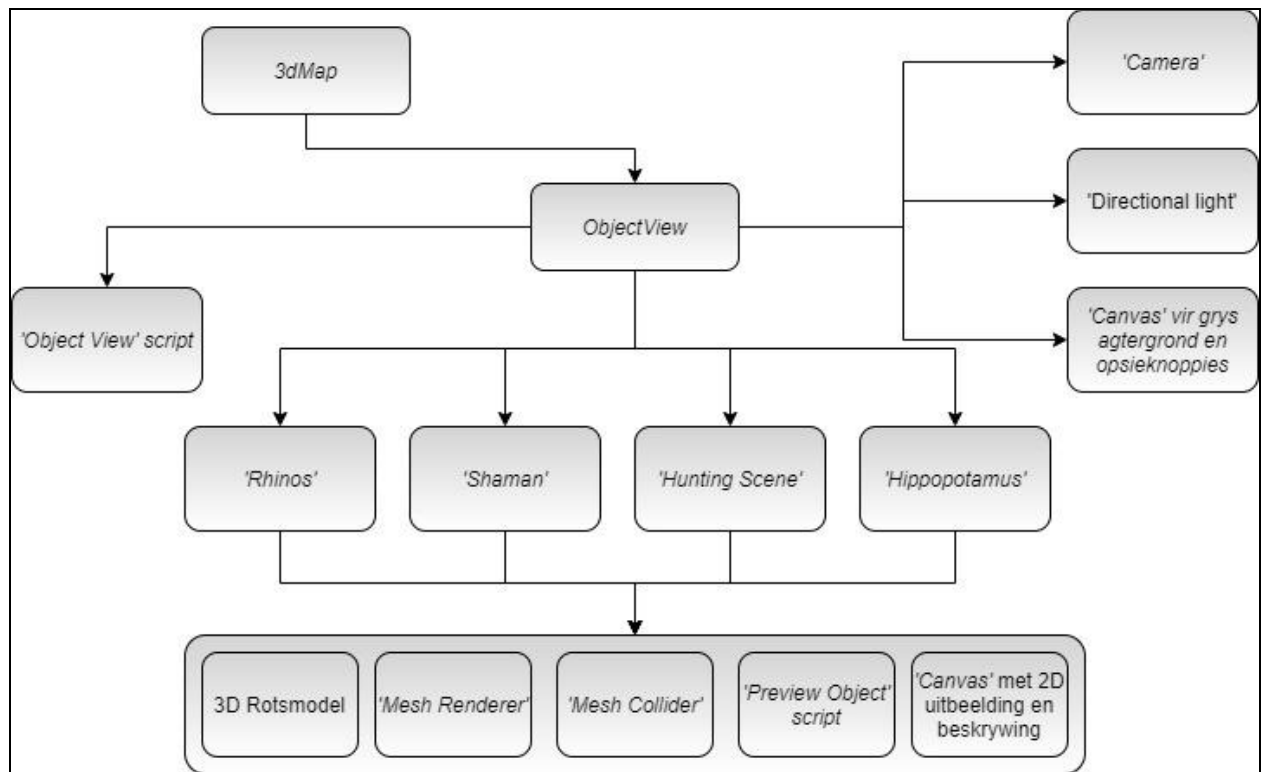
Hierdie afdeling is gebou met die doel om die individuele rotsmodelle 3D uit te beeld, tesame met 'n 2D uitbeelding wat die plasing van die kunswerk op die betrokke rots, duideliker vertoon. Ook word 'n kort beskrywing van die rots met sy kunswerk onderaan die opspringskerm gegee. Die gebruiker word in hierdie venster die opsies gebied om óf terug te gaan na die ortomosaïek-kaart deur op 'Close Window' te klik óf na Afdeling C se waarneembaarheidsmanipulering-opsies te beweeg deur op 'Analyse' te klik.

Om Afdeling B in *Unity* te skep, is dus begin deur die skep van 'n 'GameObject', getiteld 'ObjectView' binne *3dMap* (Figuur 4.25). Vir *ObjectView* is 'n script, genoem 'Object View', geskryf om die 'Close Window'- en 'Analyse'-knoppies te skakel met onderskeidelik die ortomosaïek-kaart en Afdeling C se venster. In hierdie script word ook die data van die vier verskillende opspringskerms soos vervat in hierdie Afdeling, se plasing in *ObjectView* gespesifiseer. Dus weet die program watter rots se data om onder hierdie element (*ObjectView*) te gaan haal na aanleiding van die invoer-inligting verkry vanaf 'WorldView'.

Onder *ObjectView* is verder ook die volgende elemente gevoeg, elk met hul spesifieke verwerkingsdata:

- *Die onderskeie 3D rotsmodelle*: Eerstens is die 3D rotsmodelle wat in die opspringskerm verskyn, hierin vervat. Verder is daar verskeie verwerkingsdata in hierdie elemente (die 3D rotsmodelle) geskep ter visualisering van elke rots met sy kunswerke, asook met betrekking tot die verwesenliking van die interaktiewe vermoë wat by elk teenwoordig is naamlik:
 - 'Mesh Renderer' om die verskillende lae van die ingevoerde *mesh*-model saam te voeg.
 - 'Mesh Collider' om te bepaal wanneer die muis oor die rots beweeg om interaksie tussen die muis en rots te aktiveer.
 - 'Preview Object', 'n script wat geskryf is om die rotasie van die 3D rotsmodel te beheer in terme van:

- Die rotasie daarvan in verhouding tot die muis se beweging daaroor.
- Die stoor van die rots se oorspronklike posisie op die grys agtergrond om ná rotasie deur die verbruiker weer in dieselfde posisie oop te maak nadat die venster toegemaak en dan weer oopgemaak word.
- Om die grense van toelaatbare rotasie van die rotse te spesifiseer.



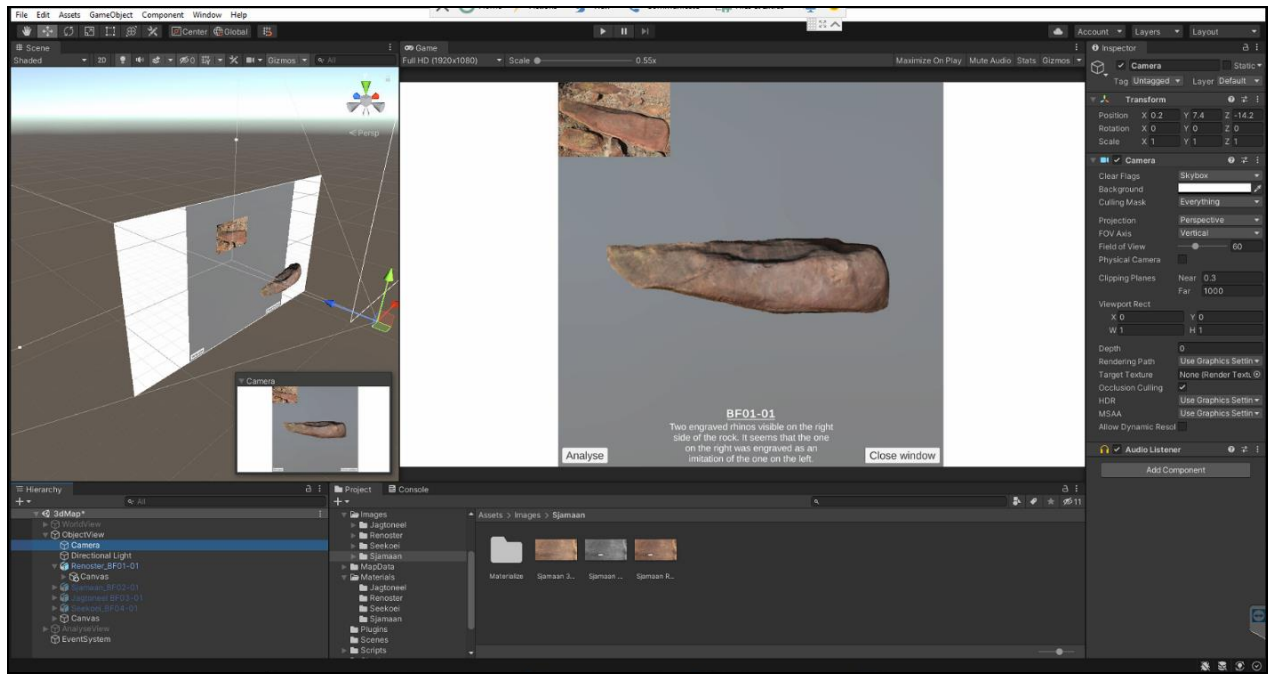
Figuur 4.25: Die skep van Afdeling B in Unity.

Onder elk van hierdie 3D rotsmodelle is 'n subelement, genaamd *'Canvas'* ingebring wat die spesifieke inligting wat op elke rotsmodel se grys agtergrond in Afdeling B verskyn, stipuleer. Hierdie inligting sluit in:

- Die 2D foto wat in die boonste hoek aan die linkerkant van die grys venster geplaas word.
 - Kode en beskrywing van die kunswerk.
- *'Camera'*: Bepaal weereens die hoek waaruit die rots waargeneem gaan word.
 - *'Directional light'*: Om die rots op 'n natuurlike wyse te belig tydens verwerking.
 - *'Canvas'*: Vervat hierin is die agtergrond wat geskep is waarteen die rots roteer, naamlik 'n grys opspringskerm bo-oor die volskerm ortomosaïek-kaart. Onderaan die opspringskerm

vertoon die 'Analyse' en 'Close Window'-opsieknoppies.

Dus, onder *ObjectView*, in terme van die funksionaliteite vervat binne hierdie geselekteerde elemente, is die onderskeie 3D rotsmodelle se wyse van voorstelling, asook hul interaktiewe vermoëns, geprogrammeer (Figuur 4.26).



Figuur 4.26: Verwerking van 'n 3D rotsmodel (BF01-01) in *Unity*.

4.5.3 Afdeling C

Afdeling C is gebou met die oogmerk om aan die gebruiker waarneembaarheidsmanipuleringsopsies te verleen ten opsigte van die kunswerke self. Inligting vervat in hierdie Afdeling behels ondermeer die vyf wyses waarop die petrogliewe op elk van die vier rotse voorgestel word, naamlik 'n:

- i) 2D Kleuruitbeelding.
- ii) 2D Monochroomuitbeelding.
- iii) Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding in kleur.
- iv) Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding in monochroom.
- v) 3D Oppervlakmodel.

Bepaalde waarneembaarheidsmanipuleringsopsies is daarna gekoppel aan hierdie uitbeeldings van elke kunswerk. Die gebruiker sal hierdeur verskillende opsies kan kombineer en toepas op die onderskeie uitbeeldingsvorme.

```

graph TD
    3dMap[3dMap] --> AnalyseView[AnalyseView]
    AnalyseView --> AnalyseUIScript['Analyse UI' script]
    AnalyseView --> Camera[Camera]
    AnalyseView --> DirectionalLight[Directional light]
    AnalyseView --> Canvas[Canvas]
    Canvas --> Rhinos[Rhinos]
    Canvas --> Shaman[Shaman]
    Canvas --> HuntingScene[Hunting Scene]
    Canvas --> Hippopotamus[Hippopotamus]
    Rhinos --> Data
    Shaman --> Data
    HuntingScene --> Data
    Hippopotamus --> Data
    Canvas --> Panel[Panel]
    Canvas --> Viewlets[Viewlets]
    Canvas --> PropertiesView[PropertiesView]
    Canvas --> Toolbar[Toolbar]
    Data --> Viewlets
    Data --> Toolbar
    Data --> EventTrigger[Event Trigger]
    Viewlets --> PropertiesView
    Viewlets --> PropertiesViewScript[Properties View' script]
    PropertiesView --> PropertiesViewScript
    PropertiesViewScript --> AnalyseUIScript
    EventTrigger --> AnalyseUIScript
    AnalyseUIScript --> AnalyseView
    
```

122

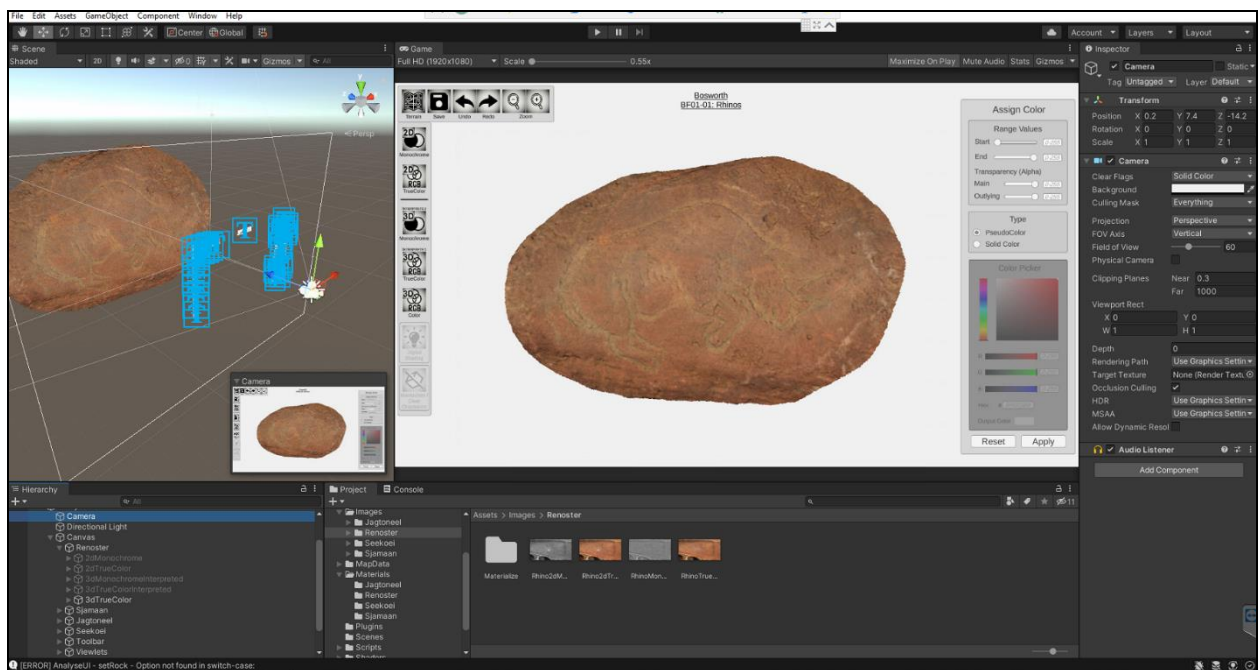
AnalyseView bevat verder ook die volgende elemente en verwerkingsdata wat geskep is:

- ‘*Camera*’: Bepaal die hoek waaruit die betrokke uitbeelding waargeneem gaan word.
- ‘*Directional light*’: Weer gebruik om die uitbeeldings op ‘n natuurlike wyse te belig tydens verwerking.
- ‘*Canvas*’: Hierdie element dien as agtergrond wat geskep is vir die voorstelling van al die uitbeeldings en waarneembaarheidsmanipulerings-opsies met hul onderlinge verwerkingsdata:
 - Die vier rotse se kunswerke, elk met hul vyf uitbeeldingsvorme en verwerkingsdata:
 - In elk van hierdie uitbeeldingsvorme (behalwe die 3D oppervlakmodel) onder die vier elemente is ‘n ‘*Property Renderer*’ script wat al die instruksies bevat vir wanneer die spesifieke uitbeeldingsvorm as opsie gekies is in die vertikale nutsbalk. In stede hiervan bevat die 3D oppervlakmodel op sy beurt, ‘n ‘*Mesh Renderer*’ vir die samevoeging van die verskillende lae van die ingevoerde *mesh*-model tesame met instruksies as hierdie uitbeelding gekies sou word.
 - By die kunswerke se 3D uitbeeldingsvorme is die ‘*Box Collider*’-komponent en ‘*Preview Object*’ script addisioneel ingevoeg. Eergenoemde om te bepaal wanneer die muis oor die uitbeelding beweeg om sodoende interaksie tussen die muis en uitbeelding te aktiveer, terwyl die *script* dieselfde funksie verrig soos genoem in Afdeling B.
 - ‘n ‘*Toolbar*’-element met die subelemente (die opsieknoppies), ‘*TerrainMap*’, ‘*Undo*’, ‘*Redo*’, ‘*Save*’ en ‘*Tips*’ in. Hierdie element skep ‘n horisontale nutsbalk om die onderskeie opsieknoppies, wat links bo in die venster van die webtoepassing se Afdeling C gaan verskyn, te huisves (Figuur 4.28). In elk van hierdie vyf subelemente is ‘n ‘*Event Trigger*’-komponent gevoeg met sy ‘*Pointer Click*’-funksie. Hierdie funksie bied aan die subelement die vermoë om deur die verbruiker geklik te kan word om daardeur sekere aksies te aktiveer.

Hierna is die geskepte *AnalyseView* ‘*GameObject*’ ook onder die ‘*Event Trigger*’-komponent se verwerkingsdata ingevoer wat dan toegang verleen tot ondermeer die ‘*Analyse UI*’ script vervat in *AnalyseView*. By wyse van hierdie toegang is die bepaalde funksie in *Analyse UI*, wat benodig word vir die werking van die spesifieke opsieknoppie,

gekoppel met registrasie van wanneer die knoppie geklik word.

- 'n 'Viewlets'-element vir die skep van 'n vertikale nutsbalk aan die linkerkant van die venster van Afdeling C, om op sy beurt 'n stel opsieknoppies te huisves (Figuur 4.28). Die opsieknoppies in hierdie element bestaan uit die vyf uitbeeldingsvorme wat hul plek inneem as subelemente, menend opsieknoppies. Dan, buiten die uitbeeldingsvorme, is daar ook 'DigitalShading' en '3dOrientation' as subelemente ingevoeg. In al hierdie subelemente is weereens 'n 'Event Trigger'-komponent ingevoeg met 'n 'Pointer Click'-funksie wat dieselfde doel dien as in die 'Toolbar'-element.



Figuur 4.28: Die bou van Afdeling C in Unity. BF01-01A, die 3D oppervlakmodel, word hier in die verbruikersbeheerde verbindingkanaal ingebou.

- 'n 'PropertiesView'-element vir die skep en huisves van die inligting in die eiendomsbalk wat aan die regterkant van die venster van die webtoepassing se Afdeling C gaan verskyn (Figuur 4.28). Hierdie balk bevat die opsies met betrekking tot die toekenning van alternatiewe RGB-kleure. Vir dié doel is 'n 'Properties View' script geskryf en in hierdie element ingevoeg wat die kommunikasie tussen die subelemente, 'RangeValues', 'Type' en 'ColorPicker' bestuur. Hierdie 'bestuur' behels dat wanneer die gebruiker die 'Apply'-opsie op die eiendomsbalk kies, die inligting wat deur hom/haar vooraf in hierdie balk ingevoer is, deur die 'Properties View' script versamel word vanaf die onderskeie subelemente se scripts soos deur hul opgeneem. Hierdie data word dan na die 'Analyse UI' script gestuur wat dit op sy beurt na die gekiesde 'Properties Renderer' script stuur in die uitbeeldingsvorm wat op daardie bepaalde tydstip deur die

verbruiker gekies is op die vertikale nutsbalk. Op dié wyse word die ingevoerde instruksies verwerk en kan die resultate waargeneem word in die geselekteerde uitbeeldingsvorm.

- 'Panel'-element wat gebruik word om die opskrif aan die bo-kant van die venster te skep. Hierdie opskrif dien as identifisering van die bepaalde uitbeelding wat in die venster vertoon in terme van sy toegekende kode en beskrywing (Figuur 4.28).

4.5.4 Vloei van die WebGL

Die eerste venster soos geskep in die *WebGL* is dié van die ortomosaïek-kaart van die Bosworth-rotskunsterrein (Afdeling A). Hierdie kaart kan digitaal rondgeskuif word en daar kan ook in- en uitgezoem word op enige gegewe area. Merkers dui die ligging van die vier voorafgeïdentifiseerde rotse aan. By elk van hierdie vier rotse is 'n identifiseringsetiket wat die betrokke rots se kode, tipe kunswerk, asook die area wat die rots beslaan, weergee.

Wanneer op een van die hierdie gemerkte rotse geklik word, verskyn 'n opspringskerm met beide 'n 3D rotsmodel (roteerbaar) en 'n 2D uitbeelding van die spesifieke rots, asook 'n kort beskrywing van die betrokke kunswerk (Afdeling B). Die verbruiker sal dan die opsie hê om óf terug te keer na die ortomosaïek-kaart (wat dan die opspringskerm toemaak) óf om na 'n nuwe skerm te beweeg. Die nuwe skerm (Afdeling C) vertoon 'n naby-foto van slegs die kunswerk en verleen aan die verbruiker die volgende waarneembaarheidsmanipulering-opsies vir elk van die vier rotse se kunswerke:

- Vir die 2D uitbeeldings, die vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings en die 3D oppervlakmodel kan die kunswerk:
 - In- en uitgezoem word.
 - Die hellingshoek van die uitbeelding/model gemanipuleer word.
- Vir slegs die 2D uitbeeldings en vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings kan:
 - Gewissel word tussen 'n kleur- en monochroomuitbeelding.
 - Die digitale kleur gemanipuleer word by wyse van vals/pseudo- en soliede kleure:
- Vir slegs die vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings en die 3D oppervlakmodel kan:
 - 'n Digitale ligstraal vanuit verskillende hoeke daarop gewerp word.
- Vir slegs die vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings kan:
 - Die digitale diepte van die petrogliewe gemanipuleer word.

Die gebruiker sal dan die keuse hê om vanaf hierdie skerm weer terug te keer na die ortomosaïek-kaart (Afdeling A) vir verdere bestudering en analisering van die data.

4.6 Skep van die webtoepassing

Om die webtoepassing te skep is die webraamwerk, *Angular* van die internet afgelaai en die invoer van geskepte data, asook die skep van nuwe data vir werking binne die webtoepassing, is begin.

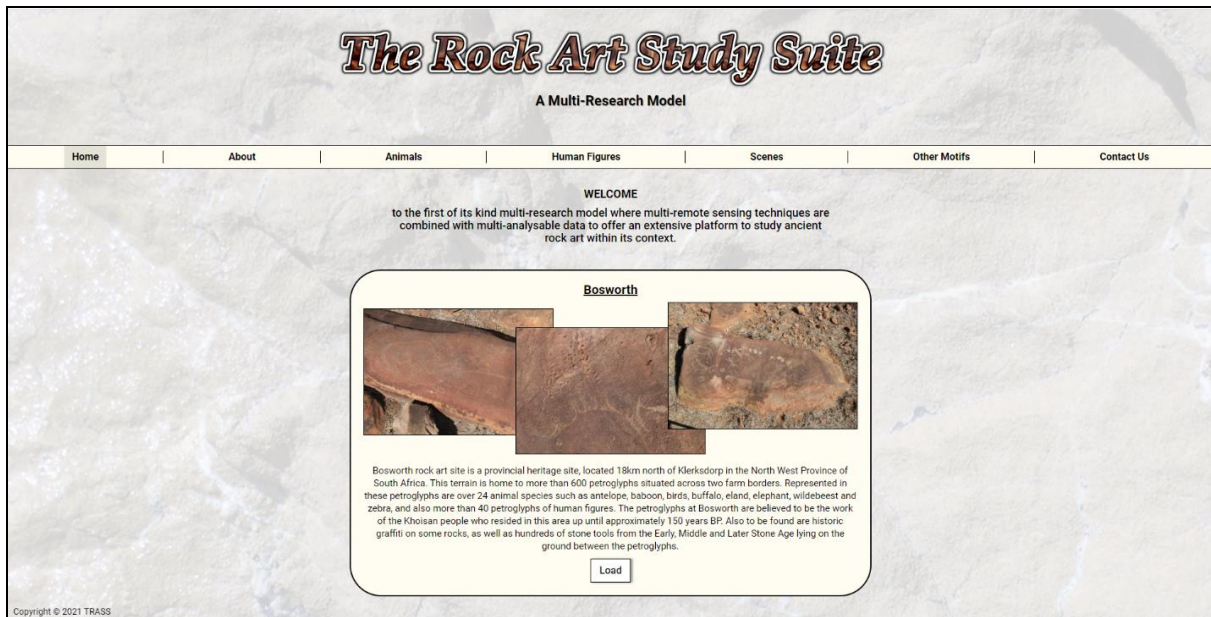
4.6.1 Landingsbladsy

Die *Angular*-toepassing het by verstek 'n 'assets'-lêer waarin standaard inligting soos foto's ingevoer en gestoor kan word. Soos nodig kan die gebruiker dan hierdie gestoorde inligting direk invoer binne die webraamwerk. Die inligting wat op hierdie wyse gestoor en ingevoer is na die projek se landingsbladsy (Figuur 4.29) is:

- Die titel van die betrokke webtoepassing, naamlik '*The Rock Art Study Suite*'.
- Die agtergrond van die landingsbladsy wat 'n beeld van 'n rots is (ingevoer as 'n *JPG*-formaat).
- Foto's van sommige van die petrogliewe op Bosworth-rotskunssterrein.

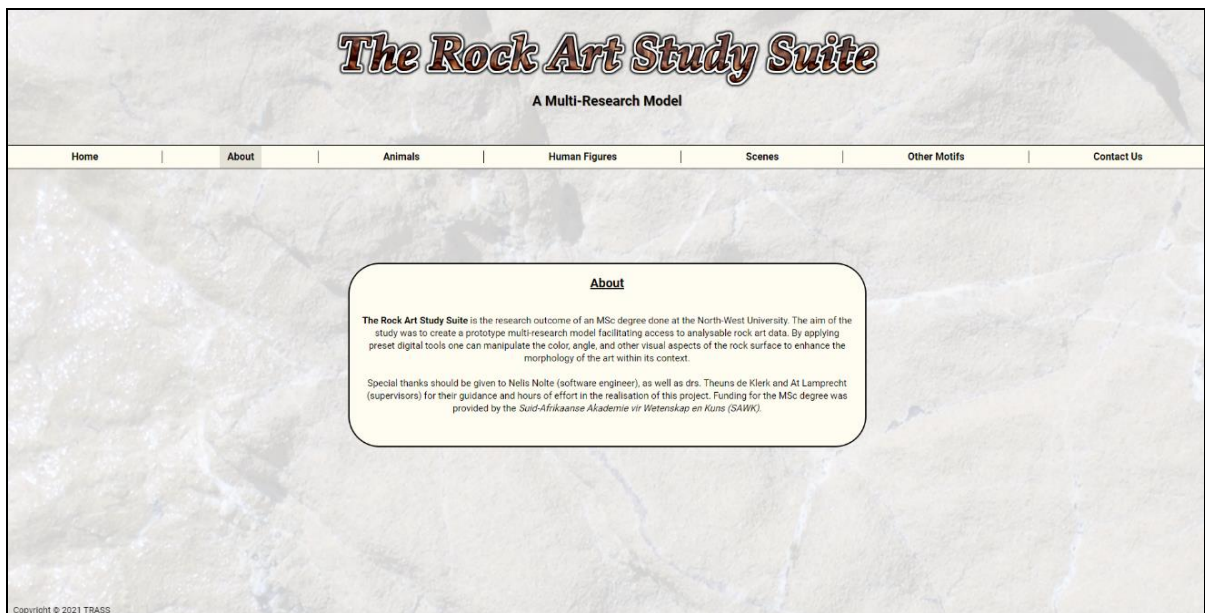
Bogenoemde inligting is binne die webtoepassing ingebou deur die toepassing van *HTML* (*HyperText Markup Language*)-kodering. *HTML* se doel is om deur die toepassing van spesifieke notasies die webbladsy aan die webblaaier te beskryf. Op dieselfde wyse is hierdie kodering gebruik om die res van die verlangde inligting op die landingsbladsy aan te vul. Hierna is *Super CSS* (*Cascading Styling Sheets*) toegepas vir die stilering daarvan in terme van die uitleg en strukturering van nie net die voorafgestoorde inligting nie, maar ook die nuutgeskepte elemente wat insluit:

- 'n Opskrif, asook 'n kort beskrywing van wat die inhoud van die webtoepassing behels.
- 'n Nutsbalk met verskillende opsies wat elk 'n nuwe venster (bladsy) oopmaak wanneer gekies word naamlik:
 - '*Home*' wat verwys na die landingsbladsy self (Figuur 4.29).



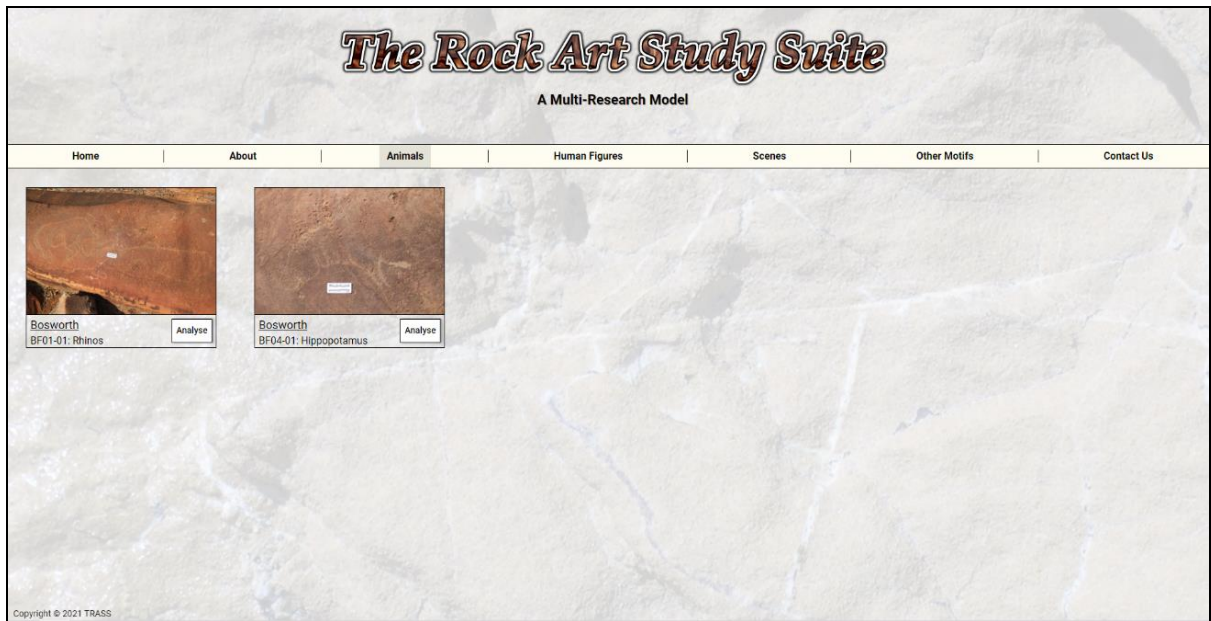
Figuur 4.29: Uitleg van landingsbladsy

- 'About' waarin verduidelik word waarom hierdie webtoepassing handel (Figuur 4.30).



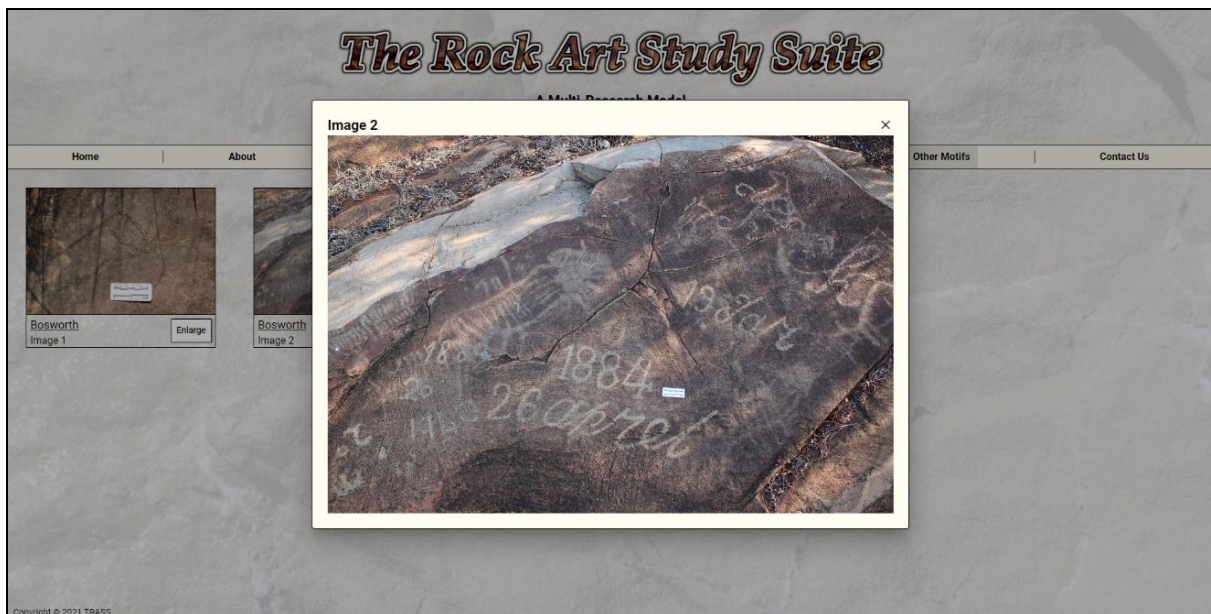
Figuur 4.30: Die 'About'-bladsy.

- 'Animals', 'Human Figures' en 'Scenes' elk met toepaslike foto's in, asook 'n 'Analyse'-opsie by elk van die foto's (Figuur 4.31). Die foto's in hierdie vensters is van die vier rotskunswerke wat die gebruiker (as hy op die 'Analyse'-opsie klik) direk neem na Afdeling C se venster van die betrokke kunswerk met sy waarneembaarheidsmanipuleringsopsies.



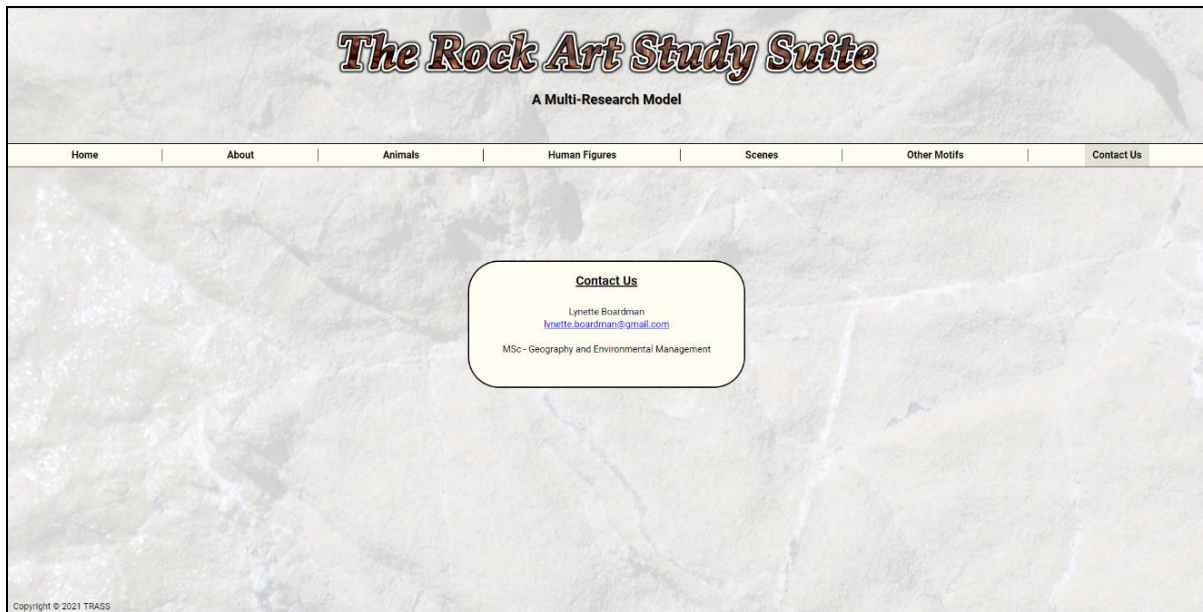
Figuur 4.31: 'Animals'-bladsy met 'n 'Analyse'-opsie by elk van die uitbeeldings.

- 'Other Motifs' met foto's van kunswerke wat nie in een van bogenoemde kategorieë val nie. Elk van hierdie uitbeeldings beskik dan oor 'n 'Enlarge'-opsie om die betrokke uitbeelding te vergroot. Die uitbeeldings in hierdie venster word nie toegerus met 'n 'Analyse'-opsie wat die gebruiker na 'n venster in Afdeling C neem nie (Figuur 4.32).



Figuur 4.32: Die 'Other Motifs'-bladsy met 'n vergroting van een van die rotskunswerke nadat die 'Enlarge'-opsie gekies is.

- 'Contact Us' vir kontakbesonderhede (Figuur 4.33).



Figuur 4.33: Die 'Contact Us'-bladsy.

- 'n raampie met 'n paar foto's van rotskunswerke te vind op Bosworth-rotskunsterrein, asook 'n kort beskrywing van die rotskunsterrein. Onderaan hierdie beskrywing kan die 'Load'-funksie geskies word wat die terreindata van Bosworth laai. Langs die 'Load'-funksie is daar ook 'n skakel na 'n video in *Youtube* wat aan die gebruiker toon hoe om hierdie webtoepassing te gebruik.
- kopiereg van die model en data daarin vervat wat onderaan die bladsy aangedui word.

TypeScript is deurentyd ingespan om die logiese vloei van die webtoepassing te verseker in terme van stellings wat gerig is op spesifieke take wat deur die program uitgevoer moet word om sekere uitkomstes te verseker. 'n Voorbeeld hiervan is ondermeer dat die webtoepassing kan weet wanneer om 'n volgende venster oop te maak.

4.6.2 Inbou van die *WebGL*

Die *WebGL* wat in *Unity* gebou is word in twee lêers uitgevoer, naamlik 'Build' en 'TemplateData'. Hierdie lêers is ook in *Angular* se 'assets'-lêer gestoor sodat dit direk ingevoer kon word in die webraamwerk. Let wel, die instruksie van waar om hierdie lêers te gaan haal is in die 'Angular.json'-lêer se bestaande *script* ingeskryf. Hierna is 'n instruksie ingevoer om 'n nuwe komponent binne-in *Angular* te skep deur die *command*, "ng g c *Unity*" in te skryf. Hierdie nuwe komponent, genoem 'Unity', se doel is om instruksies te gee aan *Angular* van hoe om spesifieke funksies soos vervat in die ingevoerde 'build'-lêer, te interpreteer en toe te pas.

Hierdie 'Unity' komponent bevat vier lêers wat standaard saam 'n nuwe komponent geskep

word, naamlik:

- '*Unity.component.html*': Vir die plasing en uitleg van *Unity* se *splash screen*, 'n voorafvenster wat vertoon terwyl die *WebGL* laai. Ook word die *progress bar* hierin geplaas met sy persentasiebewerking om die vordering van die *WebGL* wat laai op die *splash screen* te toon, uitgedruk in persentasie.
- '*Unity.component.scss*': Hierin is die onderskeie elemente van die *splash screen* gespesifiseer waarna elk se stilering gedoen is in terme van grootte, kleur, hoogte, ensovoorts.
- '*Unity.component.spec.ts*': Hierdie lêer is beskikbaar sou toetse vooraf gedoen wou word om die werking van die onderskeie funksies te toets. Dit is ongebruik gelaat vir hierdie projek.
- '*Unity.component.ts*': Bestaande stellings in *TypeScript* waarby instruksies gevoeg is om die vloei van die *WebGL* te reël in terme van die wyse waarop bepaalde funksies vervat in die '*build*'-lêer, toegepas moet word. 'n Voorbeeld van só 'n toepassing, is die instruksie om die *splash screen* te vervang met die eerste toneel sodra die toepassing klaar gelaai het (die *progress bar* dus op 100% staan).

Hierna was die *WebGL* suksesvol in die webtoepassing ingebou by wyse van die webraamwerk, *Angular*.

4.7 Gevolgtrekking

Alhoewel daar vele aspekte verbonde is aan die dokumentering en verwerking van die rotskunsterrein en petrogliewe op Bosworth-plaas, kan dit op 'n stelselmatige wyse aangepak word sonder dat oorvleueling van prosesse hoef plaas te vind. Op dié wyse kan die skep van die multinaavorsingsmodel stap-vir-stap aangepak word en kry elke komponent in die proses die nodige aandag om op 'n deeglike wyse afgehandel te word alvorens die volgende stap aangepak word. Ook is die inhoud van elke proses nie staties nie en kan daarnatoe teruggekom en veranderings aangebring word sonder dat dit 'n wesenlike omverwerping in die res van die proses tot gevolg sal hê.

In die volgende hoofstuk word gekyk na Bosworth-rotskunsterrein as die gevallestudie vir hierdie studie. Daarmee saam word die effektiwiteit van die multinaavorsingsmodel, soos toegepas op hierdie rotskunsterrein, bespreek.

HOOFSTUK 5

GEVALLESTUDIE: BOSWORTH-ROTSKUNSTERREIN

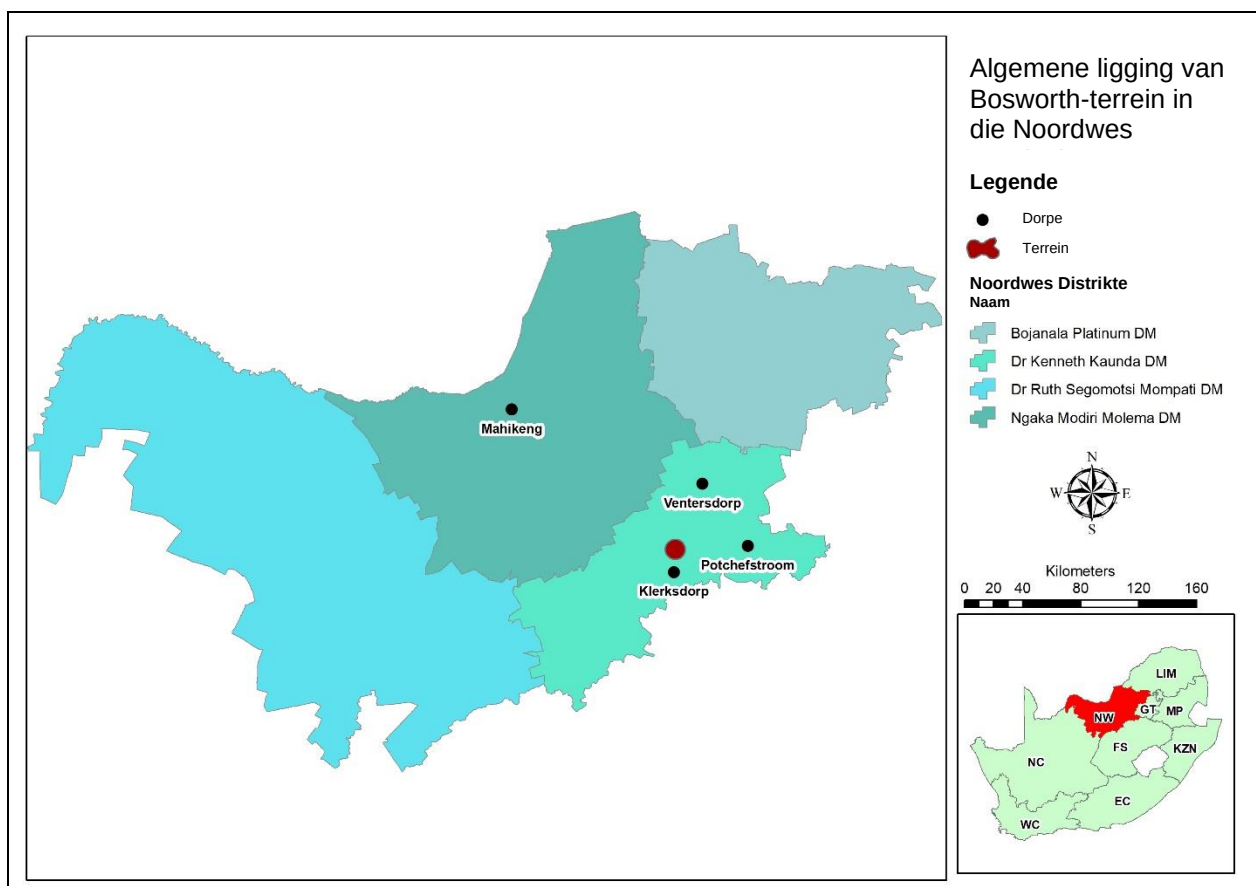
5.1 Inleiding

In hierdie hoofstuk word die studieterrein en petrogliewe beskryf, asook die geantisipeerde studie-uitkomst met betrekking tot die moontlike sigbaarheid van die morfologie van die betrokke petrogliewe. Daarna word die hoofstuk afgesluit met die analisering van die onderskeie komponente in die Afdelings A, B en C. Die resultate hiervan word dan beskryf in terme van die waarde wat dit tot die laaste oogmerk van die studie toevoeg, by name die effektiwiteit van die multinavorsingsmodel.

5.2 Agtergrond

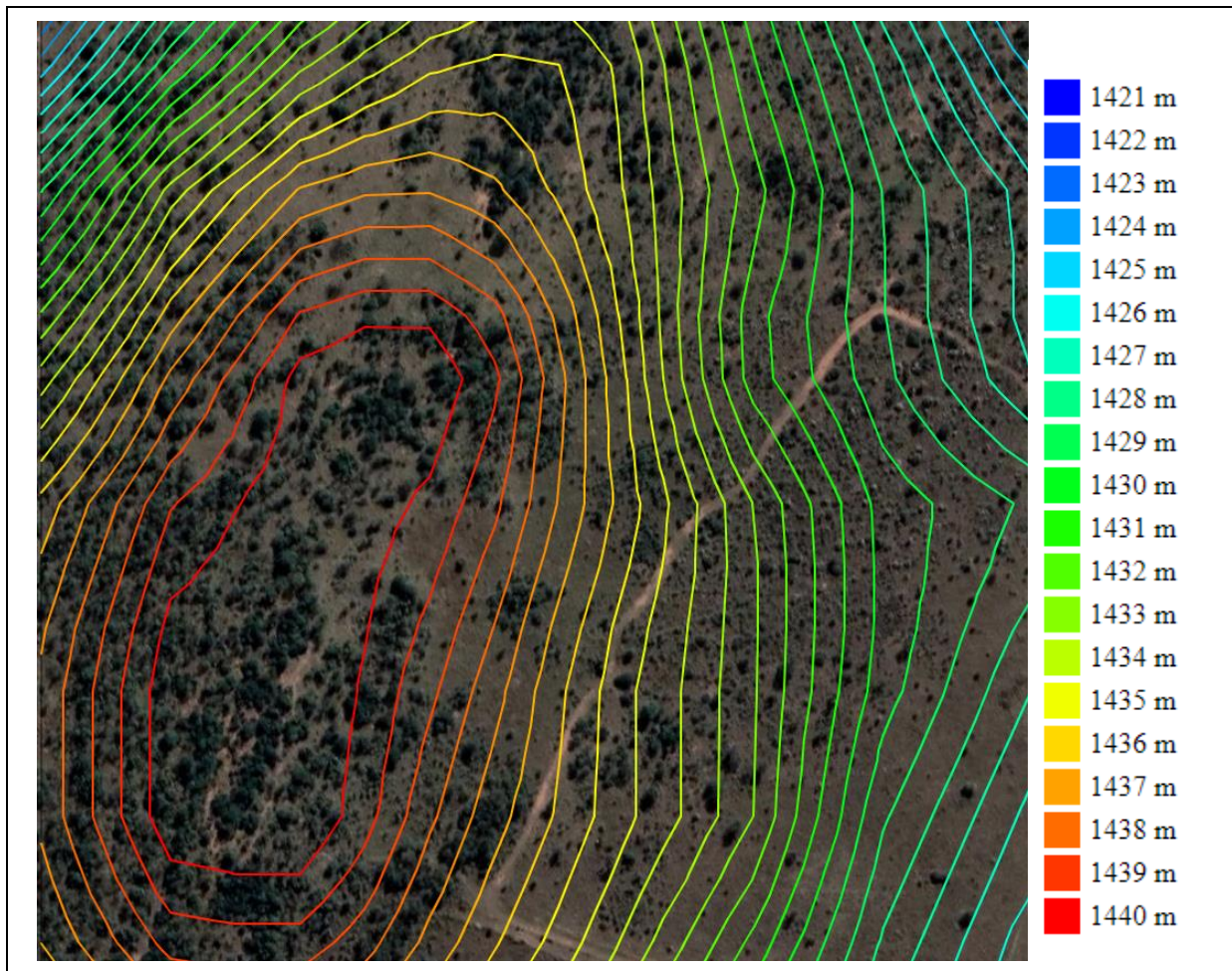
5.2.1 Fisiese omgewing

Bosworth-plaas is geleë 18km uit op die Palmietfonteinpad, noord van Klerksdorp in die Noordwes Provinsie (Figuur 5.1).



Figuur 5.1: Liggingskaart van Bosworth-terrein

Die petrogliewe op Bosworth-plaas, asook op 'n gedeelte van 'n aangrensende plaas beslaan gesamentlik 'n gebied van ongeveer 70 000m² (SAHRA, 2012). Die rotskunsterrein begin bo-op 'n heuwel wat 20m bo die omliggende vlaktes uittoon, om en by 1 440m bo seespieël. Vandaar is hul in 'n Noordoostelike rigting versprei vir 'n afstand van ongeveer 700m tot op 'n vlak van ongeveer 1 428m bo seespieël (Figuur 5.2).



Figuur 5.2: Die area met die heuwel op die Bosworth-rotskunsterrein waarbinne die rotskunsterrein geleë is.

Die rotskunsterrein is plek-plek digbegroei met doringbome en die lang gras gedurende die laat somer- tot wintermaande lei daartoe dat menigte rotse nie sigbaar is tot mens feitlik by dit kom nie. Die rotse en klippe op hierdie terrein is blou-ysterklip wat hoofsaaklik losstaande van mekaar versprei is. Tog, in sommige areas is hierdie rotse saamgegroepeer wat dan rotsagtige gedeeltes op die terrein tot gevolg het.

Met visuele observasie blyk daar topografiese kenmerke te wees van 'n ou, nou opgedroogte, rivierloop ongeveer 100m oos van die kunswerke. 'n Sekondêre motivering vir hierdie hipotese is die teenwoordigheid van petrogliewe waarin seekoeie uitgebeeld word, diere wat nie vir lang tye kan oorleef sonder water nie.

5.2.2 Geskiedenis

By wyse van visuele waarneming, is dit duidelik dat okkupasie van die terrein terugdateer tot ten minste die Latere Steentydperk na aanleiding van die ryk fonds van klipwerktuie wat te vind is op die terrein. Verder kan deur die tipe rotskuns afgelei word dat die San, Khoi-Khoi en later die Europese setlaars ook in die gebied óf gewoon óf vir kort tye vertoef het.

Huidiglik is dr. Neil Orford die eienaar van Bosworth-plaas wat nou al vir meer as 100 jaar aan sy familie behoort sedert sy oupa, dr. H.J. Orford die grond in 1908 gekoop het. Dr. H.J. Orford het hom beywer vir die erkenning van die erfeniswaarde van hierdie petrogliewe, asook die bewaring daarvan. Daarom in 1940, ingevolge die Wet op Natuurlike en Historiese Gedenkwaardighede en Oudhede 4 van 1934, is die betrokke terrein tot 'n Nasionale Monument verklaar (President van die Republiek van Suid-Afrika, 1940:307).⁴¹ In 1999 het die Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 die Wet op Nasionale Monumente 28 van 1969 vervang, wat reeds wysigings bevat het van die Wet op Natuurlike en Historiese Gedenkwaardighede 4 van 1940 (Ndlovu, 2011:35). Ingevolge hierdie Wet op Nasionale Erfenishulpbronne 25 van 1999 het al die bestaande geproklameerde Nasionale Monumente nou vanselfsprekend onder Provinsiale Erfenisterreine geressorteer. Daar is wel 'n vyf jaar tydperk toegestaan waarin die Provinsiale Erfenishulpbronowerhede (PEHOe) die nuut geallokeerde Provinsiale Erfenisterreine individueel kon evalueer om sodoende te bepaal of hul graadasie kan opskuif vanaf 'n Graad II gradering na 'n Graad I erfenisterrein (dus 'n Nasionale Erfenisterrein) (Nasionale Departement van Kuns en Kultuur, 1999a:84). Bosworth-rotskunsterrein is nooit op hierdie wyse geëvalueer nie en is daarom vandag steeds geklassifiseer as slegs 'n Provinsiale Erfenisterrein van Suid-Afrika (SAHRA, 2015:7).

5.3 Die rotskuns

Die rotskunswerke op die Bosworth-terrein is uitsluitlik opgemaak uit petrogliewe, lyn- sowel as gekepte. Deur blote visuele observering is dit duidelik dat die rotskunswerke op die terrein nie die handewerk van een persoon was nie, selfs nie net een kultuurgroep nie. Daar kan sonder twyfel onderskeid getref word tussen verskillende style, asook tydperke wat die petrogliewe geskep is (Sundstrom, 2012:326-327). Daar is ten minste drie kategorieë wat geïdentifiseer kan word:

⁴¹ Dit was die hoogste verklaring wat 'n erfenisterrein kon verkry in Suid-Afrika (Ndlovu, 2011:34).

Kategorie 1

Die petrogliewe in hierdie kategorie is waarskynlik deur die San geskep aangesien hul die eerste aangetekende groep in hierdie omgewing was. Boonop is daar ooreenstemmende morfologiese kenmerke tussen die gegraveerde menslike figure in hierdie fase en rotskunswerke op ander terreine wat ook as San-geskepte petrogliewe geïdentifiseer is (Ouzman, 2001; Ouzman, 2002). Die hipotese dat hierdie groep petrogliewe die oudste werke op die terrein is kan verder gemotiveer word deur die gevorderde stadium van verwerking waarin verskeie van die kunswerke hul bevind. 'n Beduidende persentasie van hierdie kunswerke het tot só 'n mate verdof dat verskeie motiewe op die rotse feitlik onsigbaar is.

In hierdie korpus petrogliewe is verskeie enkelmotiewe, asook 'n jagtoneel met menslike figure en wilde diere te sien (Figuur 5.3). Die korpus word verder opgemaak uit diere soos 'n seekoei, leeus, olifante, volstruise, elande, ensovoorts. 'n Paar uitbeeldings van San-rituele soos 'n dansende sjamaan en 'n man wat met 'n volstruis dans, kan ook waargeneem word.



Figuur 5.3: 'n Uitbeelding van 'n stormende renoster.

Van die kunswerke blyk om heel moontlik met 'n baie harde voorwerp/klip uitgekrap te wees bo-oor 'n dun lyn wat vooraf getrek is om eers die figuur op die klip te vorm (sien 2.2.2 vir 'n omskrywing van die moontlike proses wat gevolg is met die skep van petrogliewe). By ander motiewe is daar weer duidelike tekens dat 'n harde voorwerp ingespan is as 'n pons wat met 'n ander instrument, soos 'n klip, gekap is om kepies in die rotsoppervlakte uit te kap.

Kategorie 2

Die hoeveelheid kunswerke in hierdie kategorie is byna soveel as dié van die San in Kategorie 1. Die kunstenaars blyk waarskynlik die Khoi-Khoi te wees vanweë die styl (die lyne van die petrogliewe is meer grof as dié in Kategorie 1) en die feit dat dit voorkom of dit meer onlangs geskep kan wees as Kategorie 1 se kunswerke (Ouzman, 2001:25). Die petrogliewe is opgemaak uit enkele menslike figure (Figuur 5.4), verskeie abstrakte- en geometriese motiewe en 'n paar wilde diere soos bokke en leeus. Al hierdie kunswerke is met 'n harde voorwerp uitgekrap (ook moontlik bo-oor 'n voorafgetrekte dun lyntjie).



Figuur 5.4: 'n Menslike figuur met 'n abstrakte motief bo die figuur.

Kategorie 3

Hierdie petrogliewe is akademies nie eens of dit wél as kunswerke geklassifiseer kan word of slegs as graffiti nie (Bednarik, 2001:103-104). Ondermeer is vier geïsoleerde petrogliewe wat datums en/of getalle bevat: '1880', '20', '1940', '1884 26 April', sigbaar op een van die rotse (Figuur 5.5). Op 'n ander rots is weer die datum, '1966' uitgekrap. Dit is dus duidelik dat hierdie petrogliewe (graffiti?) waarskynlik deur Europeërs op die rots uitgekrap is gedurende hierdie gegraveerde tydperke oftewel deur mense in meer onlangse tye.



Figuur 5.5: Petrogliewe wat bestaan uit datums en/of syfers.

5.3.1 Navorsing op die terrein

Verskeie navorsers soos ondermeer die bekende Suid-Afrikaanse argeoloog, Sven Ouzman, asook lede van instansies soos die Britse Museum in Londen, het al die Bosworth-rotskunsterrein besoek en data ingesamel en beskikbaar gestel (Ouzman, 2001; The Trustees of the British Museum, 2020). Tog, die instansie wat sekerlik die grootste hoeveelheid navorsingdata op die Bosworth-rotskunsterrein gedokumenteer het, is die Universiteit van die Witwatersrand in Johannesburg. Bosworth-terrein se affiliasie met die Universiteit van die Witwatersrand het reeds in die 1930s begin met prof. Van Riet Lowe wat in 1937 terreindata van Bosworth nagevors en sy bevindings gepubliseer het in 'n boek getiteld *Geology and Archaeology of the Vaal River Basin*. Sederdien het talle navorsers projekte geloods met data van die rotskunsterrein op Bosworth-plaas, hetsy dit reeds gedokumenteerde data is of data verkry by wyse van nuwe dokumenteringsinisiatiewe wat van stapel gestuur word om tegnologiese instrumente of sagtewarepakkette op die proef te stel. So byvoorbeeld, was 'n interessante studie van dr. George Susino waarin hy gedurende 2005 aansoek gedoen het om 'n permit van die SEAHA om 'n dateringstegniek op Bosworth-rotskunsterrein te toets. Dr. Susino is 'n navorser van Australië wat sy post-doktorale studies aan die Universiteit van die Witwatersrand gedoen het in die tydperk 2005-2012. Die fokus van sy navorsing hier in Suid-

Afrika was ondermeer die ontwikkeling van optiese stimulerende termoluminesensie-tegnieke⁴² wat toegepas word in die datering van minerale en argeologiese entiteite. Die SAEHA het dan ook die permit aan dr. Susino uitgereik en hy was daarmee by magte om opgrawings op die terrein te doen om moontlike dateerbare minerale en/of entiteite op te spoor (Academia, 2012; SAHRA, 2005). Nietemin, was sy studie-uitkomst met betrekking tot Bosworth-rotskunsterrein ongelukkig inkonklusief omrede hy sandsteenrotse benodig het vir sy studie, terwyl daar slegs blou-ysterklippe op die terrein is. Grondmonsters wat op die terrein geneem is, het ook nie die nodige organiese materiaal bevat wat hy benodig het vir sy dateringstegniek nie (na aanleiding van 'n telefoniese gesprek met dr. Susino).

Met al die aandag wat die Bosworth-rotskunsterrein oor die jare as 'n rotskuns erfenisterrein ontvang het, het dit ongelukkig ook daartoe gelei dat van die natuurlike rotskunswerke van die terrein af verwyder is. In die 1960s het dr. Friede van die Universiteit van die Witwatersrand en prof. Mason van die Suid-Afrikaanse Argeologiese Raad, verskeie rotse in Suidelike Afrika met petrogliewe op uit hul natuurlike omgewing verwyder om uitgestal te word by die Johannesburgse Dierkundige Tuine. Twee van Bosworth-terrein se rotskunswerke het deel uitgemaak van hierdie versameling wat vandag steeds te sien is in die *Origins Centre Museum* in Johannesburg. Die bestuur van hierdie *Origins Centre Rock Engraving Archive* word hanteer deur die *Rock Art Research Institute (RARI)* van die Universiteit van die Witwatersrand (University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2020).

5.3.2 Suid-Afrikaanse Erfenis Hulpbron Agentskap (SAEHA)

In 2015 is vandalisme van een van die bekendste petrogliewe op die terrein by die SAEHA aangemeld deur 'n historikus van die Klerksdorp Museum (amptenare van die museum het oor tyd 'n goeie verhouding met dr. Orford opgebou). Die vandale het met 'n skerp voorwerp oor die welbekende seekoei-petroglief gekrap (Figuur 5.6) (SAHRA, 2015:1-2). Alhoewel die Bosworth-rotskunsterrein 'n Provinsiale Erfenisterrein is, is die klagte direk aan SAEHA gerig aangesien die PEHO in die Noordwes Provinsie nie funksioneel is nie. SAEHA het gereageer op die klag wat ontvang is deur amptenare van hul Erfenis Inspektoraat Eenheid (EIE) te stuur na Bosworth-plaas om die klag te ondersoek. Na inspeksie van die vandalisme en by wyse van onderhoude wat gevoer is met verskillende betrokke partye, het dit bekend geword dat die oortreders twee jong seuns van 'n naburige nedersetting was. Hierdie jong manne het nie die

⁴² Die beginsel behels dat die ontbinding van natuurlike radionukliede 'n konstante bestralingsveld tot gevolg het. Dus word die sediment in minerale of argeologiese entiteite teen 'n konstante koers aan bestraling onderwerp en verkry sodoende verbergde luminesensie teen 'n konstante koers. Die verbergde luminesensie word vrygestel wanneer dit dan aan hitte of lig blootgestel word. Dus, deur 'n mineraal of argeologiese entiteit in die laboratorium te verhit of aan lig bloot te stel, kan die ouderdom van die bepaalde voorwerp bepaal word by wyse van die berekening van die verbergde luminesensie wat nog in die mineraal of entiteit teenwoordig was (Liritzis *et al.*, 2013:3).

waarde van die petrogliewe besef nie en daar is besluit om die saak maar te laat vaar (SAHRA, 2015:2,4).



Figuur 5.6: Die seekoei-petroglief met krapmerke oor.

5.4 Rotskunswerke op die studieterrein wat geïdentifiseer is vir die toepassing van hierdie studie

Ter verwesenliking van een van die studie se doelwitte, naamlik die skep van 'n multinavorsingsmodel, is vier spesifieke rotse op die terrein met petrogliewe op geïdentifiseer as oogmerk ter evaluering van die model se effektiwiteit:

- i) *Renosters (BF01-01)*. Twee petrogliewe van renosters wat teenoor mekaar staan, gegraveer op 'n langwerpige rots wat 'n area van 2.35m² beslaan (Figuur 5.7). Die renoster aan die linkerkant blyk om in die proses te wees om te storm, terwyl die een aan die regterkant gegraveer is as stilstaande. Vanweë die noukeurigheid waarmee eersgenoemde renoster uitgebeeld is, vertoon hy byna lewensgetrou en is foto's van dié petroglief al internasionaal gepubliseer en ook te sien op die webwerf van die Britse Museum in Londen (The British Museum, 2013). Dit wil dan ook voorkom of die tweede petroglief, die stilstaande renoster, gegraveer is ter nabootsing (miskien as opleiding?) van die renoster aan die linkerkant, die stormende renoster. Na aanleiding van Sanz (2012:315) se kategorisering van rotskunswerke (sien 2.2.2.1), kan hierdie renosters as

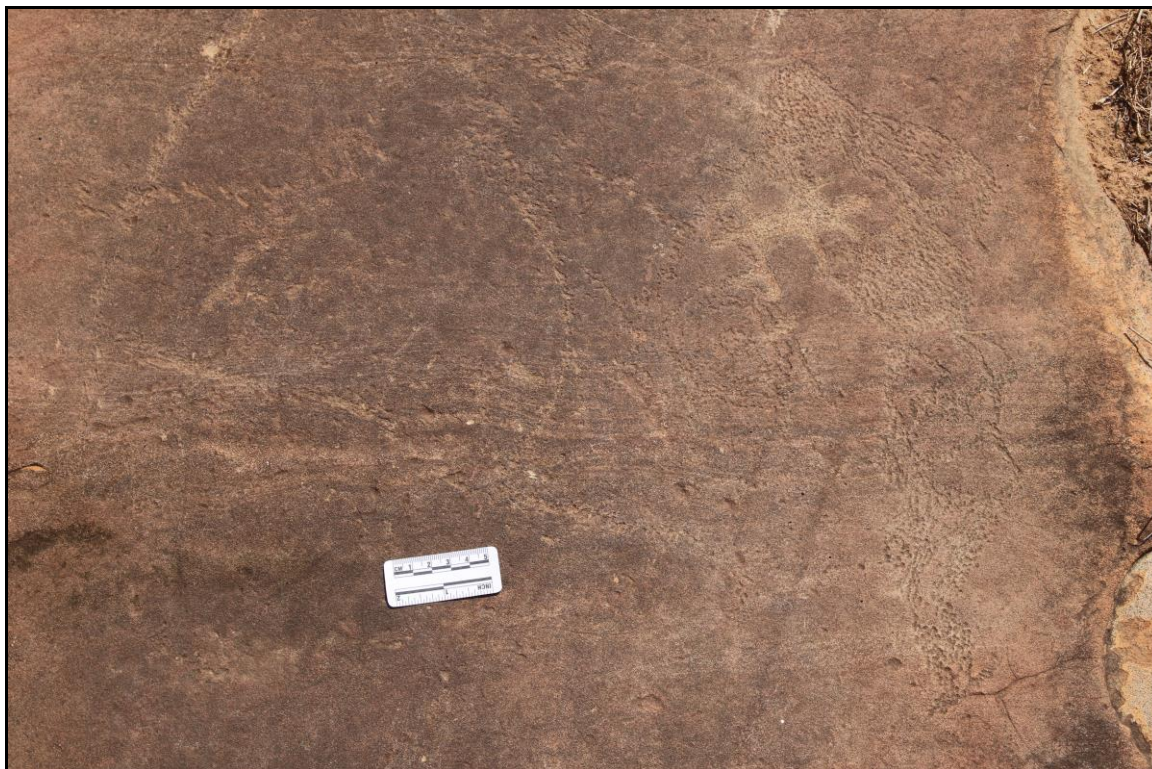
'geïsoleerde motiewe' geklassifiseer word aangesien dit geskei is van ander kunswerke wat ook te sien is op die rots.



Figuur 5.7: Die renosters.

Meting van die multinaavorsingsmodel se effektiwiteit sal geskied op grond daarvan dat:

- Alhoewel die stormende renoster oor besondere noukeurig geskepte graveringslyne beskik, die model hierdie lyne moontlik beter kan definieer.
 - Die petroglyf van die stilstaande renoster moeilik identifiseerbaar is, en dus of die digitale sigbaarheid daarvan moontlik verhoog kan word by wyse van die model.
- ii) *Sjamaan (BF02-01)*. Hierdie petroglyf vertoon op 'n rots wat 'n area van 1.5m² beslaan (Figuur 5.8). Na afloop van 'n vroeëre besoek aan die rotskunsterrein op Bosworth blyk dit uit die bestudering van die digitale foto's wat van die kunswerke geneem is, om 'n moontlike uitbeelding van 'n sjamaan te wees wat 'n rituele dans uitvoer. Hierdie hipotese is gevorm na aanleiding van 'n menslike figuur wat uitgebeeld word met sy/haar arms en bene in 'n dansende posisie en met 'n hooftooisel op sy/haar kop. Ook is daar spiraalagtige motiewe gegraveer rondom hierdie figuur.



Figuur 5.8: Die sjamaan.

Meting van die multinaavorsingsmodel se effektiwiteit sal geskied op grond daarvan dat:

- Tot watter mate visuele uitsluitel gegee kan word in terme van die figuur in die kunswerk, menend dat dit wél bo redelike twyfel 'n dansende menslike figuur met 'n hooftooisel is. Ook of dit 'n uitbeelding van 'n spiraalagtige motief is wat voor hom/haar in die rots uitgekeep is.
- iii) *Jagtoneel (BF03-01)*. Die kunswerke op hierdie rots bestaan uit verskeie motiewe, maar vir die doel van hierdie studie word slegs op die jagtoneel aan die linkerkant van die rots gefokus: 'n Man wat twee elande jag (Figuur 5.9). Die rots beslaan 'n area van 1.3m².

Meting van die multinaavorsingsmodel se effektiwiteit sal geskied op grond daarvan dat:

- Of by wyse van die waarneembaarheidsmanipulering-opsies in hierdie model, meer lig gewerp kan word op hierdie toneel in terme van moontlike 'onsigbare' motiewe.

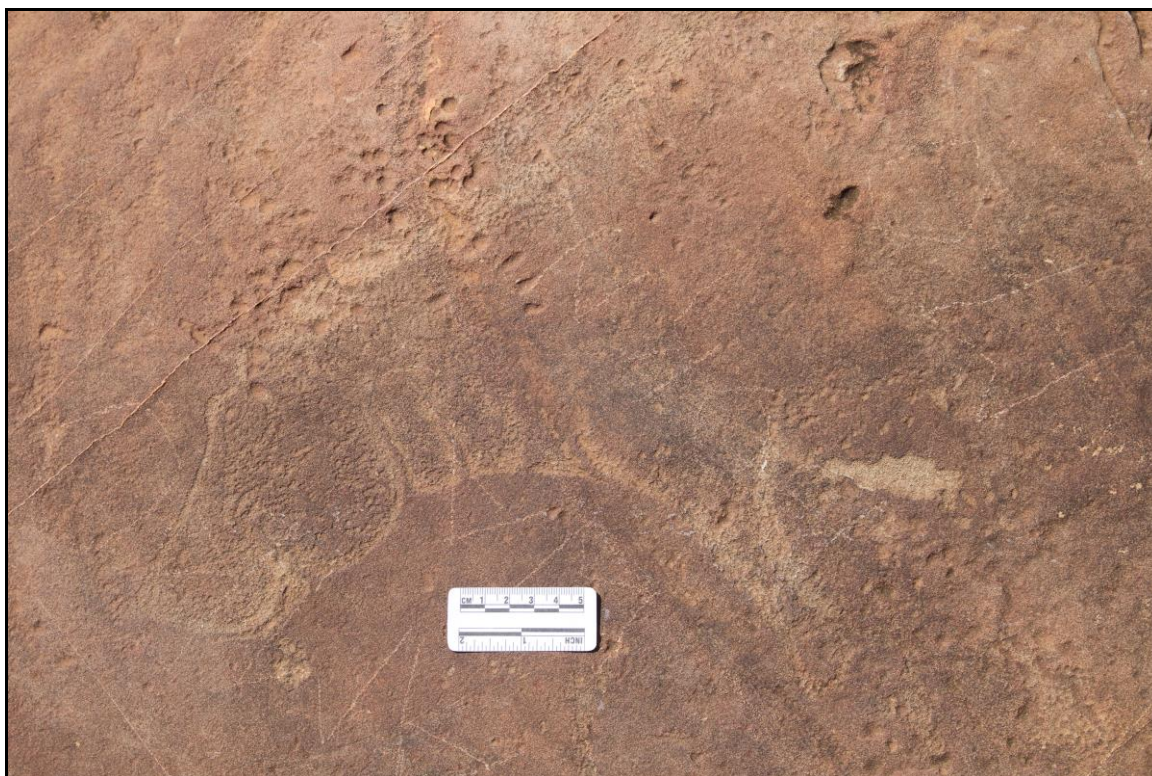


Figuur 5.9: Rots met die jagtoneel.

- iv) *Seekoei (BF04-01)*. Hierdie petrogliëf is gegraveer op 'n rots wat 'n area van 2.43m² beslaan en is 'n toonbeeld van die kunstige tegnieke en vermoë waaroor van die vroeëre kunstenaars beskik het (Figuur 5.10). Die betrokke uitbeelding van 'n seekoei het ook al in verskeie publikasies verskyn. Ook is hierdie petrogliëf een van die grootste getuïenisse op die terrein van die behoefte aan die bewaring van die rotskuns in Suider Afrika vanweë die vandalisme waaronder die petrogliëf deurgeloop het in 2015 (sien 2.7.2.2).

Meting van die multinaavorsingsmodel se effektiwiteit sal geskied op grond daarvan dat:

- Of kan met die toepassing van die waarneembaarheidsmanipulering-opsies op hierdie petrogliëf, die fynere besonderhede ten toon te gestel word wat andersins slegs visueel waarneembaar is op die terrein self.
- Uitsluitel gegee kan word oor die moontlikheid dat 'n groter gedeelte van die seekoei oorspronklik geskep en sigbaar was.



Figuur 5.10: Die seekoei.

5.5 Voorstelling en waarneembaarheidsmanipulering: Effektiwiteit van die multinavorsingsmodel

Die effektiwiteit van hierdie multinavorsingsmodel word bepaal na gelang van twee kriteria naamlik:

- i) Of die webtoepassing die konteks waarbinne die rotskunswerke voorkom, doeltreffend illustreer (sien 5.5.1 en 5.5.2 vir die resultaat van hierdie kriteria).
- ii) Of die sigbaarheid en/of identifisering van die kunswerke, of elemente in die kunswerke, verhoog kan word (sien 5.5.3 vir die resultaat van hierdie kriteria).

5.5.1 Landingsbladsy met subbladsye

Wat die effektiwiteit van die landingsbladsy met sy subbladsye se wyse van voorstelling en kapasiteit tot ruimtelike analisering van die terrein betref, kan dit soos volg uiteengesit word (Figuur 5.11):

Bl.1 - Landingsbladsy: Die titel, '*The Rock Art Study Suite*', tesame met die subtitel, '*A Multi-*
142

Research Model’, dui uit die staanspoor aan waarom die webtoepassing handel. Voorts verskaf die beskrywing direk onder die nutsbalk ‘n verduideliking van wat hierdie multinavorsingsmodel behels. Alhoewel hierdie drie beskrywings aan die verbruiker ‘n duidelike beeld bied van waarom die webtoepassing handel, sê dit nie hoe die model toepasbaar gemaak is vir hierdie studie nie. Vir dié doel word die Bosworth-terrein onderaan die bladsy genoem met ‘n kort agtergrond van die plaas met sy rotskuns en erfeniswaarde wat gegee word. Die ‘Load’-knoppie onder in hierdie raam, gee dan ook aan die verbruiker te kenne dat hierdie model op Bosworth-plaas toegepas word deurdat data van die rotskunsterrein laaibaar is. Aanvullend tot hierdie inligting, word die verhouding tussen die multinavorsingsmodel en Bosworth-rotskunsterrein duidelik uitgebeeld wanneer die skakel wat langs die ‘Load’-knoppie geleë is, gevolg word: Hierdie skakel lei die verbruiker na ‘n kort video op *Youtube* wat aan hom/haar dui wat die moontlikhede ten opsigte van die interaktiewe manipuleringsopsies toegepas op die data van die rotskunsterrein van Bosworth, is.

Benewens hierdie inligting, stel die bladsy addisionele inligting tot die beskikking van die verbruiker in die vorm van kiesopsies op die nutsbalk waarvan elk in ‘n nuwe venster oopmaak:

- *Bl.2(i) – ‘About’*: Skets die agtergrond van die ontstaan en doel van hierdie webtoepassing. Hierdeur word die toepassing in die studiekonteks geplaas.
- *Bl.2(ii) – ‘Animals’*: Hierdie kiesopsie, tesame met ‘*Human Figures*’ en ‘*Scenes*’, se doel is tweeledig van aard:
 - Om as databasis te dien in hul onderskeie kategorieë, sou die verbruiker na die versameling kunswerke met byvoorbeeld slegs diere in wou kyk en/of bestudeer.
 - Om ‘n direkte skakeling tussen die kunswerk en sy waarneembaarheidsmanipulering-opsies te bied.

Daar is twee van die vier geselekteerde rotse waarvan die kunswerke uitsluitlik uit diere bestaan, naamlik BF01-01 en BF04-01. Wanneer die ‘*Analyse*’-opsie wat onder die 2D kleuruitbeeldings van elk staan gekies word, maak die venster van die betrokke kunswerk in Afdeling C oop. Hier kan dan verdere bestudering en waarneembaarheidsmanipulering van die kunswerk/e in sy verskillende uitbeeldingsvorme plaasvind.

- *Bl.2(iii) – ‘Human Figures’*: In hierdie venster is die 2D kleuruitbeeldings van slegs een van die vier rotse se kunswerke, naamlik BF02-01. Op dieselfde wyse neem sy

'Analyse'-opsie die verbruiker na sy betrokke venster in Afdeling C.

- *Bl.2(iv) – 'Scenes':* BF03-01 met sy jagtoneel word in hierdie venster vertoon weereens met 'n 'Analyse'-opsie om die verbruiker na die betrokke kunswerk se venster in Afdeling C te neem.
- *Bl.2(v) – 'Other Motifs':* Vir hierdie studie is daar twee 2D kleuruitbeeldings in hierdie venster geplaas, genoem '*Image 1*' en '*Image 2*'. Eersgenoemde bevat 'n (tot dusver) ongeïdentifiseerde motief, terwyl laasgenoemde 'n verskeidenheid van motiewe bevat soos ondermeer 'n leeu en verskeie datums. In stede van 'n 'Analyse'-opsie, het die verbruiker hier 'n '*Enlarge*'-opsie by elke foto wat die uitbeelding vergroot na volskerm. Hierdie uitbeeldings het dus nie 'n venster in Afdeling C om dit te bestudeer en manipuleer nie, maar wat wel later bygewerk kan word. Om slegs 'n '*Enlarge*'-opsie te gee, is die eerste stap nadat die kunswerk opgeneem is om dit sodoende eers net digitaal beskikbaar te stel alvorens die data se verwerking in al die afdelings afgehandel is.
- *Bl.2(vi) - 'Contact Us':* Hierdie venster bevat die kontakbesonderhede van die student, asook inligting van die graad waarvoor hierdie studie gedoen is. Die verbruiker kan dus vrae en voorstelle rondom die webtoepassing en/of data wat daarin vervat is, aan die student rig by wyse van e-pos.
- *Bl.2(vii) – Ortomosaïek-kaart:* Wanneer die '*Load*'-opsie onder Bosworth se beskrywing gekies word, word die *WebGL* gelaai waarna die ortomosaïek-kaart van die rotskusterrein op Bosworth-plaas oopmaak. Sodra die kaart oopmaak, is dit reeds gefokus op die area waar BF01-01 geleë is. Die verbruiker kan dan in hierdie ortomosaïek-kaart rondbeweeg deur die kaart te skuif in enige rigting om sodoende die area met die vier rotse te bestudeer in terme van die omgewing met sy plantegroei en omliggende rotse.

Die oranje ikoon waarmee die ligging van die vier voorafgeïdentifiseerde rotse op die kaart aangedui is, maak dat hul maklik visueel opspoorbaar is. Hierdeur is dit ook moontlik om die ruimtelike plasing van die vier rotse te bestudeer wanneer van die uitzoem funksionaliteit gebruik gemaak word. Hiermee saam kan daar weer op enige gegewe area ingezoem word tot so 'n mate dat die vorms van die vier geselekteerde rotse duidelik onderskei kan word van die omliggende entiteite.

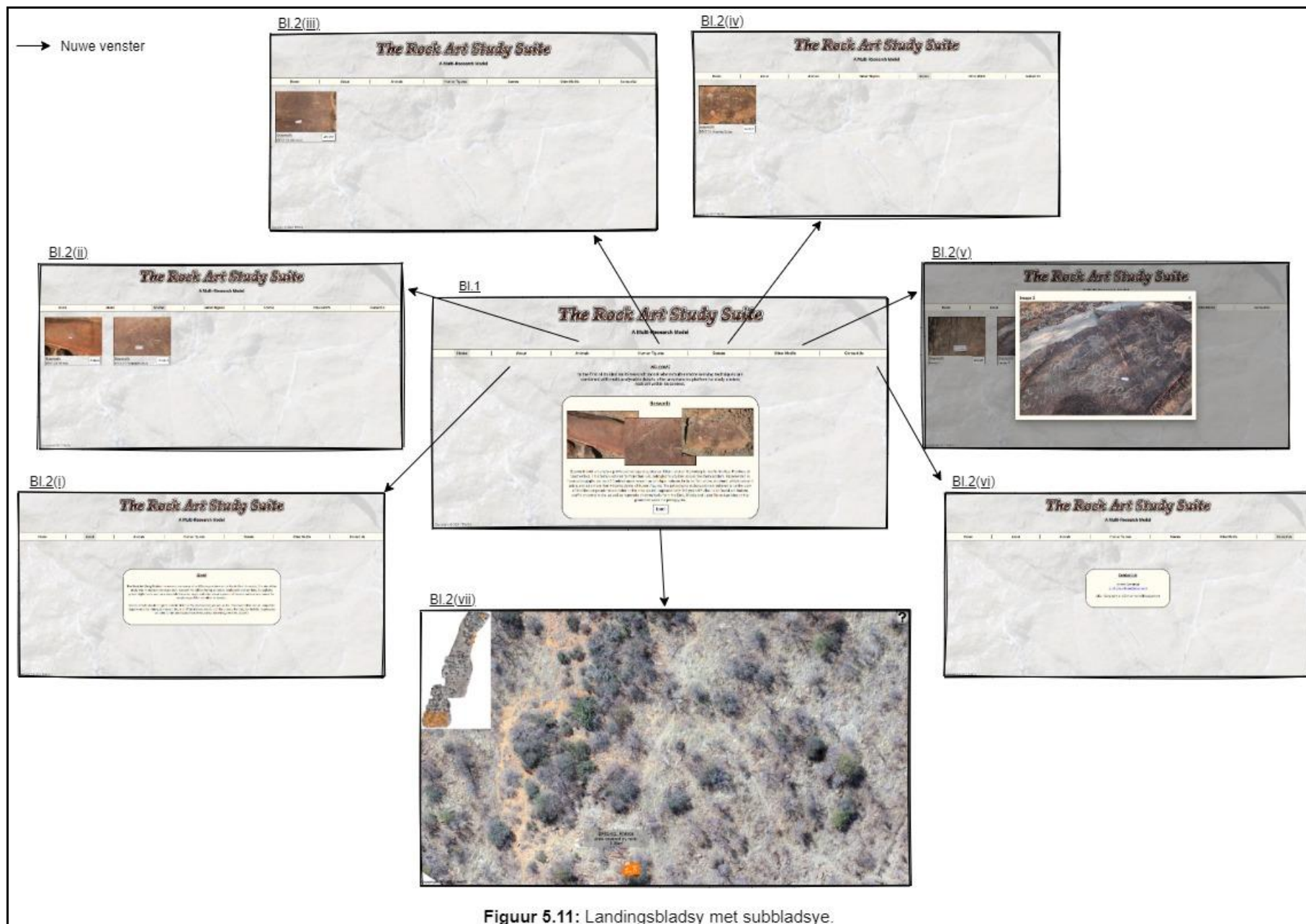
'n Tekortkoming in die samestelling van hierdie kaart met sy interaktiewe vermoë is dat

die ikone met die toepaslike identifiseringsetikette van elke rots, saam met die kaart verklein wanneer uitgezoem word en weer vergroot wanneer ingezoem word op die kaart. Hierdie verandering in grootte van die identifiseringselemente lei daartoe dat dit nie meer so duidelik sigbaar is as heeltemal uitgezoem word nie en weer byna té groot is as tot die maksimum kapasiteit ingezoem is. Die ideaal sal wees dat hierdie elemente dieselfde grootte vertoon op al die skale van die kaart en kan bemeester word deur 'n addisionele *script* in *Unity* te skryf om 'n standaard grootte aan die ikone toe te ken wat deurgaans gehandhaaf word, onafhanklik van die mate wat die kaart in- of uitgezoem word.

Die bestudering van die ruimtelike plasing word verder bevorder deur die raam wat oor die kleiner 2D verteenwoordiging van die ortomosaïek-kaart in die boonste linkerhoek beweeg in verhouding tot die gedeelte van die volskerm kaart wat in die venster vertoon op die gegewe tydstip. Dus kan die gebruiker hom- of haarself op enige stadium tydens die bestudering van die terrein vergewis van sy/haar ruimtelike oriëntasie ten opsigte van die groter kaart.

Opsomming van die effektiwiteit van die landingsbladsy met sy subbladsye

Die landingsbladsy met sy subbladsye is effektief in die sin dat dit die totale studie in konteks plaas in terme van kategorisering van die onderskeie elemente vervat in die studie. Die gebruiker verstaan waaroor die studie gaan en kan die komponente wat hom/haar op die gegewe stadium interesseer, selekteer.



Figuur 5.11: Landingsbladsy met subbladsye.

5.5.2 Afdeling A en B

Na aanleiding van die resultate wat verkry is in terme van konteksvoorstelling en analisering van die ortomosaïek-kaart en die 3D rotsmodelle (sien Figuur 5.12 vir rotasie moontlikhede van hierdie 3D rotsmodelle), kan die effektiwiteit van hierdie gedeelte van die multinavorsingsmodel soos volg uiteengesit word:

Bl.2(viii) – Ortomosaïek-kaart: Elk van die vier rotse se toepaslike identifiseringsetiket is bo die rots op die kaart geposisioneer. Hierdie etikette is van waarde vir die ruimtelike analisering van die kunswerke in terme van konteksplasing. As die rotskunswerke op só 'n kaart meer gekonsentreerd voorkom, sal dit ideaal wees as hierdie etikette versteek is en slegs as 'n opspringskerm te voorskyn kom wanneer met die muis oor die betrokke ikoon beweeg word.

Voorts verhelder die bepaalde rots op die volskermkaart sodra daar met die muis oor só 'n oranje ikoon beweeg word. Die gebruiker het dan die opsie om op die ikoon te klik vir die verskyning van 'n toepaslike opspringskerm (Afdeling B).

Bl.3(i) – (iv) - Opspringskerms: Die 3D rotsmodel wat op hierdie skerm verskyn bied aan die gebruiker 'n duidelike beeld van die kontoere van die rots. Deur die rots te roteer, kan die variasie in hoogte en diepte van die rots ook duidelik waargeneem word. Terwyl hierdie rotse slegs van bo (2D) gesien kan word op die kaart sonder dat die posisie van die kunswerke op die rots bepaalbaar is, kan die petrogliewe hier in konteks van die rotstopologie bestudeer word. Let wel, aangesien die morfologie van die petrogliewe nie só duidelik vertoon op hierdie 3D rotsmodelle nie (veral in die geval van BF02-01) is die 2D uitbeelding in die boonste linkerhoek van die opspringskerm van groot waarde. Die 2D uitbeeldings in die opspringskerm is doeldienend in terme van die plasing van sommige motiewe op die rotsmodel. Om hierdie rede, asook ter kennisneming, word daar 'n beskrywing van die betrokke kunswerk aan die onderkant van die opspringskerm gegee.

Wanneer die '*Close Window*'-opsie op hierdie opspringskerm gekies word, kan voortgegaan word om die terrein te bestudeer en na 'n volgende rotskunswerk te beweeg. Indien die '*Analyse*'-opsie gekies word, word die gebruiker geneem na 'n nuwe venster met 'n uitbeelding van slegs die kunswerk/e op die bepaalde rots (Afdeling C).

Opsomming van die effektiwiteit van die ortomosaïek-kaart en opspringskerms

Die ortomosaïek-kaart van die rotskunsterrein bied aan die gebruiker die ruimtelike konteks van die studie in terme van die posering van die rotse en hoe die terrein self daar uit sien. Die effektiwiteit van die opspringskerms in die multimediasingsmodel is nie net geleë in die vermoë van die 3D rotsmodelle om konteks te bied rakende die posering en grootte van die petrogliewe op die rotse self nie, maar ook om die topologie van die onderskeie rotse te kan bestudeer.

5.5.3 Afdeling C

Die laaste deel van hierdie model behels die bestudering en waarneembaarheidsmanipulering van die individuele kunswerke op die vier rotse. 'n Venster met 'n naby-foto van elk van die onderskeie kunswerke is geskep vir hierdie doel. Die effektiwiteit van die funksies vervat in hierdie afdeling sien soos volg daaruit:

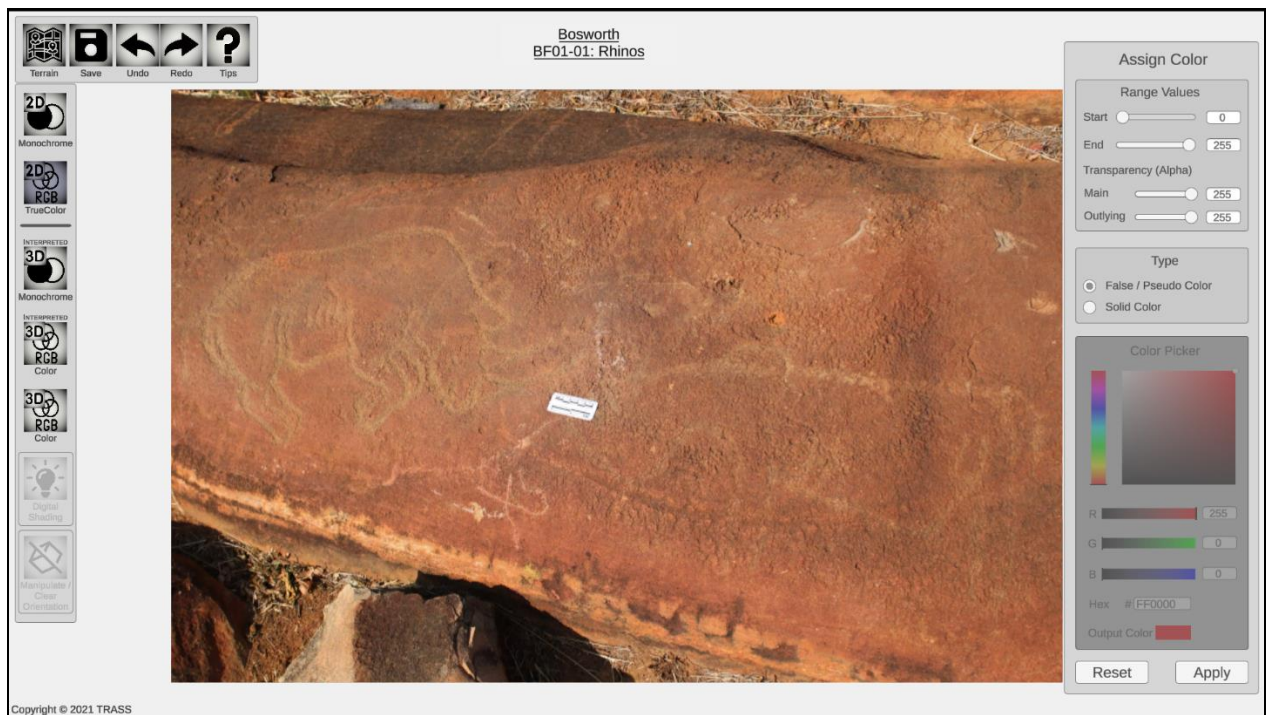
5.5.3.1 BF01-01 (Renosters)

2D Kleuruitbeelding

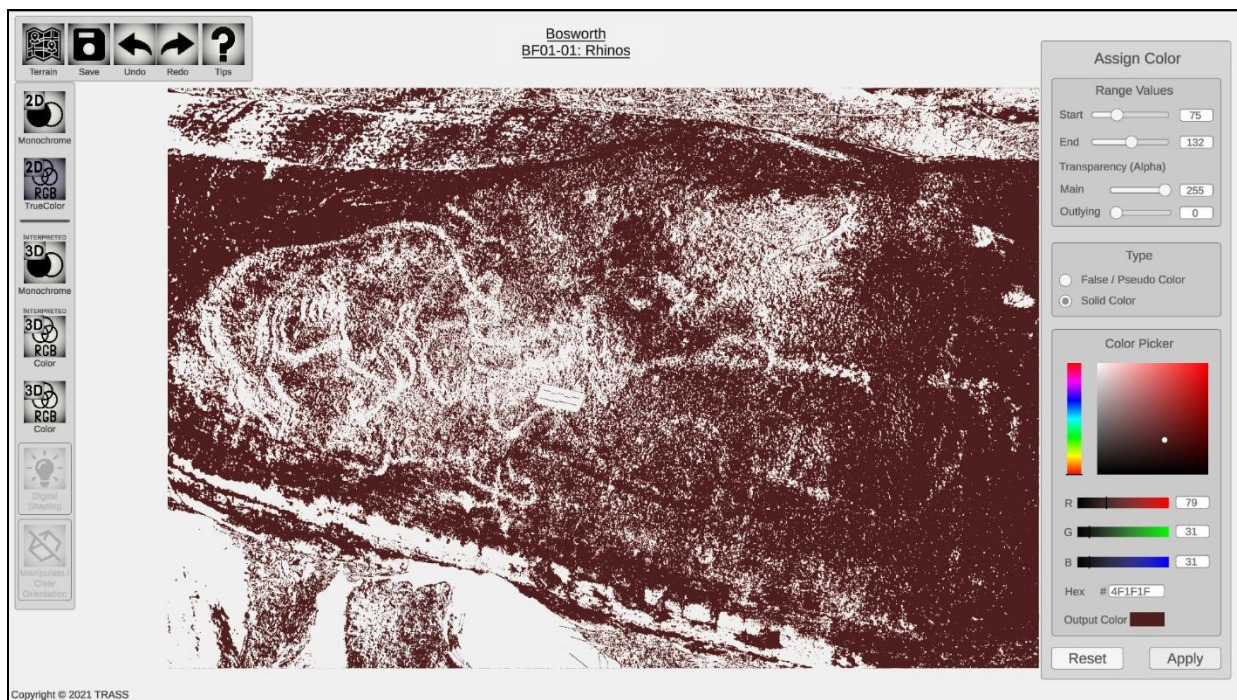
Wanneer hierdie venster oopmaak, kan 'n duidelike stormende renoster aan die linkerkant van die uitbeelding waargeneem word. Minder duidelik aan die regterkant kan 'n tweede, stilstaande renoster gesien word. Die lyne van hierdie tweede renoster blyk nie so diep gegraveer te wees soos die een aan die linkerkant nie en verteenwoordig ook nie dieselfde kunstenaarstalent nie (Figuur 5.13).

Ná afloop van die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeeldingsvorm, is die maksimum sigbaarheid van beide renosters verkry deur die toekenning van die volgende waardes tot 'n nuwe RGBA (R = rooi, G = groen, B = blou, A = alfa (deursigtigheid van die onderskeie kleure))-kleurspasie (Figuur 5.14):

- Reekswaardes vir vals kleure - 75/132.
- Graveringslyne wat na wit gestel is deur die alfawaardes te stel na 255/0.
- 'n Bruin kleur as soliede kleur toe te ken.



Figuur 5.13: 2D Kleuruitbeelding van BF01-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.A4(i)' in Figuur 5.23).



Figuur 5.14: 2D Kleuruitbeelding van BF01-01 na afloop van manipulering ('Bl.A4(i) – Gemanipuleer' in Figuur 5.23).

2D Monochroomuitbeelding

Wanneer die '2D Monochrome'-opsie op die skerm gekies word, verskyn die swart en wit

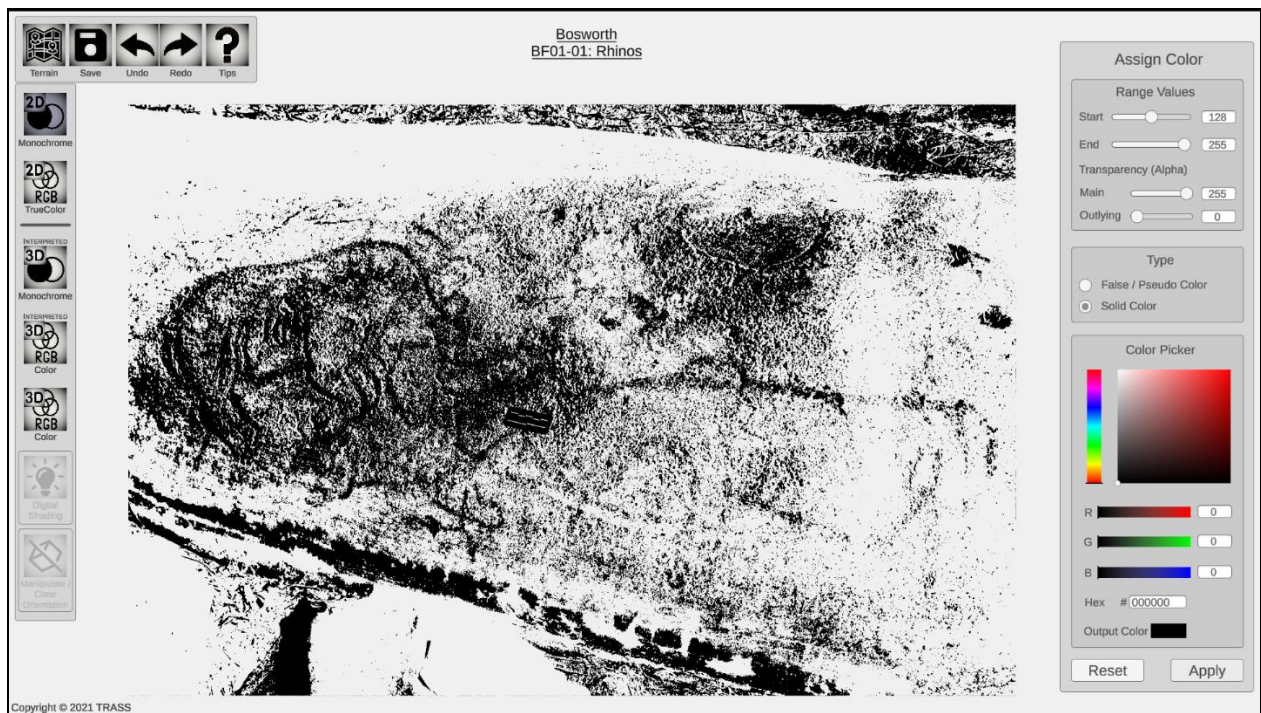
uitbeelding van BF01-01, gereed vir digitale waarneembaarheidsmanipulering. Sien Figuur 5.15 ter illustrasie. In hierdie uibeeldingsvorm het dit voorgekom of die aanvanklike kontras tussen die rots en die petroglieuwe groter is as in die oorspronklike 2D kleuruitbeelding.



Figuur 5.15: 2D Monochroomuitbeelding van BF01-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.A4(ii)' in Figuur 5.23).

Met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeelding was gepoog om die morfologie van die petroglieuwe so donker as moontlik te maak en die rots rondom die kunswerke weer so lig as moontlik (Figuur 5.16). Vir dié doel was die volgende kombinasie van waardes toegeken:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 128/255.
- Rotsoppervlakte rondom die petroglieuwe is na wit verander deur die alfawaardes weereens te stel na 255/0.
- Swart as soliede kleur.



Figuur 5.16: 2D monochroomuitbeelding van BF01-01 na afloop van manipulering ('Bl.A4(ii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.23).

Vertolkte 3D oppervlakuitleiding (kleur)

Die venster maak oop met 'n vertolkte 3D kleurvoorstelling van BF01-01 se oppervlakte met die petrogliewe op (Figuur 5.17).

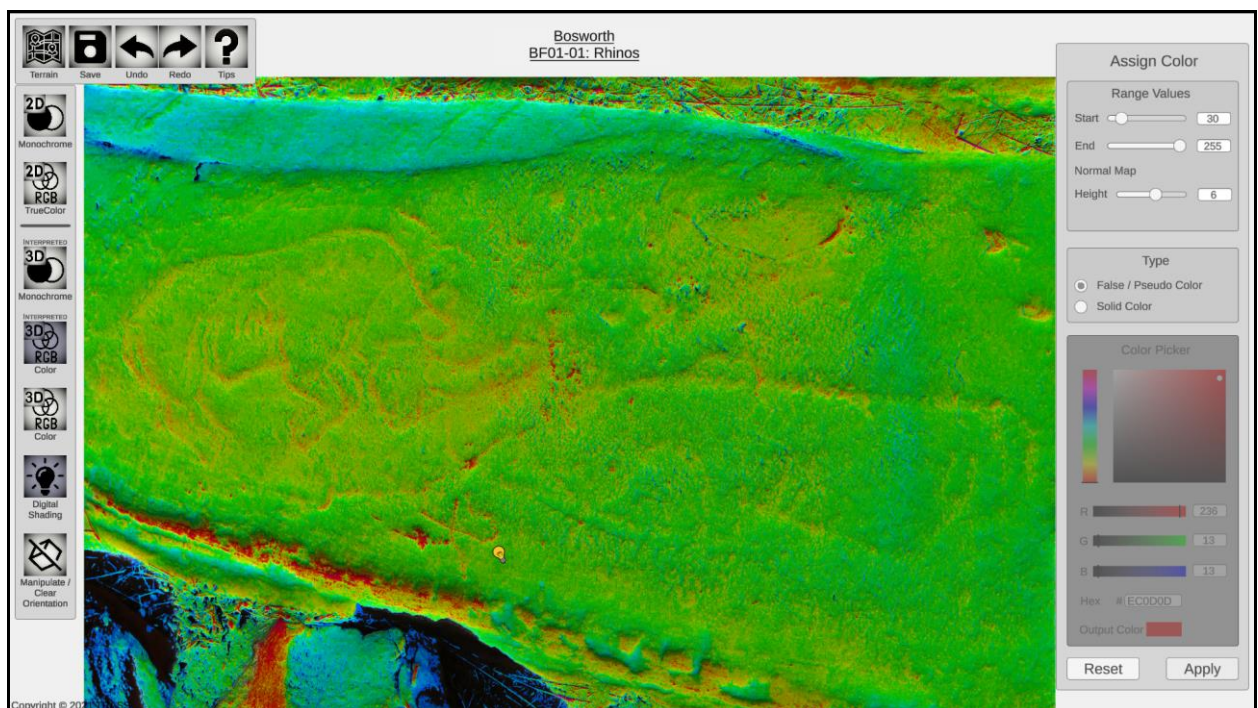
Met die toeken van nuwe RGB-kleurspasies was die variasie in kleur deurentyd gering, maar kon tog genoeg verskil tussen die kleur van die petrogliewe en die rotsoppervlakte rondom vermag word om die lyne duideliker te kan sien. Tesame met verstelling aan die diepte van die graverings kon die beste resultate verkry word, veral wanneer met die digitale ligstraal daaroor beweeg is (Figuur 5.18).

Die toegekende waardes was:

- Reekswaardes vir vals kleure van 30/255.
- Hoogte as 6.



Figuur 5.17: Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF01-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.A4(iii)' in Figuur 5.23).



Figuur 5.18: Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF01-01 in kleur na afloop van manipulering ('Bl.A4(iii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.23).

Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding (monochroom)

Die vertolkte 3D monochroom oppervlakuutbeelding waarmee hierdie venster oopmaak, het

reeds beide renosters sigbaar vertoon tot 'n groot mate (Figuur 5.19).

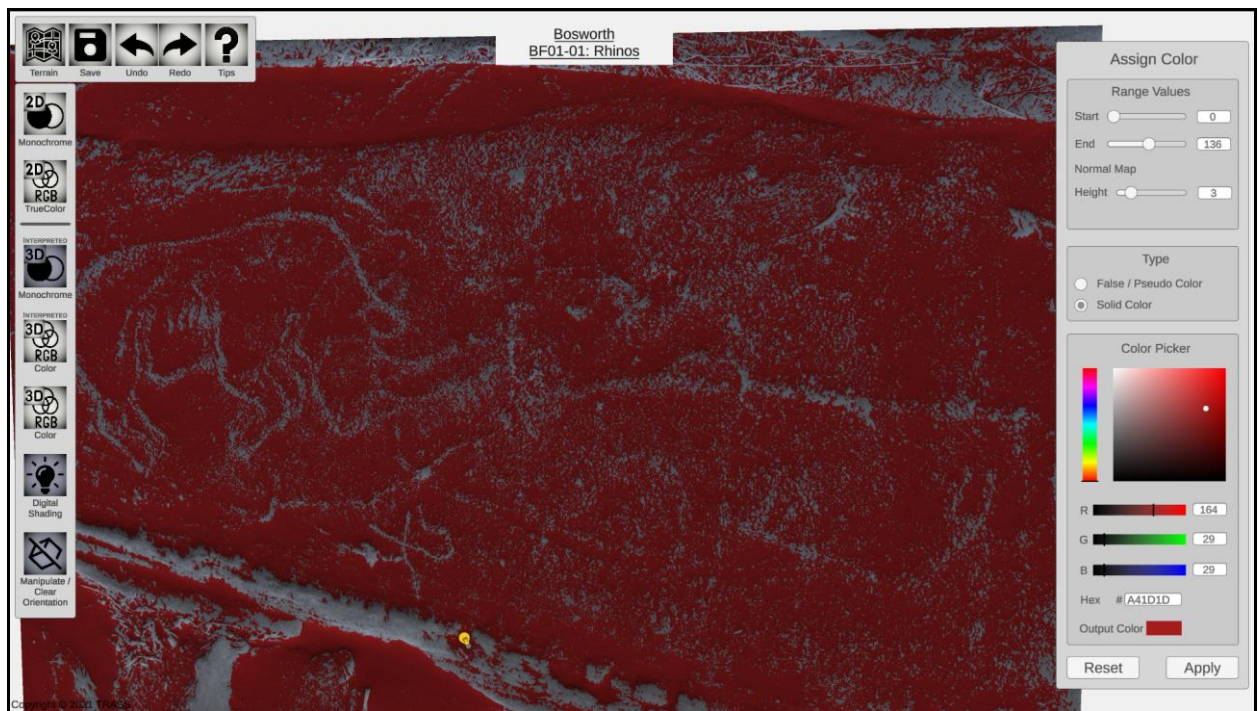


Figuur 5.19: Vertolkte 3D oppervlaktebeelding van BF01-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.4A(iv)' in Figuur 5.23).

Daar was gepoog om met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeeldingsvorm die grys kleur van die gravure te behou en slegs 'n kontrasterende kleur te kies vir die rotsoppervlakte rondom. Die resultaat daarvan kan in Figuur 5.20 gesien word. Weereens was die funksie om die hellingshoek te manipuleer ingespan tesame met die digitale ligstraal om maksimum sigbaarheid te verkry.

Die nuuttoegekeende waardes het soos volg daaruit gesien:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 83/131.
- Rooi as soliede kleur.
- Hoogte as 4.



Figuur 5.20: Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF01-01 in monochroom na afloop van manipulering ('Bl.A4(iv) – Gemanipuleer' in Figuur 5.23).

3D Oppervlakmodel

Die graveringslyne van die stormende renoster was reeds duidelik gedefinieerd met die oopmaak van hierdie uitbeelding (Figuur 5.21).



Figuur 5.21: 3D Oppervlakmodel van BF01-01A voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.A4(v)' in Figuur 5.23).

Sodra hierdie 3D model vergroot en getilt was, het die renoster se lyne nog duideliker vertoon. Ook was die digitale ligstraal oor die uitbeelding beweeg en het sodoende die onderskeie areas uitgelig vir verhoogde visuele aansig in terme van die definiëring van die renoster se lyne (Figuur 5.22).

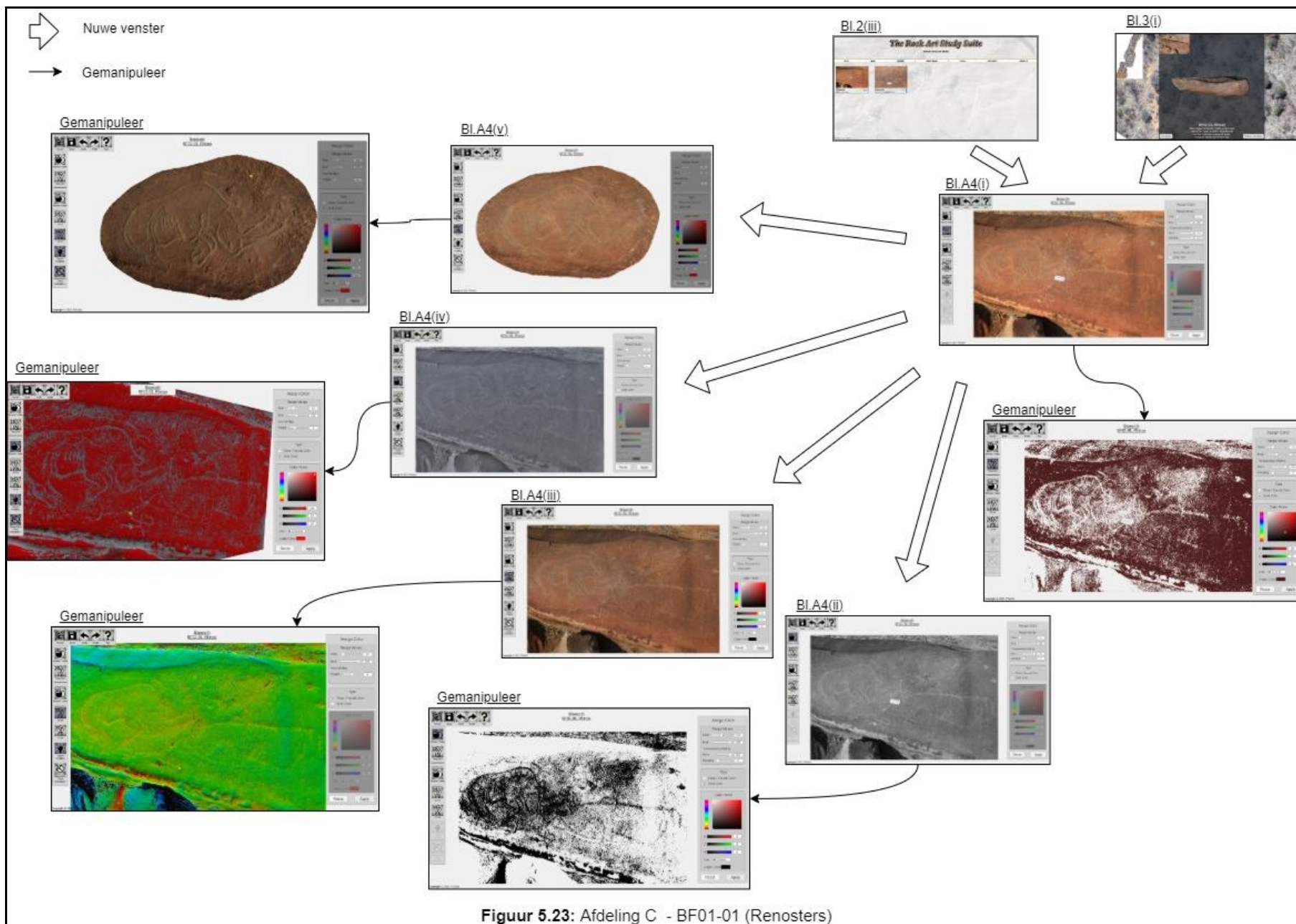


Figuur 5.22: 3D Oppervlakmodel van BF01-01A na afloop van manipulering ('Bl.4A(v) – Gemanipuleer' in Figuur 5.23).

Opsomming van resultate van waarneembaarheidsmanipulering toegepas op BF01-01

Met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie petrogliewe, het die 3D oppervlakmodel die beste resultate gelever in terme van beter definiëring van die stormende renoster se graveringslyne. Die lyne vertoon besonders goed en duidelik in hierdie uitbeeldingsvorm, veral teen 'n hoek gedraai met die digitale ligstraal wat daarvoor beweeg word.

Let wel, aangesien die 3D oppervlakmodel slegs die stormende renoster uitbeeld, kan die vertolkte 3D oppervlakuutbeelding geïdentifiseer word as die opsie wat die beste resultaat gelever het met betrekking tot die stilstaande renoster. Die mate van verhoogde sigbaarheid wat verkry is deur die resultate van spesifiek die gemanipuleerde monochroomuitbeelding (Figuur 5.20), kan die hoogste aangeslaan word. Hierin kan beide renosters die duidelikste gesien en die lyne van bestudeer word. Verhoogde sigbaarheid is tot 'n kleiner mate verkry deur die waarneembaarheidsmanipulering van die 2D uitbeeldings.



2D Kleuruitbeelding

Wanneer BF02-01 oopmaak in Afdeling C, verskyn die 2D kleuruitbeelding van die menslike figuur met 'n moontlike spiraalagtige motief voor hom/haar (Figuur 5.24). Die identifisering van hierdie onderskeie komponente op die rots was baie moeilik in hierdie uitbeelding.



Figuur 5.24: 2D Kleuruitbeelding van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.B4(i)' in Figuur 5.34).

Ná talle waarneembaarheidsmanipulering-opsies in terme van vergroting en die toeken van verskeie waardes, kon steeds nie 'n groot kontras tussen die kunswerk en die rotsoppervlakte rondom verkry word nie (Figuur 5.25). Nietemin het beide die figuur en moontlike spiraalmotief duideliker vertoon met die toeken van die volgende waardes tot nuwe RGBA-kleurspasies:

- Reekswaardes vir vals kleure - 112/215.
- Alfawaardes te stel na 106/205 om die toegekende kleurspasie meer deursigtig te kry om sodoende die sigbaarheid van die donkerder kepinge te verhoog.



Figuur 5.25: 2D Kleuruitbeelding van BF02-01 na afloop van manipulering ('Bl.B4(i) – Gemanipuleer' in Figuur 5.34).

2D Monochroomuitbeelding

Net soos met BF01-01, het die aanvanklike 2D monochroomuitbeelding die onderskeie motiewe meer duidelik vertoon as met die oorspronklike 2D kleuruitbeelding (Figuur 5.26).

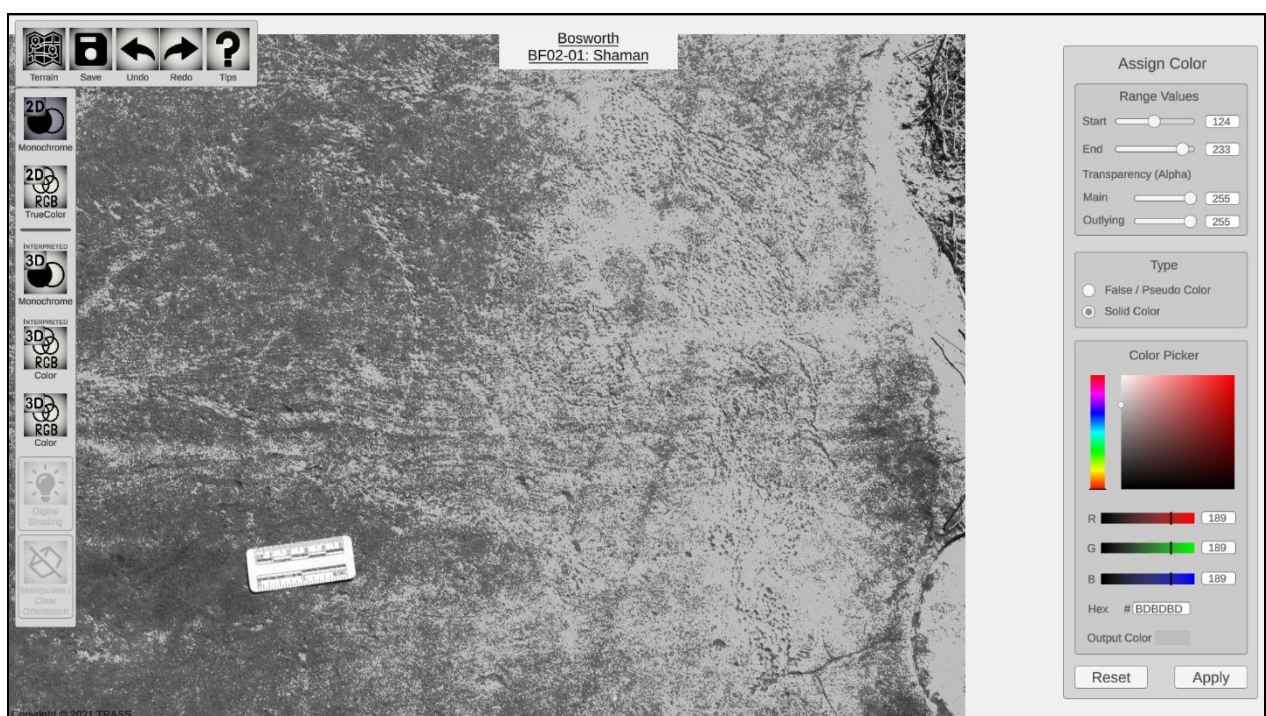


Figuur 5.26: 2D Monochroomuitbeelding van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.B4(ii)' in Figuur 5.34).

Tydens die waarneembaarheidsmanipulering was gepoog om die ligter kleure op die rotsoppervlak 'n kleur toe te ken wat sou kontrasteer met die donkerder kleure waarvan die kleur nie gemanipuleer was nie. 'n Baie ligte grys het die beste resultate getoon vir dié doeleinde. Hierna het die figuur en moontlike spiraalmotief wel tot 'n mate duideliker vertoon as die aanvanklike 2D monochroomuitbeelding waarmee begin is (Figuur 5.27).

Die toegekeende waardes was as volg:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 124/233.
- 'n Baie ligte grys as soliede kleur.



Figuur 5.27: 2D Monochroomuitbeelding van BF02-01 na afloop van manipulering ('Bl.B4(ii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.34).

Vertolkte 3D oppervlakuitleiding (kleur)

In hierdie uitbeeldingsvorm het die figuur met die moontlike spiraalagtige motiewe steeds onduidelik vertoon (Figuur 5.28).

Met die waarneembaarheidsmanipulering van die betrokke uitbeeldingsvorm is die beste resultate verkry deur die toeken van 'n soliede kleur nadat nuwe RGB-waardes verkry is. Tesame met die toepassing van die digitale ligstraal en tilt van die uitbeelding, was die sigbaarheid en dus identifisering van die onderskeie komponente op die rots aansienlik

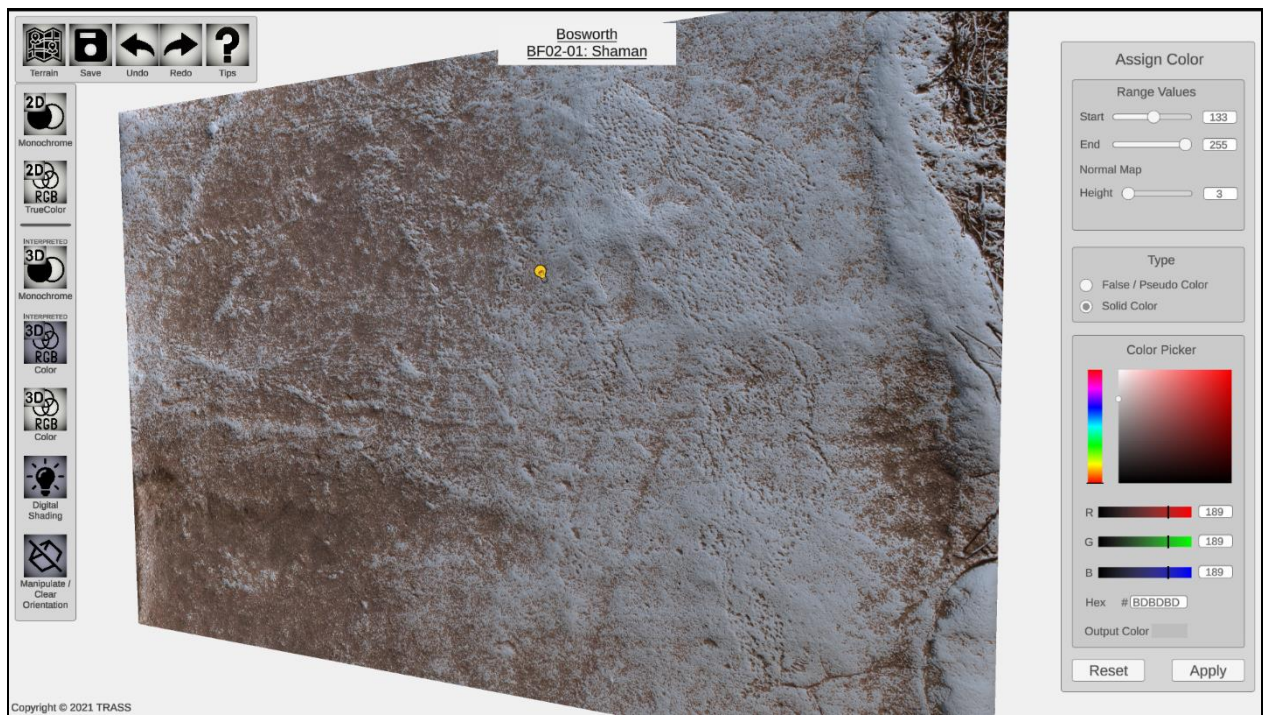
verhoog. Só kon 'n figuur wat heel moontlik in 'n dansende posisie uitgebeeld word tesame met die moontlike spiraalmotief voor hom/haar, gesien word.



Figuur 5.28: Vertolkte 3D oppervlaktuitbeelding van BF02-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.B4(iii)' in Figuur 5.34).

Let wel, daar is gevind dat die donkerder soliede kleure nie dieselfde mate van sigbaarheid tot gevolg het as wat die geval was met die toeken van die ligter kleure nie (Figuur 5.29). Die toegekende waardes was dus vasgestel as:

- Reekswaardes vir vals kleure - 133/255.
- 'n Ligte grys as solied kleur.
- Hoogte as 3.



Figuur 5.29: Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF02-01 in kleur na afloop van manipulering ('Bl.B4(iii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.34).

Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding (monochrome)

Die vertolkte 3D monochrome oppervlakuutbeelding het onduidelik vertoon tot byna dieselfde mate as die oorspronklike 3D kleur oppervlakuutbeelding (Figuur 5.30). Die onderskeie motiewe op die rots was slegs vaagweg identifiseerbaar.

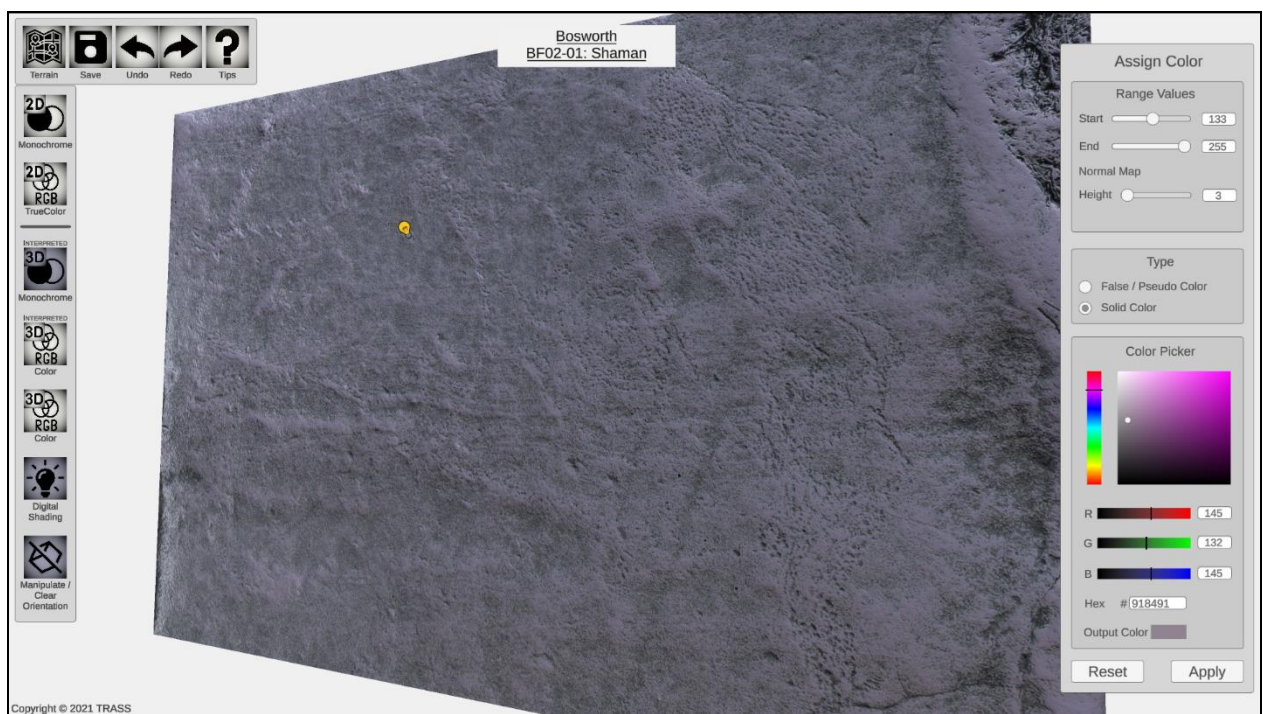
Deur 'n ligte soliede kleur toe te ken met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeelding, terwyl die kepinge se kleur onveranderd gehou is, kon die beste kontras tussen die kunswerke en rotsoppervlakte vermag word. Weereens kon die moontlike dansende figuur geïdentifiseer word tesame met die waarskynlike spiraalmotief voor hom/haar (Figuur 5.31). Met die tilt van die uitbeelding en beweeg van die digitale ligstraal oor die kunswerk kon meer topologiese kenmerke van die rots en dus ook die kunswerke, uitgemaak word.

Toegekende waardes vir hierdie resultaat was:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 133/255.
- 'n Ligte skakering van pers as soliede kleur.
- Hoogte as 3.



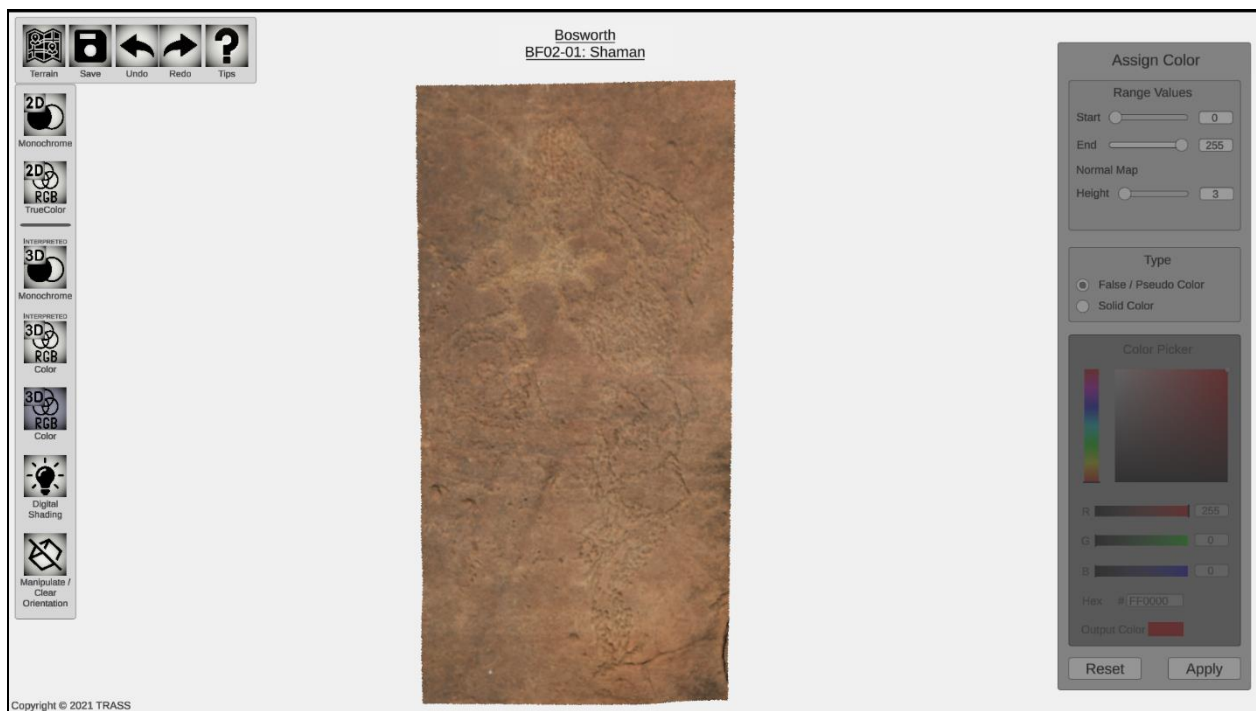
Figuur 5.30: Vertolkte 3D oppervlaktebeelding van BF02-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.B4(iv)' in Figuur 5.34).



Figuur 5.31: Vertolkte 3D oppervlaktebeelding van BF02-01 in monochroom na afloop van manipulering ('Bl.B4(iv) – Gemanipuleer' in Figuur 5.34).

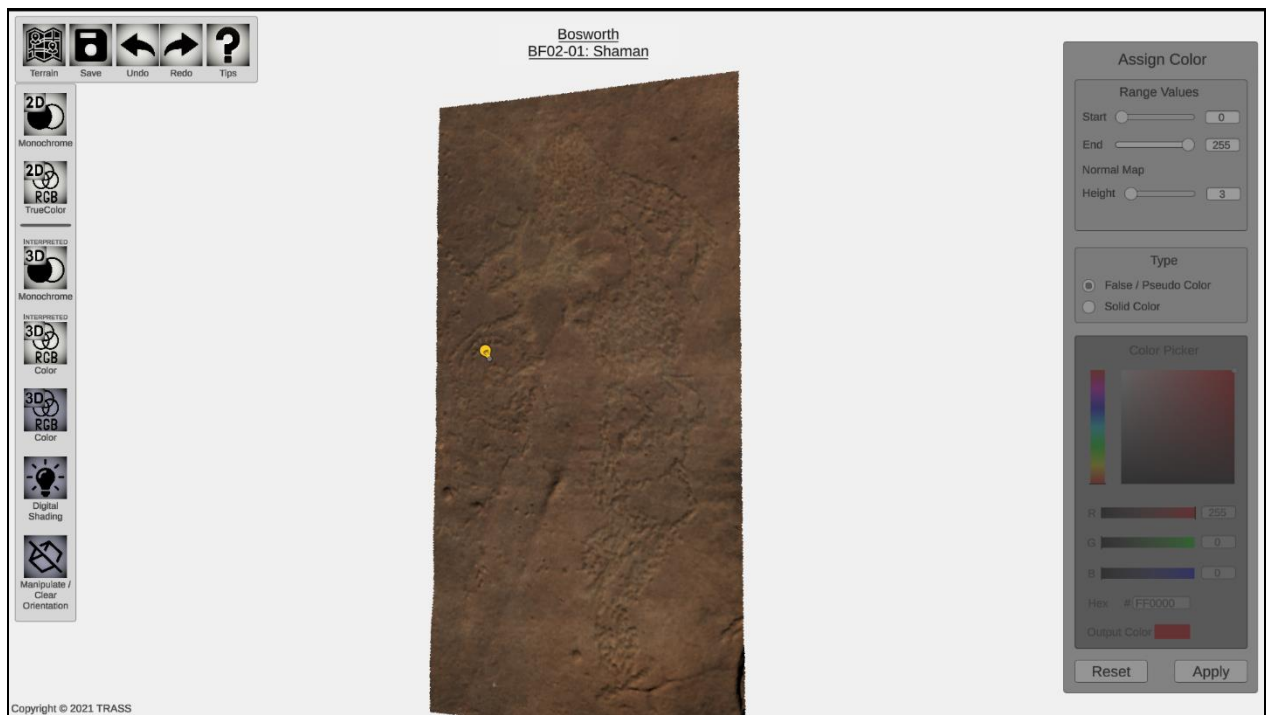
3D Oppervlakmodel

Die menslike figuur, asook 'n spiraalagtige motief was duidelik sigbaar wanneer na die opsie met die 3D oppervlakmodel beweeg is (Figuur 5.32).



Figuur 5.32: 3D Oppervlakmodel van BF02-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.B4(v)' in Figuur 5.34).

Die identifisering daarvan kon verder verbeter word deur op die model in te zoom en met die digitale ligstraal daarvoor te beweeg (Figuur 5.33). Hiermee blyk 'n duidelike uitbeelding van 'n menslike figuur met buigende arms agter sy/haar rug en bene wat blyk om in 'n dansende posisie (albei knieë gebuig, tone effens gepunt en sy/haar een been in 'n hoër posisie as die ander een) te wees. Daar is ook duidelik 'n hooftooisel op die kop van die figuur sigbaar en 'n uitgekepte spiraalmotief voor hom/haar.

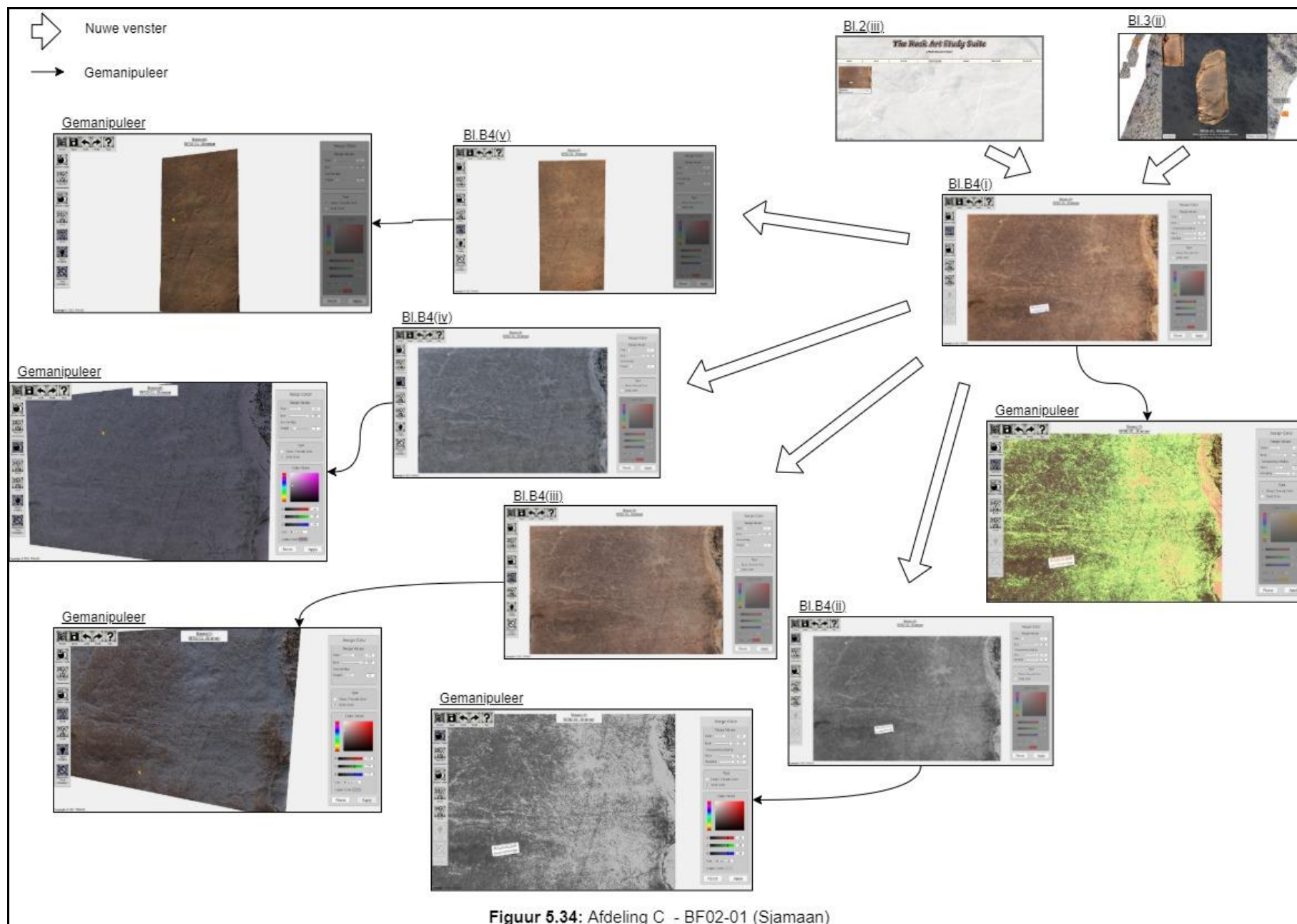


Figuur 5.33: 3D Oppervlakmodel van BF02-01 na afloop van manipulering ('Bl.B4(v) – Gemanipuleer' in Figuur 5.34).

Opsomming van resultate van waarneembaarheidsmanipulering van BF02-01

As gevolg van die feit dat die petrogliewe nie so diep uitgekeep is in BF02-01 nie, het slegs die 3D oppervlakmodel 'n duidelike sigbare resultaat gelever voor én na die waarneembaarheidsmanipulering daarvan (Figuur 5.33). Na aanleiding van hierdie resultaat kon die aanname gemaak word dat hierdie figuur heel waarskynlik wél 'n dansende sjamaan is met 'n spiraalmotief voor hom/haar in die rots uitgekap. Hierdie spiraalagtige motief dui dan ook op die moontlikheid van 'n transdans wat deur die sjamaan uitgevoer word.

Met die waarneembaarheidsmanipulering van die 2D uitbeeldings en vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings aan die anderkant, kon die sigbaarheid van die sjamaan en spiraalmotief slegs tot 'n klein mate verhoog word.



5.5.3.3 BF03-01 (Jagtoneel)

2D Kleuruitbeelding

Op die aanvanklike 2D uitbeelding kon aan die linkerkant van die rots 'n man uitgemaak word wat in die proses is om twee elande te jag (Figuur 5.35).

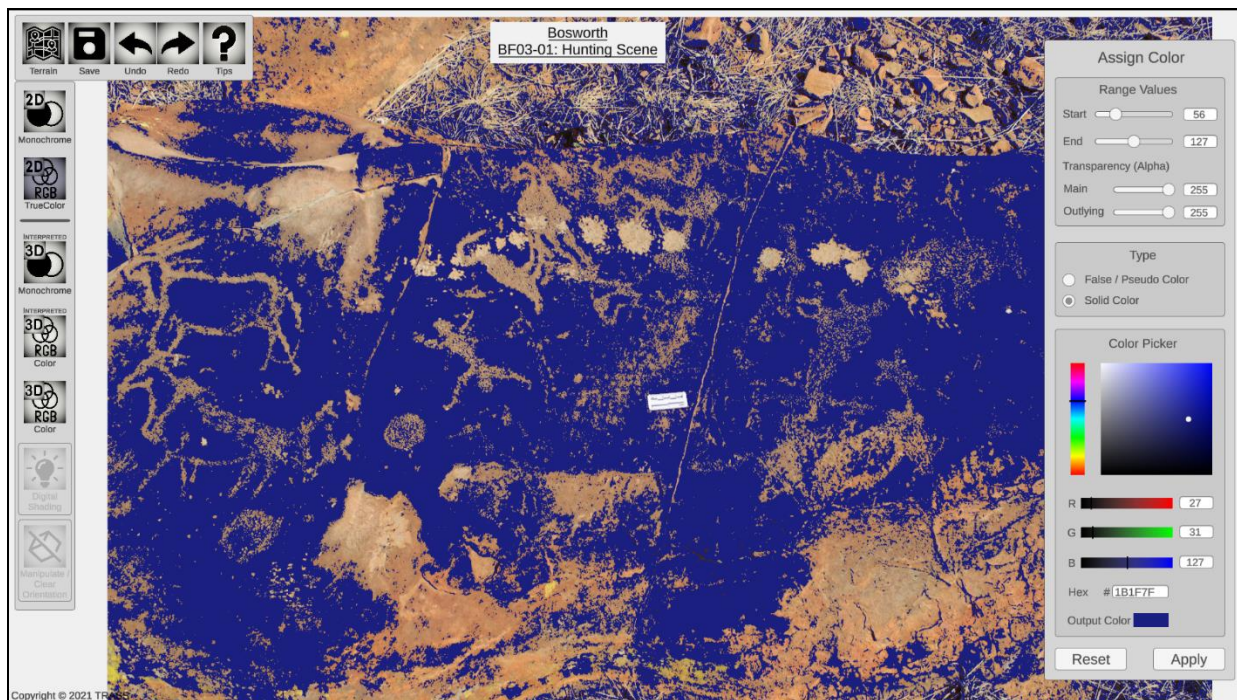


Figuur 5.35: 2D Kleuruitbeelding van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.C(i)' in Figuur 5.45).

Die grootse sigbaarheid van die onderskeie motiewe op die rots was verkry deur 'n nuwe kleurspasie en donker soliede kleure toe te ken. Op hierdie wyse is dan ook 'n figuur direk agter die jagter waargeneem (Figuur 5.36). Hierdie figuur, waarvan 'n lang nek en kop identifiseerbaar is, was inisieel nie waarneembaar in die oorspronklike 2D uitbeelding nie.

Die toegekende waardes in hierdie resultaat van die waarneembaarheidsmanipulering was:

- Reekswaardes vir vals kleure - 56/127.
- 'n Donkerblou kleur as soliede kleur.



Figuur 5.36: 2D Kleuruitbeelding van BF03-01 na afloop van manipulering ('Bl.C4(i) – Gemanipuleer' in Figuur 5.45).

2D Monochroomuitbeelding

Soortgelyk aan BF01-01 en BF02-01 in terme daarvan dat die sigbaarheid van die voor-waarneembaarheidsmanipulering 2D monochroomuitbeeldings tot 'n mate hoër was as met die 2D kleuruitbeeldings (Figuur 5.37).

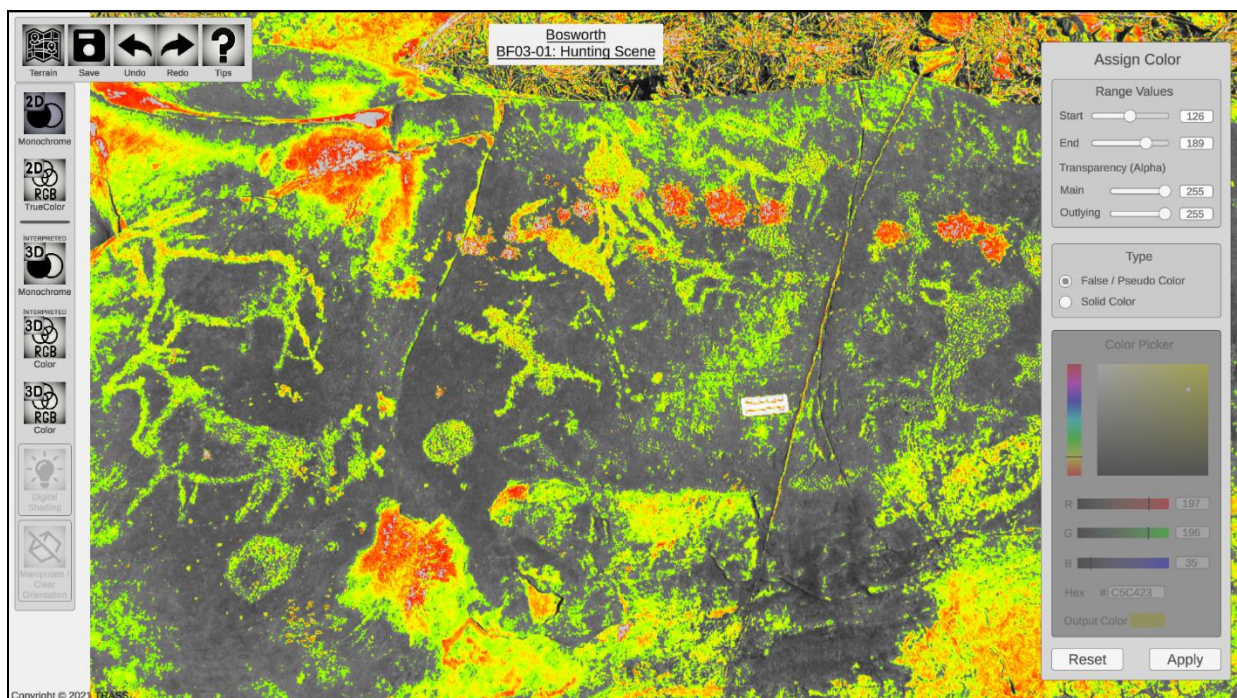
Die waarneembaarheidsmanipulering-opsies wat op hierdie monochroomuitbeelding toegepas was, behels slegs die toeken van 'n nuwe RGB-kleurspasie, terwyl die oorspronklike grys kleur van die monochroom agtergrond behou is (Figuur 5.38). Ook in hierdie na-waarneembaarheidsmanipulering-uitbeelding kon die genoemde figuur duidelik waargeneem word.

Die toegekende waardes vir hierdie uitbeelding het behels:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 126 / 189.



Figuur 5.37: 2D Monochroomuitbeelding van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.C4(ii)' in Figuur 5.45).



Figuur 5.38: 2D Monochroomuitbeelding van BF03-01 na afloop van manipulering ('Bl.C4(ii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.45).

Vertolkte 3D oppervlakuitleiding (kleur)

Met hierdie uitbeelding was die hoër mate van sigbaarheid, gemeet teenoor die 2D uitbeeldings, vanuit die staanspoor reeds duidelik (Figuur 5.39).

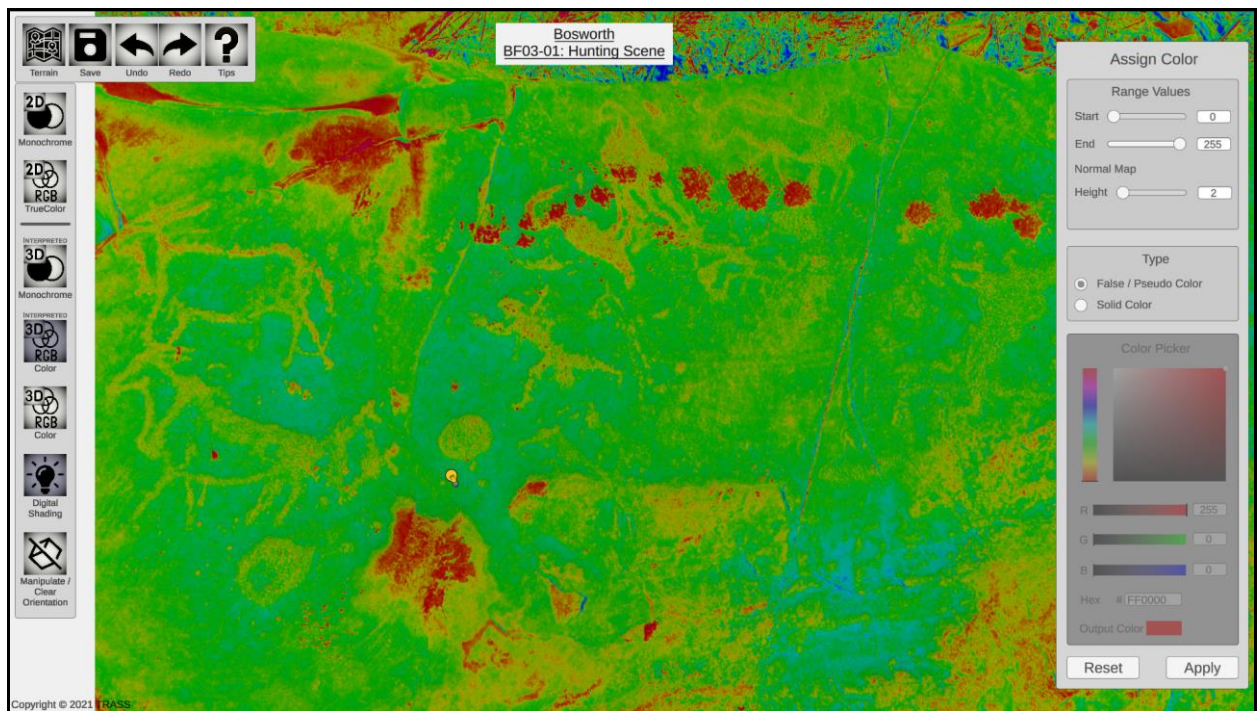


Figuur 5.39: Vertolkte 3D oppervlakuitleiding van BF03-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering ('BI.C4(iii)' in Figuur 5.45).

Dus, ná die toekenning van 'n nuwe RGB-kleurspasie was dieselfde elemente meer prominent vanweë die illusie wat geskep was met betrekking tot hoogte en diepte in die topografie van die rotsoppervlakte. Tesame met die digitale ligstraal, kan die resultate van die waarneembaarheidsmanipulering gesien word in Figuur 5.40 (weereens was die 'nuut ontdekte' figuur agter die jagter duidelik sigbaar).

Die toegekende waardes was:

- Reekswaardes vir vals kleure - 0/255.
- Hoogte as 3.



Figuur 5.40: Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF03-01 in kleur na afloop van manipulering ('Bl.C4(iii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.45).

Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding (monochroom)

Weereens het die motiewe in die monochroomuitbeelding tot 'n klein mate meer duidelik vertoon as met die kleur (Figuur 5.41).

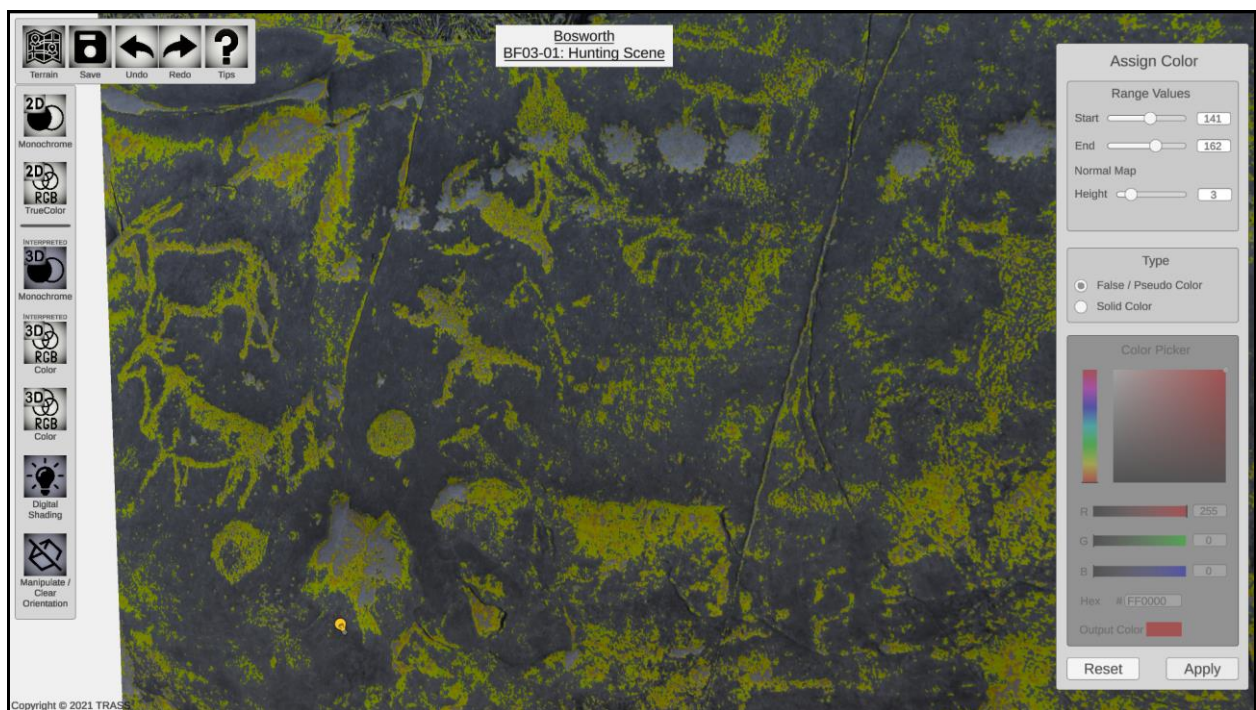


Figuur 5.41: Vertolkte 3D uitbeelding van BF03-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.C4(iv)' in Figuur 5.45).

Dan ook, met toegekeende RGB-kleurspasie en die digitale ligstraal gewerp oor die getilte uitbeelding, is 'n baie hoë kontras verkry tussen die motiewe en die omliggende, grys rotsoppervlakte (Figuur 5.42). Die figuur agter die jagter was nog meer duidelik waarneembaar in hierdie na-manipulering-uitbeelding as in die vorige drie uitbeeldingvorms se na-waarneembaarheidsmanipulerings.

Toegekeende waardes vir hierdie waarneembaarheidsmanipulering was:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 141/162.
- Hoogte gestel op 3.



Figuur 5.42: Vertolkte 3D uitbeelding van BF03-01 in monochroom na afloop van manipulering ('Bl.C4(v) – Gemanipuleer' in Figuur 5.45).

3D Oppervlakmodel

In die 3D oppervlakmodel wat oopmaak het was die jagtoneel (jagter en twee elande) duidelik sigbaar, terwyl die figuur agter die jagter tot 'n minder mate sigbaar was as wat aanvanklik geantisipeer is (Figuur 5.43).

Met die tilt van die model en beweeg van die digitale ligstraal oor die oppervlakte, was verskillende motiewe sigbaar afhangend van die hoek waarteen die lig oor die petrogliewe gewerp was (Figuur 5.44).



Figuur 5.43: 3D Oppervlakmodel van BF03-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.C4(v)' in Figuur 5.45).



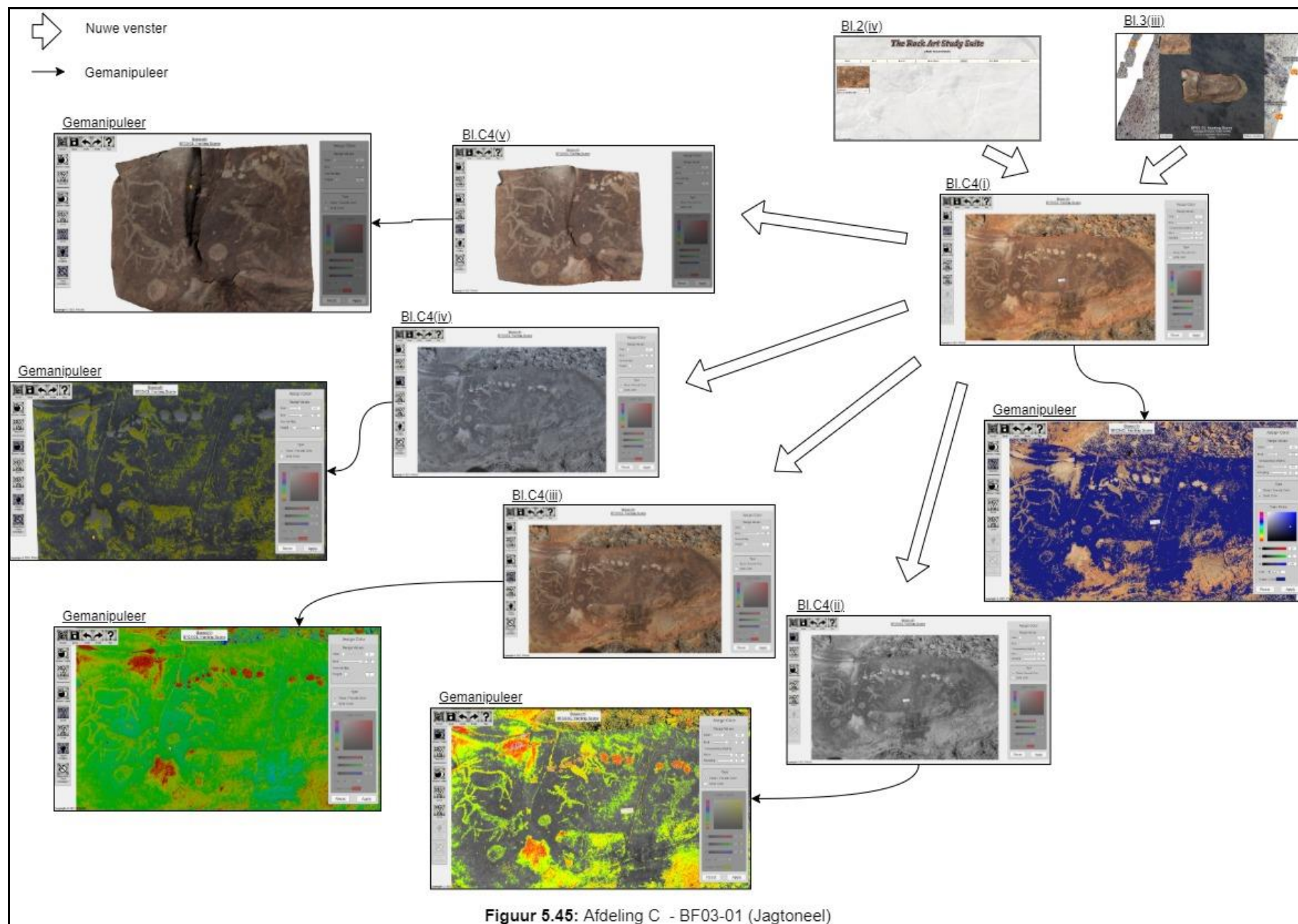
Figuur 5.44: 3D Oppervlakmodel van BF03-01 na afloop van manipulering ('Bl.C4(v) – Gemanipuleer' in Figuur 5.45).

Opsomming van resultate van waarneembaarheidsmanipulering van BF03-01

Met betrekking tot die verkryging van verhoogde sigbaarheid by wyse van die

waarneembaarheidsmanipulering, het die vertolkte 3D oppervlakuitleidings die beste resultate gelewer gevolg deur die 2D uitbeeldings. Vanweë die grootte van die oppervlakte wat die jagtoneel beslaan, was die fynere besonderhede van die kunswerk nie só sigbaar in die 3D oppervlakmodel as wat aanvanklik voor gehoop is nie.

Tog, na afloop van al vyf uitbeeldings se waarneembaarheidsmanipulering, kon die 'nuut ontdekte' motief wél in elke eindresultaat tot verskillende mates geïdentifiseer word. Nadat al vyf hierdie manipuleringsresultate aan dr. Jeremy Hollmann, verbonde aan die *Rock Art Research Institute (RARI)*, gestuur is by wyse van e-pos, was sy gevolgtrekking dat hierdie motief moontlik 'n uitbeelding van 'n volstruis is.



2D Kleuruitbeelding

Op die aanvanklike 2D kleuruitbeelding was die petroglief van 'n seekoei (kop en voorlyf) duidelik sigbaar, alhoewel die kepinge en lyne baie fyn en lig vertoon het (Figuur 5.46).



Figuur 5.46: 2D Kleuruitbeelding van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.D4(i)' in Figuur 5.56).

Tydens die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeeldingsvorm was die beste resultaat met betrekking tot verhoogde sigbaarheid van die seekoei en moontlike addisionele lyne, verkry deur die agtergrond so lig as moontlik te stel met 'n grys soliede kleur daarvoor gedrapeer (Figuur 5.47). Let wel, na afloop van die manipulering kon geen addisionele graveringslyne of kepinge waargeneem word nie.

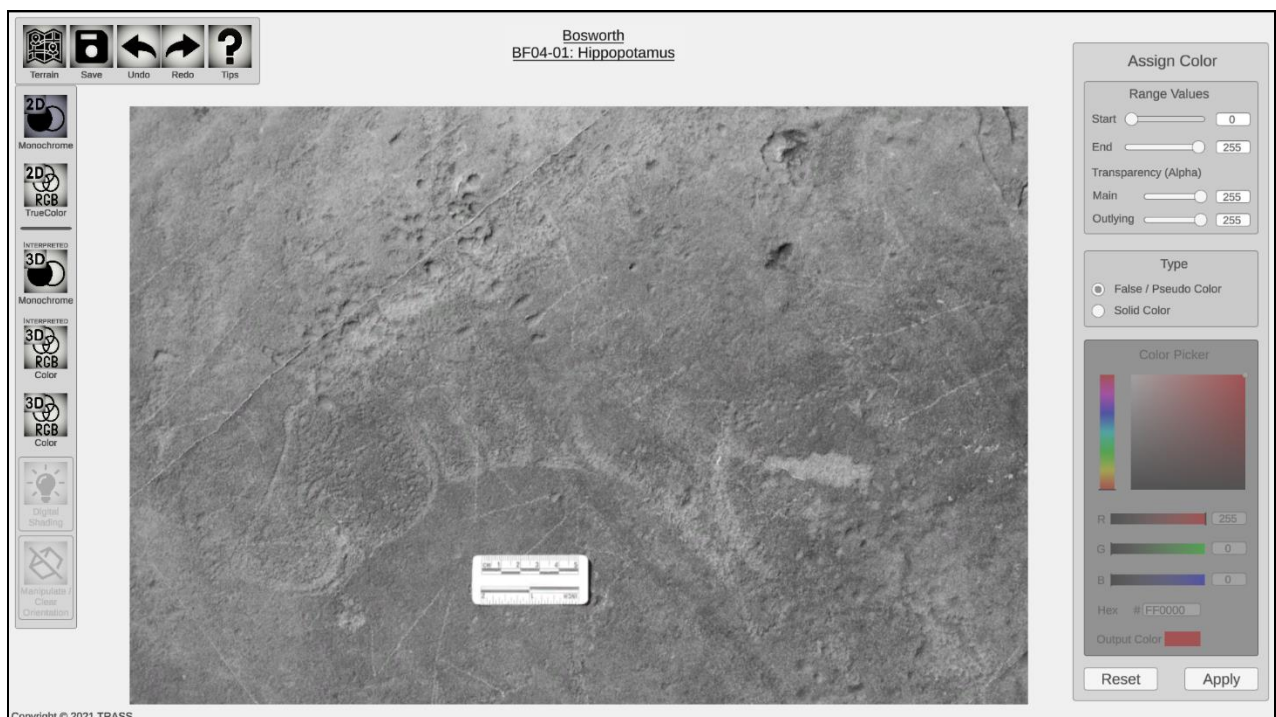
Die toegekende waardes vir hierdie waarneembaarheidsmanipulering was:

- Reekswaardes vir vals kleure - 0/149.
- Waardes gestel vir alfa om die agtergrond lig te maak was 137/0.
- Grys as soliede kleur.



Figuur 5.47: 2D Kleuruitbeelding van BF04-01 na afloop van manipulering ('Bl.D4(i) – Gemanipuleer' in Figuur 5.56).

2D Monochroomuitbeelding



Figuur 5.48: 2D Monochroomuitbeelding van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.D4(ii)' in Figuur 5.56).

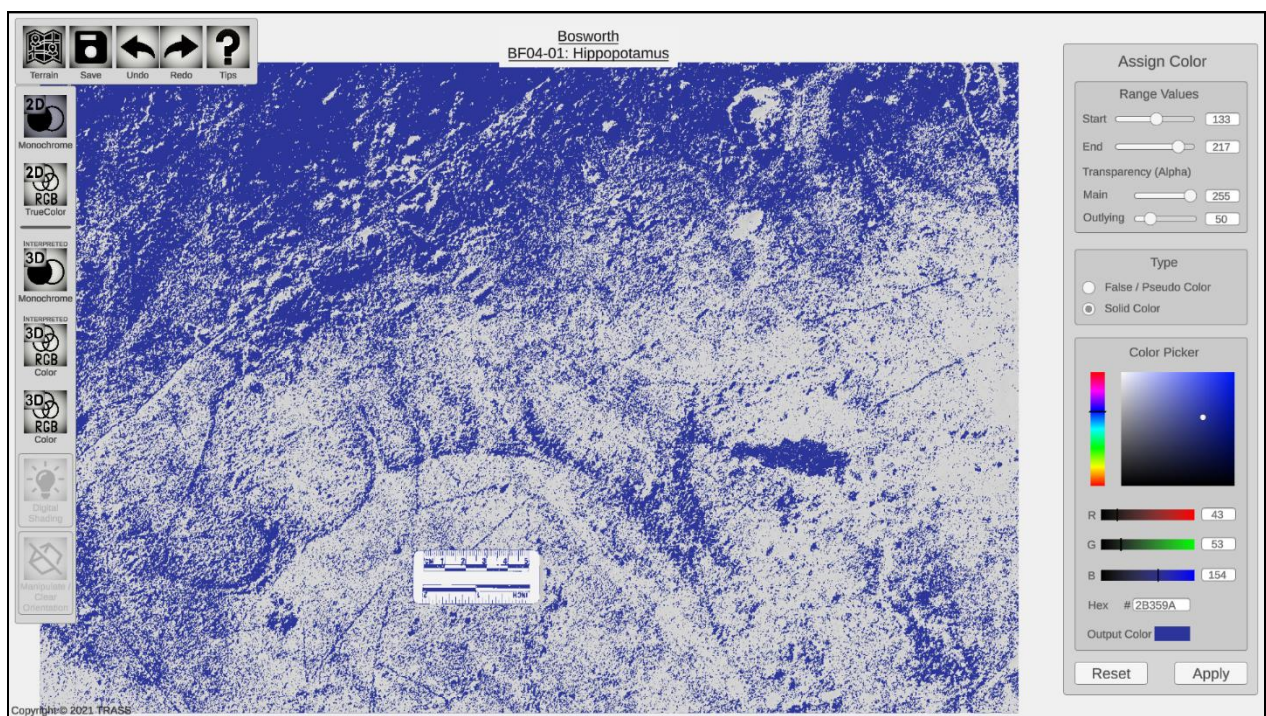
In kontras met die eersgenoemde drie kunswerke (BF01-01/02-01/03-01) was die mate van sigbaarheid van die motief in hierdie kunswerk gelykstaande in die monochroom- en

kleuruitbeeldings (Figuur 5.48).

Met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeeldingsvorm was gepoog om die agtergrond weereens so lig as moontlik te maak deur die alfawaardes te verstel. Hierna is reekswaardes vir vals kleure toegeken en blou as soliede kleur gekies vir hierdie nuuttoegekende kleurspasie. Na-afloop van waarneembaarheidsmanipulering was steeds slegs die kop en voorlyf van die seekoei sigbaar, met geen aanduiding van 'n middellyf of iets meer nie (Figuur 5.49).

Die waardes wat aan die einde toegeken was, behels:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 133/217.
- Alfawaardes van 255/50.
- Blou as soliede kleur.



Figuur 5.49: 2D Monochroomuitbeelding van BF04-01 na afloop van manipulering ('Bl.D4(ii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.56).

Vertolkte 3D oppervlakuitleiding (kleur)

Die aanvanklike sigbaarheid in hierdie uitbeeldingsvorm het soortgelyk vertoon aan die 2D oorspronklike uitbeeldings (Figuur 5.50).

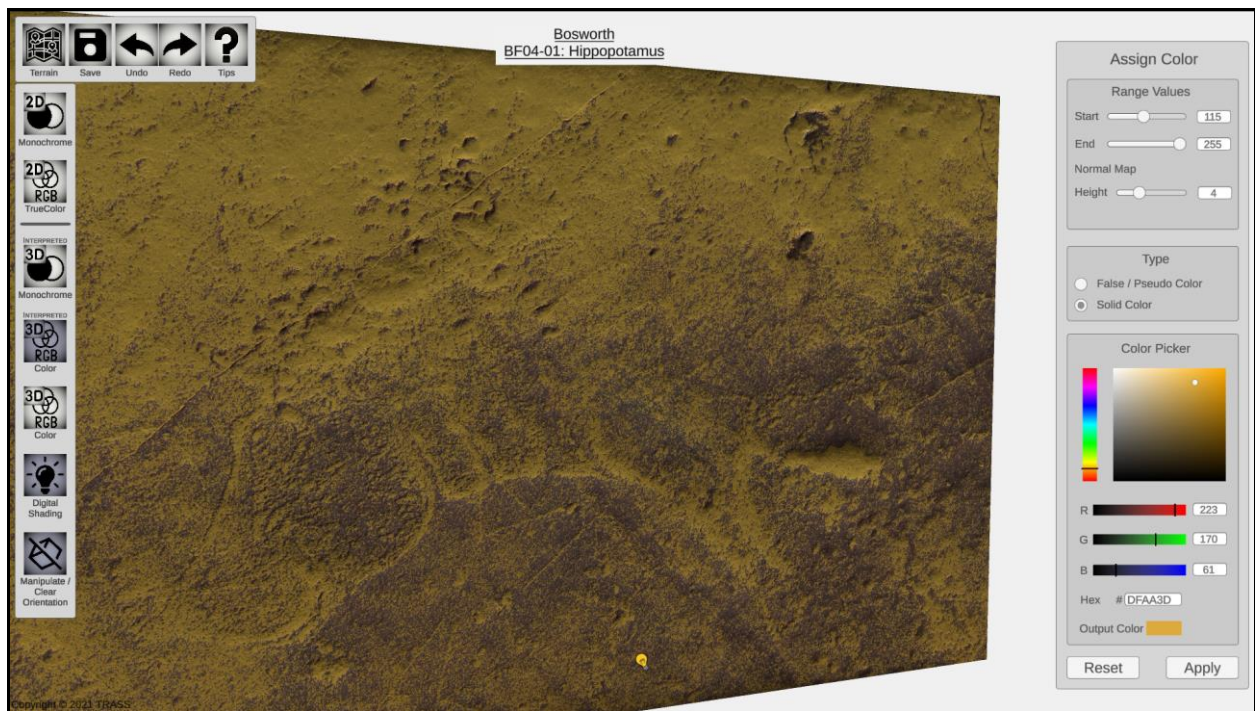


Figuur 5.50: Vertolkte 3D oppervlakuitbeelding van BF04-01 in kleur voor waarneembaarheidsmanipulering ('BI.D4(iii)' in Figuur 5.56).

Aangesien die mate van die gravure se hoogte/diepte met hierdie uitbeeldingsvorm gestel kon word, is verhoogde sigbaarheid relatief eenvoudig verkry met waarneembaarheidsmanipulering. Tydens manipulering was die rotsoppervlakte se kleur dieselfde gehou, terwyl 'n donkergeel soliede kleur die grootste potensiaal getoon het vir verhoogde sigbaarheid. Wanneer die uitbeelding dan getilt en die digitale ligstraal daaroor beweeg is, kon duidelik gemerk word dat daar geen addisionele graveringslyne of kepinge is buiten die seekoei se kop en voorlyf nie. Ook kon nie meer besonderhede van die huidige sigbare gedeelte gesien word nie, behalwe dat dit wat reeds sigbaar is sonder die toepassing van waarneembaarheidsmanipulering, net meer prominent vertoon het na afloop van die manipulering (Figuur 5.51).

Toegekende waardes om die eindresultaat te verkry, was:

- Reekswaardes vir vals kleure - 115/255.
- Donkergeel as soliede kleur.
- Hoogte as 4.



Figuur 5.51: Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding van BF04-01 in kleur na afloop van manipulerings ('Bl.D4(iii) – Gemanipuleer' in Figuur 5.56).

Vertolkte 3D oppervlakuutbeelding (monochroom)

Die mate van duidelikheid van die gegraveerde lyne wanneer die venster met die vertolkte 3D oppervlakuutbeelding in monochroom oopgemaak is, was weereens soortgelyk aan die aanvanklike sigbaarheid van die ander uitbeeldingsvorme van BF04-01 (Figuur 5.52).

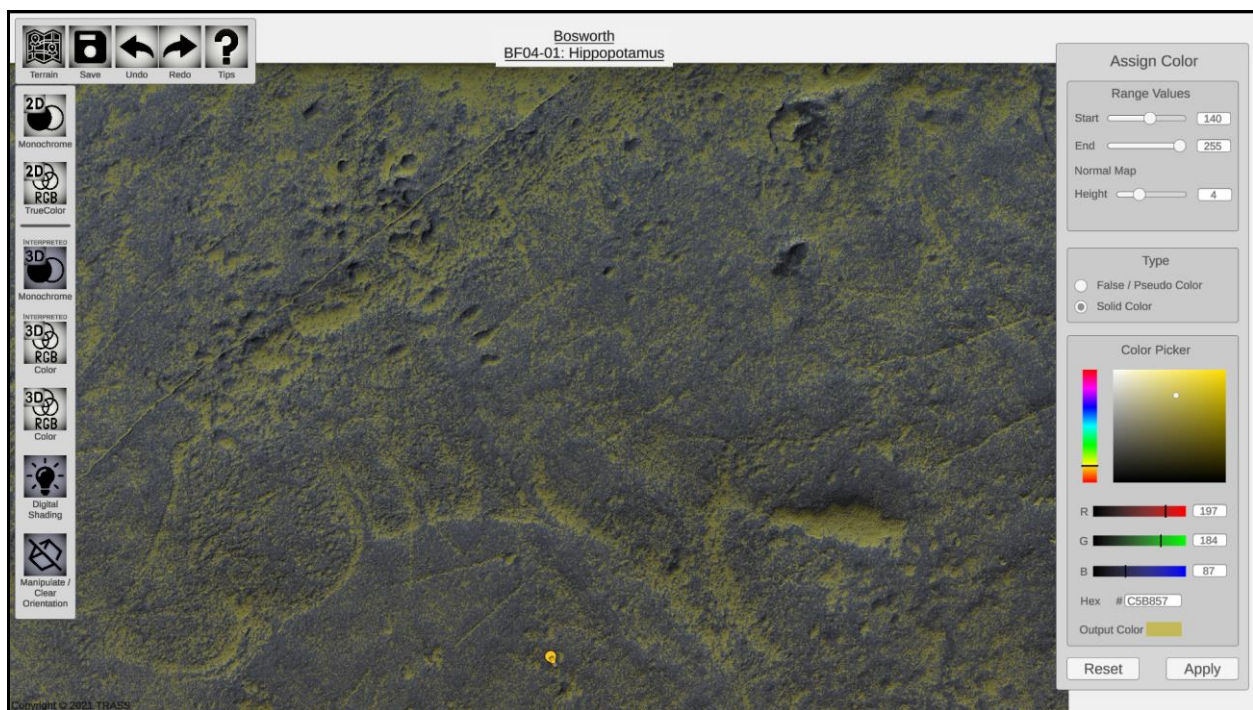
Met die minimale manipulasie van die kleurspasie, was 'n baie duideliker uitbeelding verkry. In Figuur 5.53 is die mate van verhoogde sigbaarheid duidelik merkbaar nadat die uitbeelding getilt en die digitale ligstraal vanuit die regterkant daarop gewerp is. Met die waarneembaarheidsmanipulering van hierdie uitbeeldingsvorm het die fynere besonderhede van die kop en voorlyf van die seekoei meer duidelik vertoon as met enige van die na-manipulering resultate van die ander uitbeeldingsvorme. Geen middel- of agterlyf kon steeds gemerk word nie.

Toegekende waardes was:

- Reekswaardes vir pseudo kleure - 140/155.
- Geel as soliede kleur.
- Hoogte gestel op 3.



Figuur 5.52: Vertolkte 3D oppervlakteuitbeelding van BF04-01 in monochroom voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.D4(iv)' in Figuur 5.56).



Figuur 5.53: Vertolkte 3D oppervlakteuitbeelding van BF04-01 in monochroom na afloop van manipulering ('Bl.D4(iv) – Gemanipuleer' in Figuur 5.56).

3D Oppervlakmodel

Die seekoei se aanvanklike sigbaarheid vergelyk goed met die ander uitbeeldingsvorms van dié petroglief (Figuur 5.54).



Figuur 5.54: 3D Oppervlakmodel van BF04-01 voor waarneembaarheidsmanipulering ('Bl.D4(v)' in Figuur 5.56).

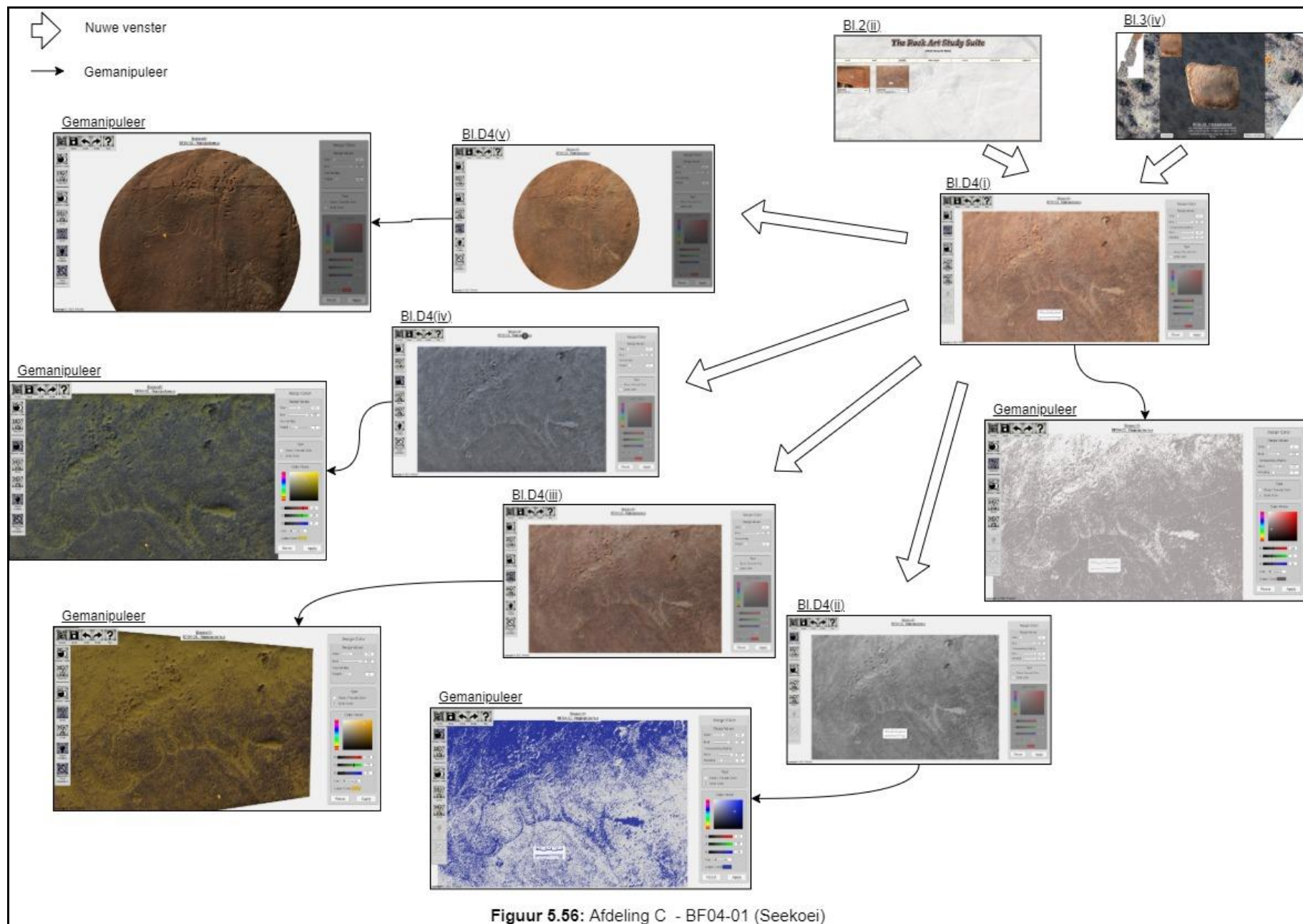
Ná die model digitaal vergroot en die ligstraal daaroor gewerp is, was 'n klein mate van verhoogde sigbaarheid bereik (Figuur 5.55). Let wel, steeds was geen teken van 'n middel-en/of agterlyf van die seekoei te bespeur nie.



Figuur 5.55: 3D Oppervlakmodel van BF04-01 na afloop van manipulering ('Bl.D4(v) – Gemanipuleer' in Figuur 5.56).

Opsomming van resultate van waarneembaarheidsmanipulering van BF04-01

Tydens manipulasie van BF04-01 kon die waarde van die verhoogde sigbaarheid nie tot dieselfde mate geïllustreer word as met die ander drie kunswerke nie. Die lyne en kepinge van die seekoei wat uit die staanspoor reeds sigbaar was, kon wel duideliker na vore gebring word deur die waarneembaarheidsmanipulasie. Ook, nadat aanvanklik vermoed is dat daar moontlik 'n groter gedeelte van die seekoei-uitbeelding oorspronklik gegraveer en sigbaar was, kon geen bevestiging daarvan gevind word met die toepassing van die waarneembaarheidsmanipulering-opsies in hierdie model nie.



5.6 Visuele eindresultaat van die multinaavorsingsmodel

Ter illustrasie, toepassing en evaluering van die multinaavorsingsmodel, kan <https://www.youtube.com/watch?v=h9vjIWLC5K> besoek word.

5.7 Gevolgtrekking

Hierdie multinaavorsingsmodel neem die verbruiker op 'n stelselmatige wyse van makroskaal voorstelling en -bestudering van die studieterrein (Afdeling A), na mediumskaal voorstelling en -bestudering van die geselekteerde rotse (Afdeling B), tot by mikroskaal voorstelling en -bestudering van die betrokke petrogliewe self (Afdeling C). Die resultate wat hiermee verkry is bied dan ook 'n platform vir verdere navorsing: Op dieselfde wyse kan die res van die rotskunswerke op die Bosworth-terrein gedokumenteer, verwerk en voorgestel word, tesame met die waarneembaarheidsmanipulerende funksionaliteite.

In hoofstuk 6 volg die samevatting en gevolgtrekking van hierdie studie tesame met toekomstige moontlikhede wat hierdeur gebied word.

HOOFSTUK 6

SAMEVATTING EN GEVOLGTREKKING

6.1 Inleiding

Die doel van hierdie hoofstuk is om 'n samevatting te bied van hierdie studie, asook om te bepaal of die studie-uitkomstes wel die voorafgestelde doelwitte bereik het en tot watter mate hierdie doelwitte bereik is. Ter verwesenliking hiervan word elke hoofstuk wat bygedra het tot die finale resultate van hierdie projek se bydrae geëvalueer. Voorts word ook gekyk na die toekomstige potensiaal van só 'n model en op watter wyses hierop voortgebou kan word.

Die digitalisering van rotskuns is nie 'n nuwe konsep nie en is reeds op vele wyses beproef, tog bestaan daar steeds 'n groot leemte in die tegnologiese toepassings ter realisering van 'n kompleet aanlyn-analiseringsplatform hiervan. Hierdie geïdentifiseerde behoefte het gelei tot die doelstelling van hierdie studie, naamlik om te toets of geografiese inligtingstelsels (GISs) en afstandwaarnemingstechnologie gebruik kan word om 'n rotskunsterrein te analiseer (sien 1.3). Vir dié doeleinde is Bosworth-rotskunsterrein as gevallestudie geïdentifiseer.

Voortspruitend uit hierdie doelstelling is die volgende doelwitte daargestel (sien 1.3):

- Om die rotskuns van Bosworth-terrein in argeologiese terme te beskryf.
- Om 'n interaktiewe multinaavorsingsmodel met 3D rotskuns van Bosworth-rotskunsterrein te ontwikkel.
- Om die effektiwiteit van hierdie multinaavorsingsmodel van Bosworth-rotskunsterrein te evalueer.

6.2 Samevatting

In Hoofstuk 2 is rotskuns as 'n dissipline binne argeologie beskryf. Daar is gewys dat die waarde van rotskuns nie net esteties van aard is nie, maar dat dit ook oor argeologiese en antropologiese data beskik wat wetenskaplik ontleedbaar is. Rotskunswerke ressorteer as 'n hoogs verganklike erfeniskategorie waarvan die dringendheid om dit te bewaar en beskikbaar te stel deur verskeie internasionale liggame erken en beklemtoon word. In Suidelike Afrika is die behoefte aan bewaring des te meer dringend vanweë die groot getal rotskunswerke in die gebied en die feit dat die bestuur daarvan grootliks agterweë gelaat word. Tog, alhoewel daar wetgewing in Suid-Afrika in plek is om 'n wesenlike bydrae te lewer tot die ideaal van bewaring en toeganklikheid tot rotskuns, is dit in praktyk slegs universiteite en nie-winsgewende

organisasies wat stelsels in plek het om 'n bydrae op hierdie gebied te lewer. 'n Bydrae wat gekortwiek word deur 'n tekort aan finansiële ondersteuning van verantwoordelike instansies.

Die hoofstuk sluit af met 'n beskrywing van die verskeie beskikbare (en reeds beproefde) metodes waarop rotskuns gedokumenteer, verwerk/gemanipuleer en beskikbaar gestel kan word. Hiermee saam word gestel dat Suid-Afrika voordeel sal trek uit die digitale bewaring en beskikbaarstelling van sy rotskunserfenis aangesien dit in die eerste instansie 'n bron van die gebied se geskiedenis is wat nog bitter min bestudeer is. Tweedens is dit 'n toerisme aantreklikheid wat 'n nodige finansiële inspuiting bied.

In Hoofstuk 3 is daar 'n oorkoepelende term aan die geselekteerde kombinasie van tegnologiese metodes voorgestel wat vir hierdie studie op die Bosworth-rotskunsterrein toegepas gaan word, naamlik 'n multinaavorsingsmodel. 'n Model wat eenvoudig is om te gebruik, maar wat ten doel het om waardevol vir die navorser en rotskunsentoesias te wees in terme van die navorsingsuitsette wat hiermee bereik kan word. Ter verduideliking van die beplande konsep in die realisering en toepassing van die model, is sy onderlinge komponente en beplande interaktiewe vermoëns per diagramme voorgestel. 'n Breedvoerige uiteensetting van die dokumenteringstegnieke wat toegepas word, tesame met die sagteware en wyse van beplande verwerking van die ingesamelde data, word aan die leser gebied. Ook word klem geplaas op die beplanning rondom die skep van drie vorme van 3D modelle van elk van die geselekteerde rotse en/of hul petrogliewe, naamlik 'n 3D rotsmodel van elke geselekteerde rots, asook 'n vertolkte 3D oppervlakuutbeelding en 3D oppervlakmodel van die kunswerke self. Daarom, alhoewel die ontwikkeling van hierdie model vele fasette bevat wat hoogs gekompliseerd kan voorkom om na te boots, is die samevoeging van diverse sagteware-instrumente tot 'n bepaalde studie-uitkomst nie ongekend wanneer dit kom by die skep en analisering van 3D modelle nie (sien Zaslavsky, *et al.*, 2017:133-150 ter illustrasie hiervan).

Die metodologiese vloei van die beplande studie soos uiteengesit in hoofstuk 3 toon die fyn beplanning en toetsing van moontlikhede wat oorweeg is tot die ontwikkeling van hierdie multinaavorsingsmodel. Hierdie sorgvuldige, deurdenkte kombinerings van moontlikhede blyk veral uit die feit dat argeologie en tegnologie in beginsel 'n onpaar is. Argeologie is 'n statiese veld met min of geen korttermyn veranderinge nie, terwyl tegnologie presies die teenoorgestelde beginsel verteenwoordig met 'n omgewing wat byna daagliks veranderinge in moontlikhede meebring (López-Menchero Bendicho *et al.*, 2017:43). Dus, met inagneming van finansiële beperkings in die veld van argeologie, die behoefte aan die nuutste tog betroubare sagteware en die oogmerk om maksimum resultate aan die verbruiker te bied (met eenvoud van toepassing), is die beplanning tot die suksesvolle ontwikkeling en aanbod van die model aangepak en uitgevoer.

In Hoofstuk 4 is die twee vorme van fotogrammetrie (afstandwaarnemingstegnologieë) wat toegepas word in hierdie studie, bespreek gevolg deur die daaropvolgende verwerkingsprosesse met betrekking tot die ingesamelde data. Verskeie sagtewarepakette is gebruik vir hierdie verwerkingsprosesse waarvan *ArcGIS* se *Drone2Map*-toepassing 'n sleutelkomponent was met die skep van die terreinkaart, aldus die makrokonteks van die studie. Buiten 'n paar faktore wat die dokumentering van die terrein en rotse nadelig beïnvloed het, is genoegsame kwaliteitdata ingesamel wat effektief tot die verlangde eindprodukte verwerk kon word. Die verloop van hierdie verwerkings is in die nodige besonderhede verduidelik met deurgaanse verwysing na die rots en kunswerk, BF01-01 as verwerkingsvoorbeeld.

Die *locus* van die gevallestudie, naamlik Bosworth-rotskunsterrein, word in Hoofstuk 5 behandel. Die argeologiese waarde van die ryk deposito van petrogliewe op die Bosworth-rotskunsterrein word beskryf. 'n Kommerwekkende aspek wat hier aangetoon word is dat dit 'n erfenisterrein is wat in die steek gelaat is/word deur die verantwoordelike instansies deurdat daar geen beskerming of ondersteuningsraamwerk in plek is ter bewaring van hierdie terrein nie. Daar word ook genoem dat die onus om die rotskunsterrein te bewaar huidiglik uitsluitlik by die eienaar van die plaas berus, terwyl die plaaslike museum hul op hul beurt weer beywer vir die bewusmaking van hierdie ryk argeologiese terrein. Die aard en waarde van die kunswerke op die terrein is dus ook in hierdie hoofstuk bespreek, tesame met die dringende behoefte wat bestaan om hierdie petrogliewe digitaal op te neem en in 'n analiseerbare formaat beskikbaar te stel. Binne hierdie konteks word die vier voorafgeïdentifiseerde rotse vir hierdie studie bespreek en die rede waarom húl spesifiek geïdentifiseer is, asook die verwagte analiseringsresultate.

Ter afsluiting van die hoofstuk is die vloei van die geskepte webtoepassing uiteengesit by wyse van diagramme en besprekings van elke webbladsy se doel en die effektiwiteit van die onderskeie komponente van die webtoepassing. Uit hierdie besprekings blyk dit duidelik dat daar waarde gesetel is in die skep van 3D modelle vir die bestudering van rotskuns, veral wanneer dit kom by petrogliewe. Daar kan ook genoem word dat die 3D rotsmodelle 'n ander funksie vervul ten opsigte van die studie-uitkomste as die kleiner skaal 3D modelle, genaamd die vertolkte 3D oppervlakuitleidings en 3D oppervlakmodelle. Die funksie en effektiwiteit van hierdie onderskeie geskepte 3D modelle kan soos volg opgesom word:

- *3D Rotsmodelle*

Plaas die onderskeie rotskunswerke in konteks van hul onmiddellike omgewing, naamlik die rots self. Bydraend tot die effektiwiteit van hierdie oogmerk is die feit dat die rotsmodelle roteerbaar is en dus 'n duidelike beeld gekry kan word van die kontoere van die betrokke rots. Die kunswerke op hierdie rotsmodelle vertoon wel tot 'n groot mate digitaal onduidelik

alhoewel die plasing daarvan op drie van die vier rotse identifiseerbaar is, by name BF01-01, 03-01, 04-01. By BF02-01 kan die motiewe rondom die sjamaan wel waargeneem word, maar die morfologie van die sjamaan self is nie identifiseerbaar nie. 'n Rede vir laasgenoemde is dat die lyne en kepinge nie diep in die rots gemaak is nie en dus nie so duidelik vertoon met die toepassing van die (*Structure from Motion*) SFM-tegniek en beeldgebaseerde modellering (BGM) nie. Nietemin, siende dat die sjamaan in Afdeling C identifiseerbaar is, is sy plasing in konteks van die komplette rots, duidelik.

- *Vertolkte 3D oppervlakuutbeeldings*

Die waarneembaarheidsmanipulering wat op hierdie uitbeeldingsvorme toegepas kan word, is die mees omvattendste van die drie vorme van 3D modelle wat geskep is in hierdie studie. Verskeie opsies, asook 'n kombinasie van opsies, kan op die 3D oppervlakuutbeeldings uitgevoer word. Hierdie moontlikhede van opsies bied aan die gebruiker die kapasiteit om verskeie oppervlakanalises van die petrogliewe uit te voer. In terme hiervan bied die funksionaliteit om die diepte/hoogte van die lyne en kepinge op die oppervlakte te kan verstel sekerlik die grootste potensiaal met betrekking tot moontlike identifisering van verweerde petrogliewe of ook elemente van die petrogliewe.

- *3D Oppervlakmodelle*

Hierdie modelle bied die mees pragmatiese resultate in terme van die bestuderingsmoontlikhede wat die 3D modellering van petrogliewe inhou. Die werp van die digitale ligstraal oor die modelle bring dan ook die lyne en kepinge baie duidelik uit en gevolglik kan die morfologie van moeilik sigbare petrogliewe op dié wyse besigtig en bestudeer word.

Die beperking wat gepaardgaan met hierdie vorm van 3D modellering, is die feit dat in praktyk slegs klein areas op 'n slag só geskep kan word. Die rede hiervoor is dat naby-foto's van die verlangde entiteit benodig word om die gefokusde area in fyn besonderhede te kan uitbeeld. Dus, in teorie kan groot areas so saamgestel word, maar die kwaliteit van die oppervlakbesonderhede gaan ingeboet word, soos wat die geval is met die 3D rotsmodelle. 'n Oplossing vir hierdie struikelblok is om die verlangde groter oppervlakte in meer as een kleiner opname-area op te deel, soos wat in hierdie studie gedoen is.

In geheel gesien neem die multinaavorsingsmodel die gebruiker van makro- na medium-, na mikroskaal navorsing: Op die landingsbladsy word die studie-agtergrond gegee tesame met onderwerpgeoriënteerde navorsingsopsies in terme van 'diere', 'menslike figure', 'tonele' en

‘ander motiewe’. Wanneer die opsie gekies word om Bosworth-terrein se data te laai, kry die navorser die geleentheid tot makroskaal navorsing in terme van die terrein en die plasing van die rotse daarop. Daarna deur op ‘n gemerkte rots te klik, word die verbruiker geneem na mediumnavorsingsmoontlikhede by wyse van die kunswerk in konteks van ‘n roteerbare 3D rotsmodel in ‘n opspringskerm. Laastens kan die analiseringsopsie in hierdie opspringskerm gekies word wat navorsing tot in die fynste oppervlakbesonderhede van die kunswerke moontlik maak, aldus mikroskaal navorsing.

Tog, ten spyte van al hierdie komponente vervat in die multinavorsingsmodel, is dit geskep met die oog om so gebruikersvriendelik moontlik te wees vir ‘n persoon wat selfs net oor basiese rekenaarvaardighede beskik. Hiervoor is soortgelyke manipuleringsopsies saamgegroepeer en kan die webtoepassing gebruik word deur slegs die druk van knoppies waardeur instruksies gegee word om sekere waarneembaarheidsmanipuleringsopsies op die betrokke uitbeeldingsvorm uit te voer.

6.3 Gevolgtrekking

Die effektiwiteit van hierdie multinavorsingsmodel is gesetel in die realisering van navorsbare data, ingesamel deur afstandwaarnemingstegnologie en tot ‘n beduidende mate verwerk by wyse van GIS. Hierdie data moes dan binne die konteks van die geskepte digitale terrein met rotskunswerke, wat hoofsaaklik 3D verteenwoordig word, analiseerbaar wees. Teen hierdie agtergrond kan gestel word dat die studie prakties geïllustreer het dat die verwesenliking van só ‘n model met hierdie vereiste vermoëns, haalbaar is.

Die studie het boonop ‘n standaard daargestel in terme van die tipe en kombinasie analiseringskomponente wat benodig word wanneer rotskunsdata daarbuite beskikbaar gestel word vir navorsingsdoeleindes. Tweedens, het die studie bewys dat nuwe sagteware gekombineer en toegepas kan word op ‘n wyse wat min tyd per kunswerk (in die veld) vereis vergeleke met verskeie ander dokumenteringsmetodologieë. Boonop word die data hoofsaaklik op ‘n ge-outomatiseerde wyse verwerk tot hoogs akkurate eindprodukte. In die laaste instansie is aangetoon dat só ‘n omvangryke projek met ‘n baie klein begroting aangepak kan word wat ‘n bydraende faktor is tot die volhoubaarheid daarvan.

6.4 Toekomstige toepassing

Hierdie multinavorsingsmodel is geskep as ‘n prototipe om die moontlikhede wat bestaan om so ‘n tipe produk saam te stel en te versprei, illustreer. Voorts, om te bou op hierdie studie kan die kompleete rotskunsterrein van Bosworth-plaas digitaal opgeneem, verwerk en op ‘n soortgelyke

wyse voorgestel word. Daar bestaan aansienlike ruimte om bestaande komponente vervat in hierdie studie te verander en/of addisionele komponente by te voeg, soos byvoorbeeld:

- Die ortomosaïek-kaart wat vervang kan word met 'n 3D model van die terrein.
- Om die webtoepassing eerder te omskep na 'n toepassing wat afgelaai en geïnstalleer kan word met opdaterings van tyd tot tyd. Hierdie verandering sal tot gevolg hê dat internet toegang nie elke keer 'n voorvereiste sal wees om toegang tot die data te verkry nie, maar dat dit slegs eenmalig afgelaai kan word.
- Ander hardeware en sagtewarepakette wat gebruik kan word om die maksimum navorsingswaarde uit ook piktogramme te verkry. Só sal filtreerders van golflengtes waardevol wees wanneer hierdie piktogramme gefotografeer word en kan die gebruiker kleure wat verdof het weer na vore te bring deur die toepassing van spektrale sagteware-instrumente.

Hierdie studie het dus 'n ryk platform geskep vir verdere navorsing en ontwikkeling met die oogmerk om rotskunserfenis nie net digitaal te bewaar nie, maar ook aan navorsers wêreldwyd beskikbaar te stel.

BRONNELYS

Academia. 2012. *George James Susino*.

<https://independent.academia.edu/GeorgeSusino/CurriculumVitae> Datum van gebruik: 23 Nov. 2020.

ACT (African Conservation Trust). 2020a. *Rock Art 3D Models*.

<https://sketchfab.com/act/collections/rock-art> Datum van gebruik: 31 Mei 2021.

ACT (African Conservation Trust). 2020b. *Rock art documentation*.

<http://projectafrica.com/wp-content/uploads/2019/01/Rock-Art-Documentation.pdf> Datum van gebruik: 12 Apr. 2020.

Agugiaro, G. 2014. 2D & 3D GIS and Web-based Visualization. In: Remondino, F. & Campana, S., reds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 103-112.

Agugiaro, G. & Remondino, F. 2014. 3D GIS for Cultural Heritage Sites: The Queryarch3D Prototype. In: Remondino, F. & Campana, S., reds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 145-150.

Alexander, C., Pinz, A. & Reinbacher, C. 2015. Multi-Scale 3D Rock-Art Recording. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):181-195.

Anati, E. 2004. Introducing the World Archives of Rock Art (WARA): 50 000 Years of Visual Amoderts. In: *New Discoveries, New Interpretations, New Research Methods, XXI Valcamonica Symposium*. Capo di Ponte: Edizioni del Centro. ble. 51-69.

Anderson, H., Galvin, E. & De Torres Rodriguez, J. 2018. Museological Approaches tp the Management of Digital Research and Engagement: The African Rock Art Image Project. *African Archaeology Review*, 35:321-337.

Anon. 1981. The Bushman Battalion. *TIME Magazine*, 117(9):40.

ArcGIS. 2019. *Drone2Map for ArcGIS (v1.3x Archive)*.

<https://doc.arcgis.com/en/drone2map/1.3/process-and-share/processing-options.htm> Datum van gebruik: 1Jul. 2021.

ArcGIS. 2020a. *ArcGIS Drone2Map Help*. <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/get-started/faq.htm> Datum van gebruik: 1 Jul. 2020.

ArcGIS. 2020b. *ArcGIS Drone2Map Help*. <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/get-started/what-is-drone2map.htm> Datum van gebruik: 31 Jul. 2021.

ASPRS: The Imaging and Geospatial Information Society. 2012. *What is a Certified Photogrammetrist*. <https://web.archive.org/web/20150512034104/http://www.asprs.org/About-Us/Whats-a-Certified-Photogrammetrist.html> Datum van gebruik: 2 Aug. 2021.

Axon, S. 2016. ARS Technica. *Unity at 10: For Better – or Worse – Game Development has Never been Easier*. <https://web.archive.org/web/20181005025906/https://arstechnica.com/gaming/2016/09/unity-at-10-for-better-or-worse-game-development-has-never-been-easier/> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

Badea, A.C. & Badea, G. 2020. An Overview of Geoprocessing and Export Options for Creating 3D GIS Models Using Drone2Map. *The Central and Eastern European online Library*. <https://www.ceeol.com/search/viewpdf?id=936073> Datum van gebruik: 10 Jul. 2021.

Badia, F. 2018. The Management Plan for the World Heritage Sites as a Tool of Performance Measurement and Sustainability Reporting: Opportunities and Limits in the Italian Context. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of Management Planning for Cultural World Heritage Sites: Principles, Approaches and Practices*. Cham: Springer. ble 25-36.

Bahn, P.1992. Open Air Rock Art in the Paleolithic. In: Lorblanchet, M., red. *Rock Art in the Old World*. New Delhi: Indira Ghandi National Centre for the Arts. ble. 395-400.

Bahn, P. 1995. Cave without the Caves. *Antiquity*, 69(263):231-237.

Bahn, P. 1998. *The Cambridge Illustrated History of Prehistoric Art*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bednarik, R.G. 2001. *Rock Art Science: The Scientific Study of Palaeoart*. Turnhout : Brepols.

Bednarik, R.G. 2008. Removing Rock Art. *International Newsletter on Rock Art*, 50:8-12.

Benson, B.C. 2013. *Addressing Heritage Crime in Gauteng, South African: An Integrative Exposition*. Pretoria: Universiteit van Suid-Afrika. (Proefskrif – PhD).

<http://uir.unisa.ac.za/handle/10500/13055>

Bentkowska-Kafel, A. 2017. Introduction. In: Bentkowska-Kafel, A. & MacDonald, L., reds. *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*. Kalamazoo: ARC Humanities. ble i-xliv.

Berquist, S., Spence-Morrow, G., Gonzales-Macqueen, F., Rizzuto, B., Yépez Álvarez, W., Bautista, S. & Jennings, J. 2018. A New Aerial Photogrammetric Survey Method for Recording Inaccessible Rock Art. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8(1):46-56.

Bikoulis, P., Gonzalez-Macqueen, F., Spence-Morrow, G., Yépez Álvarez, W., Bautista, S. & Jennings, J. 2016. A New Methodology for Geoglyph Research: Preliminary Survey Results and Practical Workflow from the Quilcapampa Geoglyph Survey (Sihuas Valley, Peru). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10:119-129.

Blakemore, E. 2018. 73 000-Year-Old Doodle May be World's Oldest Drawing. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/science/2018/09/news-ancient-humans-art-hashtag-ochre-south-africa-archaeology/> Datum van gebruik: 13 Sept. 2020.

Blender. 2021. *Importing & Exporting Files*.

https://docs.blender.org/manual/en/latest/files/import_export.html# datum van gebruik: 28 Aug. 2021.

Blender Institute. 2021. *The Blender Headquarters*. <https://www.blender.org/institute/> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Blinkhorn, J., Biovin, N., Taçon, P.S.C. & Petraglia, M.D. 2012. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 179-196.

Blundell, G. 2004. *Nqabayo's nomansland: San rock art and the somatic past*. Uppsala: Uppsala University.

Bounding Box Software. 2015. *Materialize, Image to Material Tool*.

<http://www.boundingboxsoftware.com/materialize/index.php> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Bradley, R. 1991. Rock Art and the Perception of Landscape. *Cambridge Archaeological Journal*, 1(1):77-101.

Bradley, R., Boado, F.C. & Valcarce, R.N.F.B. 1994. Rock Art Research as Landscape Archaeology: A Pilot Study in Galicia, North-West Spain. *World Archaeology*, 25:374-390.

Brady, L.M. 2006. Documenting and Analyzing Rock Paintings from Torres Strait, NE Australia, with Digital Photography and Computer Image Enhancement. *Journal of Field Archaeology*, 31(4):363-379.

Brady, L.M. 2007. A Different Look: Comparative Rock-Art Recording from the Torres Strait Using Computer Enhancement Techniques. *Australian Aboriginal Studies*, 1(1):98-115.

Brady, L.M. & Gunn, R.G. 2012. Digital Enhancement of Deteriorated and Superimposed Pigment Art: Methods and Case Studies. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 627-643.

Britse Museum. 2020. *Rock Art: Game Pass Shelter*.

<https://africanrockart.britishmuseum.org/vr/> Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.

Burke, H. & Smith, C. 2004. *The Archaeologist's Field Handbook*. Crows Nest: Allen & Unwin.

Burnham, C. 2019. A Study of UAV Photogrammetry Software. *ResearchGate*.

https://www.researchgate.net/publication/335749992_A_Study_of_UAV_Photogrammetry_Software Datum van gebruik: 3 Aug. 2021.

Burrough, A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. & Lloyd, C.D. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. 3de uitg. Oxford: Oxford University.

Bustillo, A., Alaguero, M., Miguel, I., Saiz, J.M. & Iglesias, L.S. 2015. A Flexible Platform for the Creation of 3D Semi-Immersive Environments to Teach Cultural Heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(4):248-259.

Cambridge University Press. 2020. *Cambridge Dictionary*.

<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/ethnography> Datum van gebruik: 18 Sept. 2020.

Cameron, C. & Rössler, M. 2018. Introduction of Management Planning for Cultural World Heritage Sites. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of Management Planning for Cultural World Heritage Sites: Principles, Approaches and Practices*. Cham: Springer. ble 3-14.

Carrero-Pazos, M., Vilas-Estévez, B. & Vázquez-Martínez. 2018. Digital Imaging Techniques for Recording and Analysing Prehistoric Rock Art Panels in Galicia (NW Iberia). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8(1):35-45.

Cassen, S. & Robin, G. 2010. Recording Art on Neolithic Stelae and Passage Tombs from Digital Photographs. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17(1):1-14.

Cerrillo-Cuenca, E. & Sepulvéda, M. 2015. An Assessment of Methods for the Digital Enhancement Rock Paintings: The Rock from the Precordillera of Arica (Chile) as a Case Study. *Journal of Archaeological Science*, 55(1):197-208.

Chadburn, A. 2014. Rock-Art: An Overview of Recent Developments and Initiatives by UNESCO and ICOMOS with Especial Reference to World Heritage Sites. In: Darvill, T. & Batarda Fernandes, A.P., reds. *Open-Air Rock-Art Conservation and Management: State of the Art and Future Perspectives*. New York: Routledge. ble. 272-282.

Chan, T.K., Gargantini, I. & Walsh, T.R.S. 1989. Conversion and Integration of Boundary Representations with Octrees. In: Ware, C. & Moller, T., reds. *Graphics Interface '89*. 2de uitg. London: Taylor & Francis. ble 203-210.

Chang, K.T. 2014. *Introduction to Geographic Information Systems*. 7de uitg. Boston: McGraw-Hill.

Chen, C. & Knoblock, C.A. 2017. Conflation of Geospatial Data. In: Shekhar, S. & Xiong, H., reds. *Encyclopedia of GIS*. 2de uitg. New York: Springer. ble 297-306.

CHI (Cultural Heritage Imaging). 2020. *Algorithmic Rendering*.

http://culturalheritageimaging.org/Technologies/Algorithmic_Rendering/ Datum van gebruik: 17 Nov. 2020.

Cignoni, P. & Muntoni, A. 2020. *MeshLab*. <https://www.meshlab.net/> Datum van gebruik: 15 Nov. 2020.

Clogg, P., Diaz-Andreu, M. & Larkman, B. 2000. Digital Image Processing and the Recording of Rock Art. *Journal of Archaeological Science*, 27(9):837-843.

Conkey, M.W. 2012. Foreword. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble xxix-xxxiv.

Colmap. 2020. *Colmap*. <https://colmap.github.io/index.html> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Coppock, J.T. & Rhind, D.W. 1991. The History of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. & Rhind, D.W., eds. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Harlow: Longman Scientific and Technical. ble 21-43.

Couclelis, H. 2019. Unpacking the “I” in GIS: Information, Ontology, and the Geographic World. In: Tambassi, T., red. *The Philosophy of GIS*. ble 3-24.

Cramer, M. 2017. Photogrammetric Sensors. In: Shekhar, S. & Xiong, H., eds. *Encyclopedia of GIS*. 2de uitg. New York: Springer. ble 1588-1594.

CTS Heritage. 2020. *Virtual Rock Art Tours*. <https://www.virtualtours.ctsheritage.com/> Datum van gebruik: 15 Nov. 2020.

Darvill, T. 2014. Approaches to the Conservation and Management of Open-Air Rock-Art Panels in England, United Kingdom. In: Darvill, T. & Batarda Fernandes, A.P., eds. *Open-Air Rock-Art Conservation and Management: State of the Art and Future Perspectives*. New York: Routledge. ble. 17-37.

Darvill, T. & Batarda Fernandes, A.P. 2014. Open-Air Rock-Art Preservation and Conservation: A Current State of Affairs. In: Darvill, T. & Batarda Fernandes, A.P., eds. *Open-Air Rock-Art Conservation and Management: State of the Art and Future Perspectives*. New York: Routledge. ble. 1-16.

David, B. 2004. Bruno David's Tips to See the Invisible. In: Burke, H. & Smith, C., eds. *The Archaeologist's Field Handbook*. Crows Nest: Allan & Unwin. ble. 224-225.

David, B., Brayer, J., McNiven, I. & Watchman, A. 2001. Why Digital Enhancement of Rock Paintings Works: Rescaling and Saturating Colours. *Antiquity*, 75(290):781-792.

Davidson, C. 2021. What is a Programming Algorithm? *Indicative*.
<https://www.indicative.com/data-defined/programming-algorithm/#>. Datum van gebruik: 1 Mei 2021.

Davidson, I. 2012. Variation in early Paintings and Engravings. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 51-68.

Deacon, J. 2007. A Beginner's Guide to Archaeology, SAHRA and the PHRAs. *The Digging Stick*, 24(1):15-16.

Department of Rural Development and Land Reform. 2013. *Datums and Coordinate Systems*.
<http://www.ngi.gov.za/index.php/technical-information/geodesy-and-gps/datum-s-and-coordinate-systems> Datum van gebruik: 28 Jun. 2021.

Department of Water, Agriculture and Environment (Australia). 2020. *Rock Art*.
<https://www.environment.gov.au/topics/national-parks/kakadu-national-park/culture-and-history/rock-art> Datum van gebruik: 13 sept. 2020.

Derwent, S. 2006. *KwaZulu-Natal Heritage Sites: A Guide to Some Great Places*. Cape Town: David Phillip.

Dessì, R., Mannu, C., Rodriguez, G., Tanda, G. & Vanzi, M. 2015. Recent Improvements in Photometric Stereo for Rock Art 3D Imaging. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):132-139.

Díaz-Guardamino, M., Wheatly, D., Sanjuán, L.G. & Zamora, V.R. 2015. RTI and the study of engraved rock art: A re-examination of the Iberian south-western stelae of Setefilla and Almadén de la Plata 2 (Seville, Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2015):41-54.

Domingo, I., Carrión, B., Blanco, S. & Lerma, J.L. 2015. Evaluating Conventional and Advanced Visible Image Enhancement Solutions to Produce Digital Tracings at el Carche Rock Art Shelter. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2):79-88.

Domingo Sanz, I. 2012. A Theoretical Approach to Style in Levantine Rock Art. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 306-321.

Domingo Sanz, I. 2014. Rock Art Recording Methods: From Traditional to Digital. In: Smith, C. & Domingo Sanz, I., reds. *Archaeology of Art Section: Encyclopedia of Global Archaeology*. Cham: Springer. ble. 6351-6357.

Duminy, S.I. 2006. *Die Ontwikkwling van 'n Modulêre en Vervoerbare Beligtingsinstrument vir die Dokumentasie van Suid-Afrikaanse Rotskuns*. Bloemfontein: Sentrale Universiteit vir Tegnologie. (Verhandeling – MTech)

Ego, R. 2015. *Visionary Animal: Rock Art from Southern Africa*. Vertaal vanaf Frans deur Deke Dusingherre. Errance: Actes Sud.

ESRI. 2020. *Arcmap: What is a Functional Surface?*

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/what-is-a-functional-surface-.htm#GUID-75B7B08A-544D-4F31-B2F5-C958FB9E422A> Datum van gebruik: 9 Jul. 2021.

ESRI. 2021. *Technical Support: GIS Dictionary*. <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/322f2bf2-59d6-4868-a808-133d579c4e03> Datum van gebruik: 15 Jun. 2021.

ESRI (Environmental systems research institute). 2020. *What is ArcGIS?*

<https://developers.arcgis.com/labs/what-is-arcgis/> Datum van gebruik: 16 Nov. 2020.

Esterhuysen, A. 2013. Heritage and politics in South Africa. *The Digging Stick*, 30(2):2-4.

Faizen, M. 2020. Geo Informatics Handbook. *ResearchGate*.

https://www.researchgate.net/publication/348111578_GEO_INFORMATICS_HANDBOOK

Datum van gebruik: 11 Aug. 2021.

Fanini, B., Pescarin, S. & Palombini, A. 2019. A Cloud-Based Architecture for Processing and Dissemination of 3D Landscapes Online. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14(1), art. #e00100. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2019.e00100>

Fisher, A., Cannizzaro, R., Cochrane, M., Nagahawatte, C. & Palmer, J.L. 2021. *Robotics and Autonomous Systems*, 142(1), art. #103755. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.robot.2021.103755>

Forgia, V. & Sineo, L. 2021. Within the Symbolic World of the Prehistoric Hunters: A GIS-based and 3D Model Analysis of Sites with Complexes of Linear Incisions in Western Sicily. *Digital*

Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 20(1), art. #e00175. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2021.e00175>

Forte, M. 2016. Cyber Archaeology: 3D Sensing and Digital Embodiment. In: Forte, M. & Campana, S., eds. *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology: Archaeology in the Age of Sensing*. Cham: Springer. ble. 271-289.

Frederick, U.K. 2012. When Worlds Collide Quietly: Rock Art and the Mediation of Distance. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 401-419.

Galiatzatos, N. 2014. Exploring Archaeological Landscapes with Satellite Imagery. In: Remondino, F. & Campana, S., eds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 91-100.

Gautier, Q.K. 2019. *Automatic Optimization of System Design for 3D Mapping of Archaeological Sites*. San Diego: University of California. (Verhandeling – PhD).

Gazin-Schwartz, A. & Holtorf, C. 1990. “As Long as Ever I’ve Known It . . .”: On Folklore and Archaeology. In: Gazin-Schwartz, A. & Holtorf, C., eds. *Archaeology and Folklore*. Londen: Routledge. ble. 3-25.

GCN. 2021. *ESRI Introduces Drone2Map to Process Aerial Images*. <https://gcn.com/articles/2016/02/24/esri-drone2map.aspx> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

GDSC (Geospatial Data Service Centre). 2018. *Band Combinations*. http://gdsc.nlr.nl/gdsc/en/information/earth_observation/band_combinations Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

Georgiadou, Y., Knippers, R.A., Sides, E.J. & Van Westen, C.J. 2001. Data Entry and Preparation. In: De By, R.A., red. *Principles of Geographic Information Systems: An Introductory Textbook*. Enschede: The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). 2de uitg. ble 194-275.

Georgopoulos, A. & Stathopoulou, E.K. 2017. Data Acquisition for 3D Geometric Recording: State of the Art and Recent Innovations. In: Vincent, M.L., López-Mencheró Bendicho, V.M., Ioannides, M. & Levy, T.E., eds. *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Cham: Springer. ble. 1-26.

Gheyle, W. 2009. Highland and Steppes. An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altai Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic Period. (Ongepubliseerde PhD proefschrift).

Gilreath, A.J. & Hildebrandt, W.R. 2008. Coso Rock Art within its Archaeological Context. *Journal of California and Great Basin Anthropology*, 28(1):1-22.

Goel, A. 2021. Hackr.io. 10 Best Web Development Frameworks. <https://hackr.io/blog/web-development-frameworks> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

González-Tennant, E. 2009. Using Geodatabases to Generate 'Living Documents' for Archaeology: A Case Study from the Otago Goldfields, New Zealand. *Historical Archaeology*, 43(3):20-37.

Göttler, M. & Ripp, M., reds. 2017. *Organisation of World Heritage Cities, Region Northwest Europe and North America: Community Involvement in Heritage Management Guidebook*. Regensburg: Municipality of Regensburg.

Guidi, G. 2014. Terrestrial Optical Active Sensors – Theory & Applications. In: Remondino, F. & Campana, S., reds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 39-62.

Hanneken, T.R. 2016. New technology for Imaging Unreadable Manuscripts and Other Artifacts: Integrated Spectral Reflectance Transformation Imaging (Spectral RTI). In: Clivaz, C., Dilley, P. & Hamidović, D., reds. *Ancient Worlds in a Digital Culture*. Leiden: Brill. ble. 180-195.

Hays-Gilpin, K. 2012. Engendering Rock Art. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble. 199-213.

Hellwich, O. 2017. Photogrammetric Methods. In: Shekhar, S. & Xiong, H., reds. *Encyclopedia of GIS*. 2de uitg. New York: Springer. ble 1574-1580.

Helm, C., Crause, K. & McCrea, R. 2011. Mokhali Cave Revisited: Dinosaur Rock Art in Lesotho. *The Digging Stick*, 28(3):6-9.

Heyd, T. 2012. Rock "Art" and Art: Why Aesthetics Should Matter. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 276-293.

Heywood, I., Cornelius, S. 2006. *An Introduction to Geographical Information Systems*. 3de uitg. Harlow: Prentice Hall.

Hollmann, J.C. 2018. Digital Technology in Research and Documentation of Hunter-Gatherer Rock Art in South Africa. *African Archaeological Review*, 35(2):157-168.

Hollmann, J.C. & Crause, K. 2011. Digital Imaging and the Revelation of 'Hidden' Rock Art: Vaalekop Shelter, KwaZulu-Natal. *Southern African Humanities*, 23(1):55-76.

Hollmann, J.C. & Lombard, M. 2020. Imagining a 'Pleasant Place': A Rock Engraving Site in the Trans-Gariep Nama Karoo, South Africa. *Southern African Humanities*, 33(1):63-98.

Hubbard, P., Taruvinga, P., Nyathi, P. & Makuvaza, S. 2018. Conservation, Stakeholders and Local Politics: The Management of the Matobo Hills World Heritage Site, South Western Zimbabwe. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of management planning for cultural worlds heritage sites: Principles, approaches and practices*. Cham: Springer. ble.147-161.

ICOMOS (International Council on Monuments and Sites). 2006. *The ICOMOS Convention on the Rock Art of Latin America & Caribbean*. <https://www.icomos.org/studies/rockart-latinamerica/fulltext.pdf> Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.

Iliffe, J. & Lott, R. 2008. *Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS and Surveying*. 2de uitg. Dunbeath: Whittles.

Jalandoni, A. & Tacon, P.S.C. 2018. A New Recording and Interpretation of the Rock Art of Angono, Rizal, Philippines. *Rock Art Research: The Journal of the Australian Rock Art Research Association (AURA)*, 35(1):47-61.

Jansen van Vuuren, H. 2021. Omnia Inligtingsentrum. *Tegnologie. Hommeltuie: Voordele, Beperkings en Gebruike*. <http://www.fertilizer.co.za/af/inligtingsentrum/tegnologie/363-hommeltuie-voordele-beperkings-en-gebruike> Datum van gebruik: 25 Aug. 2020

Jeziorska, J. 2019. UAS for Wetland Mapping and Hydrological Modeling. *Remote Sensing*, 11(7):1-39.

Jolly, P. 2002. Therianthropes in San rock art. *South African Archaeological Bulletin*, 57(176):85-103.

Jones, I.W.N. & Levy, T.E. 2018. Cyber-Archaeology and Grand Narratives: Where Do We Currently Stand? In: Jones, I.W.N. & Levy, T.E., reds. *Cyber-Archaeology and Grand Narratives: Digital Technology and Deep-Time Perspectives on Culture Change in the Middle East*. Cham: Springer. ble. 1-18.

Kainz, W., De By, R.A. & Ellis, M.C. 2001. Data Processing Systems. In: De By, R.A., red. *Principles of Geographic Information Systems: An Introductory Textbook*. Enschede: The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). 2de uitg. ble 139-193.

Kaneko, T., Takahei, T., Inami, M., Kawakami, M., Yanagida, Y., Maeda, T. & Tachi, S. 2001. *Detailed Shape Representation with Parallax Mapping*. Dokument gelewer by die International Conference on Advanced Technology, Tokio.
https://www.academia.edu/18549057/Detailed_shape_representation_with_parallax_mapping
Datum van gebruik: 14 Nov. 2021.

Kazhdan, M., Bolitho, M. & Hoppe, H. 2006. *Poisson Surface Reconstruction*. Dokument gelewer by die 4de jaarlikse Eurografiese Simposium van Geometriese Verwerking, Cagliari, Italië. <http://sites.fas.harvard.edu/~cs277/papers/poissonrecon.pdf> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Kennedy, M. & Kopp, S. 2001. *Understanding Map Projections: GIS by ESRI*. Redlands: ESRI.
Kotoula, E., Robinson, D.W. & Bedford, C. 2018. Interactive Relighting, Digital Image Enhancement and Inclusive Diagrammatic Representations for the Analysis of Rock Art Superimposition: The Main Pleito Cave (CA, USA). *Journal of Archaeological Science*,93(1):26-41.

Lavieri, E. 2018. *Getting Started with Unity 2018: A Beginner's Guide to 2D and 3D Game Development with Unity*. Birmingham: Packt.

Lawlor, O.S. 2017. Algorithms: Rendering. In: Laplante, P.A., red. *Encyclopedia of Computer Science and Technology*. 2^{de} uitg. New York: Taylor & Francis Group.

Layton, R. 2012. Rock Art, Identity, and Indigeneity. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 439-454.

Le Quellec, J., Duquesnoy, F. & Defrasne, C. 2015. Digital Image Enhancement with DStretch: Is Complexity Always Necessary for Efficiency? *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2015):55-67.

Lercari, N. 2016. Terrestrial Laser Scanning in the Age of Sensing. In: Forte, M. & Campana, S., reds. *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology: Archaeology in the Age of Sensing*. Cham: Springer. ble. 3-33.

Lesvignes, E., Robert, E. & Valentin, B. 2019. Using Digital Techniques to Document Prehistoric Rock Art: First Approaches on the Engraved Panels of the Paris Basin Shelters. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 15(1), art. #e00122. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2019.e00122>

Lewis-Williams, J.D. 1981. *Believing and seeing: Symbolic meanings in southern San rock paintings*. London: Academic.

Lewis-Williams, J.D. 1990. *Discovering Southern African Rock Art*. Claremont: David Philip.

Lewis-Williams, J.D. 2004. Neuropsychology and Upper Palaeolithic Art: Observations on the Progress of Altered States of Consciousness. *Cambridge Archaeological Journal*, 14(1):107-111.

Lewis-Williams, J.D. 2006b. Debating rock art: Myth and ritual, theories and facts. *South African Archaeological Bulletin*, 61:105-114.

Lewis-Williams, J.D. 2011. *San Rock Art*. Auckland Park: Jacana Media.

Lewis-Williams, J.D. 2012. Rock Art and Shamanism. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 17-33.

Lewis-Williams, J.D. & Pearce, D.G. 2005. *Inside the Neolithic Mind: Consciousness, Cosmos and the Realm of the Gods*. Londen: Thames & Hudson.

Lewis-Williams, J.D. & Pearce, D.G. 2008. From Generalities to Specifics in San Rock Art. *South African Journal of Science*, 104(11/12):428-430.

Lewis-Williams, J.D. & Dowson, T.A. 1993. On Vision and Power in the Neolithic: Evidence from the Decorated Monuments. *Current Anthropology*, 34:55-65.

Lexico, 2020. *Oxford Dictionary*. <https://www.lexico.com/definition/rupestrian> Datum van gebruik: 8 Sept. 2020.

Liritzis, I., Pavlidis, G., Vosinakis, Spyros., Koutsoudis, A., Volonakis, P., Howland, M.D., Liss, B. & Levy, T.E. 2017. Delphi4Delphi: Data Acquisition of Spatial Cultural Heritage Data for Ancient Delphi, Greece. In: Vincent, M.L., López-Menchero Bendicho, V.M., Ioannides, M. & Levy, T.E., eds. *Heritage and Archaeology in the DigitalAge: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Cham: Springer. ble. 151-165.

Liritzis, I., Singhvi, A.K., Feathers, J.K., Wagner, G.A., Kadereit, A., Zacharias, N. & Li, Sheng-Hua. 2013. Luminescence Dating in Archaeology, Anthropology, and Geoarchaeology. In: Lohmann, G., Rabassa, J., Notholt, J., Mysaki, L.A. & Unnithan, V., eds. *SpringerBriefs in Earth System Sciences*.

Little, T. & Borona, G. 2014. Can Rock Art in Africa Reduce Poverty? *Public Archaeology*, 13:178-186. doi:10.1179/1465518714Z.000000000067

Lobanova, N.V. 2014. Experiences Documenting Petroglyphs at Lake Onega, Russia, 1998-2012. In: Darvill, T. & Batarda Fernandes, A.P., eds. *Open-Air Rock-Art Conservation and Management: State of the Art and Future Perspectives*. New York: Routledge. ble. 98-111.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. 2005. *Geographic Information Systems & Science*. 2de uitg. Chichester: John Wiley & Sons.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. 2010. *Geographic Information Systems & Science*. 3de uitg. Chichester: John Wiley & Sons.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. 2011. *Geographic Information Systems and Science*. 3de uitg. Chichester: Wiley.

López-Menchero Bendicho, V.M. 2013. International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. In: Corsi, C., Slapšak, B. & Vermeulen, F., eds. *Good Practice in Archaeological Diagnostics: Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites*. Cham: Springer. ble 269-283.

López-Menchero Bendicho, V.M., Gutiérrez, M.F. & Pintado, J.O. 2017. Holistic Approaches to the Comprehensive Management of Rock Art in the Digital Age. In: Vincent, M.L., López-Menchero Bendicho, V.M., Ioannides, M. & Levy, T.E., eds. *Heritage and Archaeology in the Digitalage: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Cham: Springer. ble. 27-47.

Lymer, K. 2015. Image Processing and Visualisation of Rock Art Laser Scans from Loups's Hill, County Durham. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):155-165.

Magar, V. 2012. Managing Rock Art Sites. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 432-545.

Maguire, D.J. 1991. An Overview and Definition of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. & Rhind, D.W., eds. Vol. 1, *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. New York: Longman Scientific & Technical. ble 9-20.

Makuvaza, S. 2018. Introduction. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of Management Planning for Cultural World Heritage Sites: Principles, Approaches and Practices*. Cham: Springer. ble. xix-xxiii.

Malan, B.D. 1965. The Classification and Distribution of Rock Art in South Africa. *South African Journal of Science*, 61(12):427-430.

Mark, R. & Billo, E. 2002. Application of Digital Image Enhancement in Rock Art Recording. *American Indian Rock Art*, 28(1):121-128.

McCarthy, J. 2014. Multi-image Photogrammetry as a Practical Tool for Cultural Heritage Survey and Community Engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43(1):175-185.

McDonald, J. & Veth, P. 2012. Research Issues and New Directions: One Decade into the New Millennium. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 1-14.

Méndez-Caratini, H. 2018. The Use of Decorrelation Stretch Software Technology for the Visualization of Subtle Structures of the Coroidal Vasculature and Other Retinal Diseases. *The Journal of Ophthalmic Photography*, 38(2):58-64.

Merriam-Webster.com. 2021. *Merriam-Webster dictionary*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/false%20color> Datum van gebruik: 14 Aug.2021.

Merlo, S. 2016. *Making Visible: Three-Dimensional GIS in Archaeological Excavation*. Oxford: British Archaeological Reports Ltd.

Meyer, C. 2013. Interpretation and Guidelines for Reporting. In: Corsi, C., Slapšak, B. & Vermeulen, F., reds. *Good Practice in Archaeological Diagnostics: Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites*. Cham: Springer. ble 177-190.

MicroImages. 2021. *Glossary for Geospatial Science, Technical Vocabulary Defined by MicroImages*.

<https://www.microimages.com/documentation/miglossary/terms/pseudocolorimage.htm> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

Microsoft. 2021. *TypeScript*. <https://www.typescriptlang.org/> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

Mishra, V. 2017. Satellite Photogrammetry.

ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/320620770_Satellite_Photogrammetry

Datum van gebruik: 24 Aug. 2021.

Mokoena, N. 2017. Community Involvement and Heritage Management in Rural South Africa. *Journal of Community Archaeology & Heritage*, 4(3):189-202. doi: 10.1080/20518196.2017.1357233

Mudge, M., Schroer, C., Noble, T., Matthews, N., Rusinkiewicz, S. & Toler-Franklin, C. 2012. Robust and Scientifically Reliable Rock Art Documentation from Digital Photographs. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 654-659.

Murray, J., Bradley, H., Craigie, W., Onions, C.T., Burchfield, R., Weiner, E. & Simpson, J., reds. 2020. *Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press

Muzzolini, A. 2004. Saharan Africa. In: Whitley, D.S., red. *Handbook of Rock Art Research*. Walnut Creek: AltMira. ble 605-636.

Nasionale Departement van Kuns en Kultuur (Suid-Afrika). 1999a. Wet op Nasionale Erfenishulpbronne, (Wet nr. 25 van 1999): general provisions. (Kennisgewing 506). *Government Gazette*, 19974:74-87, 28 Apr.

Nasionale Departement van Kuns en Kultuur (Suid-Afrika). 1999b. Wet op die Nasionale Erfenisraad, (Wet nr. 11 van 1999). (Kennisgewing 406). *Government Gazette*, 19961, 23 Apr.

Ndlovu, N. 2011. Legislation as an Instrument in South African Heritage Management: Is it Effective? *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 13(1):31-57.

Nobles, G.R. & Roosevelt, C.H. 2021. Filling the Void in Archaeological Excavations: 2D Point Clouds to 3D Volumes. *Open Archaeology*, 7(1):589-614.

Npm. 2018. *False-color*. <https://www.npmjs.com/package/false-color> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

OSSIM: Advanced Image Processing and Geospatial Data Fusion. 2014. *Orthorectification*. <https://trac.osgeo.org/ossim/wiki/orthorectification> Datum van gebruik: 27 Sept. 2021.

Ouzman, S. 2001. Public rock art sites of South Africa. *Culna*, 56:24-25.

Ouzman, S. 2002. Thaba Ya Sione. *Culna*, 57:12-13.

Pager, H. 1975. Stone Age myth and magic. Graz: Akademische Druck.

Palstsiuk, P. 2009. Envatotuts+. *Advanced Edge Control and Texture Mapping in Blender*. <https://cgi.tutsplus.com/tutorials/advanced-edge-control-and-texture-mapping-in-blender--cg-389> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Parada Creativa. 2021. *Tipes Hommeltuie, Eienskappe, Gebruike en Nog Baie Meer*. <https://paradacreativa.es/af/soorte-hommeltuie/> Datum van gebruik: 25 Aug.2021.

Pereira, C. 2013. Rock Engravings – Another Look. *The Digging Stick*, 30(2):12-13.

Petrelli, D. 2019. Making Virtual Reconstructions Part of the Visit: An Exploratory Study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 15(4):1-12.

Petty, J. 2021. Concept Art Empire. *What is Unity 3D & What is it Used for?* <https://conceptartempire.com/what-is-unity/> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

PGBS (Pro Global Business Solutions). 2020. *32 Pros and Cons of using Adobe Photoshop (2020)*. <https://www.proglobalbusinesssolutions.com/photoshop-pros-cons/> Datum van gebruik: 17 Nov. 2020.

Photo Modeler Technologies. 2019. *How Does Photogrammetry Work?* <https://www.photomodeler.com/how-does-photogrammetry-work/> Datum van gebruik: 24 Aug. 2021.

- Pires, H. & Gonçalves-Seco, L. 2014. Morphological Residual Model: A Tool for Enhancing Epigraphic Readings of Highly Surfaces. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/306202065_Morphological_residual_model_A_tool_for_enhancing_epigraphic_readings_of_highly_erosioned_surfaces Datum van gebruik: 25 Mei 2021.
- Plets, G., Gheyle, W. & Bourgeois, J. 2011. Preservation of the Petroglyphs of the Altai Republic. Overview of the Altai Survey Project and the Recorded Rock Art Sites. *International Newsletter on Rock Art*, 59:18-23.
- Plets, G., Verhoeven, G., Cheremisin, D., Plets, R., Bourgeois, J., Stichelbaut, B., Gheyle, W. & De Reu, J. 2012. The Deteriorating Preservation of the Altai Rock Art: Assessing Three-Dimensional Image-Based Modelling in Rock Art Research and Management. *Rock Art Research: The Journal of the Australian Rock Art Research Association (AURA)*, 29(2):139-156.
- Plets, G., Gheyle, W., Verhoeven, G., De Reu, J., Bourgeois, J., Verhegge, J. & Stichelbaut, B. 2012. Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains. *Antiquity*, 86(1):884-897.
- Plisson, H. & Zotkina, L.V. 2015. From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):102-119.
- Potts, A.S. 1970. Frost Action in Rocks: Some Experimental Data. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 49:109-124.
- President van die Republiek van Suid-Afrika. 1934. Wet op Natuurlike en Historiese Gedenkwaardighede en Oudhede, (Wet nr. 4 van 1934). (Kennisgewing 1241). *Government Gazette*, 2795:307, 26 Jul.
- ProgrammerSought. 2021. *COLMAP explanation*.
<https://www.programmersought.com/article/30278257845/> Datum van gebruik: 11 Jul. 2021.
- Quesada, E. & Harman, J. 2019. A Step Further in Rock Art Digital Enhancements. DStretch on Gigapixel Imaging. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13(1):1-11.

Rahaman, H., Champion, E. & Bekele, M. 2019. From Photo to 3D to Mixed Reality: A Complete Workflow for Cultural Heritage Visualisation and Experience. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13(2):1-12.

Rainy, D. 2011. Analytical Techniques in the Analysis of Rock Art. *The University of Western Ontario Journal of Anthropology*, 9(1), art. #9.

RARI (The Rock Art Research Institute). 2020a. *The African Rock Art Digital Archive*. <http://ringingrocks.wits.ac.za/> Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.

RARI (The Rock Art Research Institute). 2020b. *World Heritage Sites: Africa*. <https://www.aluka.org/heritage/partner/XSTRARI> Datum van gebruik: 29 Aug. 2020.

Remondino, F. 2014a. Photogrammetry: Theory. In: Remondino, F. & Campana, S., eds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 65-73.

Remondino, F. 2014b. UAV: Platforms, Regulations, Data Acquisition and Processing. In: Remondino, F. & Campana, S., eds. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: British Archaeology Reports Ltd. ble 74-87.

Richard G. 2018. Trefry Library. *What are Boolean Operators?* <https://apus.libanswers.com/faq/2310> Datum van gebruik: 9 Jul. 2021.

Rifkin, R.F. 2007. *Identity Engraved: Artistic Endeavour and Ethnic Entities in Central South Africa*. Johannesburg: Universiteit van Witwatersrand. (Dissertation – MA).

Ringbeck, B. 2018. The World Heritage Convention and Its Management Concept. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of Management Planning for Cultural World Heritage Sites: Principles, Approaches and Practices*. Cham: Springer. ble 15-24.

Ripp, M. & Rodwell, D. 2018. Governance in UNESCO World Heritage Sites: Reframing the Role of Management Plans as a Tool to Improve Community Engagement. In: Makuvaza, S., red. *Aspects of Management Planning for Cultural World Heritage Sites: Principles, Approaches and Practices*. Cham: Springer. ble 241-253.

Rivero, O., Ruiz-López, J.F., Intxaurbe, I., Salazar, S. & Garate, D. 2019. On the Limits of 3D Capture: A New Method to Approach the Photogrammetric Recording of Palaeolithic Thin Incised Engravings in Atxurra Cave (Northern Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14(1), art. #e00106. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2019.e00106>

Roberts, T.G. 2017. Aerospace Security. *Popular Orbits* 101. <https://aerospace.csis.org/aerospace101/popular-orbits-101/> Datum van gebruik: 24 Aug. 2021.

Robinson, D., Baker, M.J., Bedford, C., Perry, J., Wienhold, M., Barnard, J., Reeves, D., Kotoula, E., Gandy, D. & Miles, J. 2015. Methodological Considerations of Integrating Portable Digital Technologies in the Analysis and Management of Complex Superimposed Californian Pictographs: From Spectroscopy and Spectral Imaging to 3-D Scanning. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):166-180.

Rossouw, C. & Dye, M. 2015. Encouraging Rock Art Tourism in the Drakensberg. *The Digging Stick*, 32(1):9-12.

Ruiz López, J.F., Hoyer, C.T., Rebentisch, A., Roesch, A.M., Herkert, K., Huber, N. & Floss, H. 2019. Tool Mark Analyses for the Identification of Palaeolithic Art and Modern Graffiti. The Case of Grottes d'Agneux in Rully (Saône-et-Loire, France). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14(1), art. #e00106. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2019.e00107>

Sadjadi, S.Y. 2005. *The Development of GIS to Aid Conservation of Architectural and Archaeological Sites Using Digital Terrestrial Photogrammetry*. Glasgow: Glasgow University. (Proefskrif – PhD).

SAHO (South African History Online). 2016. *Defining the term 'Bantu'*. <https://sahistory.org.za/article/defining-term-bantu> Datum van gebruik: 29 Nov. 2020.

SAHRA (South African Heritage Resources Agency). 2005. *Permit: No. 80/05/06/007/51*. <https://sahris.sahra.org.za/sites/default/files/casedecisions/15June05%20Susino%20Bosworth.pdf> Datum van gebruik: 23 Nov. 2020.

SAHRA (South African Heritage Resources Agency). 2012. *9/2/231/0004*. <https://sahris.sahra.org.za/sites/922310004> Datum van gebruik: 6 Aug. 2021.

SAHRA (South African Heritage Resources Agency). 2015. *Klerksdorp (Bosworth Rock Art) Site Report*.

<https://sahris.sahra.org.za/sites/default/files/heritagereports/%20Klerksdorp%20site%20report.docx> Datum van gebruik: 21 Nov. 2020.

SAHRA (South African Heritage Resources Agency). 2020. *Site Management Plans: Guidelines for the Development of Plans for the Management of Heritage Sites or Places*.

<https://www.sahra.org.za/Wordpress/wp-content/uploads/2020/01/Guidelines-for-Site-Management-Plans.pdf> Datum van gebruik: 24 Aug. 2020.

Sand, C. 2012. Southern Melanesian Rock Art: The New Caledonian Case. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 160-178.

Sankey, T.T. 2017. Scale, Effects. In: Shekhar, S. & Xiong, H., eds. *Encyclopedia of GIS*. 2de uitg. New York: Springer. ble 1021-1026.

Sanz, N. 2012. Rock Art and the UNESCO World Heritage List. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 491-514.

Sarlitto, D.J. 2017. Evolution of Earth Observation. In: Shekhar, S. & Xiong, H., eds. *Encyclopedia of GIS*. 2de uitg. New York: Springer. ble 557-564.

Sarp, G. 2014. Lineament Analysis from Satellite Images, North-West of Turkey. *ResearchGate*.

file:///C:/Users/lynet/Downloads/Spatial_analysis_of_lineaments_north-west_of_Ankar.pdf

Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

SASI (South African San Institute). 2020. *Written in the Sand*.

<http://www.san.org.za/history.php#:~:text=Today%20there%20are%20about%20100,hunting%20and%20gathering%20these%20days>. Datum van gebruik: 27 Sept. 2020.

Schoonraad, M. 1972. Die Bewaring en Preservering van Ons Prehistoriese Rotskuns. *Historia*, 17(4):269-275.

Sharpe, K., Barnett, T., Rushton, S., Bryan, P., Lee, G. & Mazel, A. 2008. *The Prehistoric Rock Art of England: Recording, Managing and Enjoying our Carved heritage*. Northumberland: English Heritage.

Shin, M., Campbell, J. & Burkhart, N. 2018. *Essentials of Geographic Information Systems: Version 2.1*. Boston: Boston Academic.

Simform. 2021. *Best Frontend Frameworks of 2021 for Web Development*.
<https://www.simform.com/blog/best-frontend-frameworks/> Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.

Simpson, A., Clogg, P., Diaz-Andrue, M. & Larkman, B. 2004. Towards Three-Dimensional Non-Invasive Recording of Incised Rock Art. *Antiquity*, 78(301):692-698.

Siyabona Africa. 2020. *History of Rock Art and Bloodshed: Drakensberg*. www.nature-reserve.co.za <http://www.nature-reserve.co.za/drakensberg-history.html> Datum van gebruik: 28 Nov. 2020.

Slick, J. 2021. eYewatered. *Surfacing 101 – Die Basiese Beginsels van Tekstuurmapering*.
<https://af.eyewatered.com/surfacing-101-die-basiese-beginsels-van-tekstuurmapering/> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Smuts, K. 2015. SAHRIS as a Tool for Reporting, Tracking and Managing Cases of Heritage Crime in South Africa. *South African Museums Association Bulletin*, 37(1):17-31.

Solem, D.E. & Nau, E. 2020. Two New Ways of Documenting Miniature Incisions Using Combination of Image-Based Modelling and Reflectance Transformation Imaging. *Remote Sensing*, 12(10):1-20.

Solomon, A. 1997. The myth of ritual origins? Ethnography, mythology and interpretation of San rock art. *South African Archaeological Bulletin*, 52:3-13.

Solomon, A. 1999. Meaning, models and minds: A reply to Lewis-Williams. *South African Archaeological Bulletin*, 54:51-60.

Sonnemann, T.F., Herrera Malatesta, E. & Hofman, C.L. 2016. Applying UAS Photogrammetry to Analyze Spatial Patterns of Indigenous Settlement Sites in the Northern Dominican Republic. In: Forte, M. & Campana, S., eds. *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology: Archaeology in the Age of Sensing*. Cham: Springer. ble. 71-87.

StackExchange. 2014. *Photography*. <https://photo.stackexchange.com/questions/50860/how-does-a-camera-in-an-automatic-mode-choose-what-exposure-aperture-and-iso-to> Datum van gebruik: 8 Aug. 2021.

Stentoumis, C. 2017 Multiple View Sterovision. In: Bentkowska-Kafel, A. & MacDonald, L., eds. *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*. Kalamazoo: ARC Humanities. ble 225-228.

Sternisha, K. 2019. Toolfarm. *Freebie: Bounding Box Software Materialize – Image to Material Tool*. <https://www.toolfarm.com/news/freebie-bounding-box-software-materialize-image-to-material-tool/> Datum van gebruik:13 Aug. 2021.

Sundstrom, L. 2012. Rock Art *in Situ* Context and Content as Keys to Meaning. In: McDonald,J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 325-340.

Sundstrom, L. & Hays-Gilpin, K. 2011. Rock Art as Cultural Resource. In: King, T., red. *A Companion to Cultural Resource Management*. Chichester: Wiley-Blackwell. ble 351-370.

Tacon, P.S.C. & Chippindale, C. 1998. An Archaeology of Rock-Art through Informed and Formal Methods. In: Tacon, P.S.C. & Chippindale, C., eds. *The Archaeology of Rock-Art*. Cambridge: Cambridge University Press. ble. 1-10.

Tansem, K. & Johansen, H. 2008. The World Heritage Rock Art in Alta. *Adoranten, International Rock Art Magazine*, 2008, a8alta.
<https://www.rockartscandinavia.com/images/articles/a8alta.pdf>

Tennant, E.W. 2007. A Sample Geodatabase Structure for Managing Archaeological Data and Resources with ArcGIS. *Technical Briefs in Historical Archaeology*, 2:12-23.

Thackeray, A.I. 1983. *Dating the rock art of Southern Africa*. In: Lewis-Williams, J.D., red. *New approaches to Southern African rock art*. ble. 21-26.

Thangarajah, P. 2020. Euclidean Geometry. *LibreTexts: Mathematisc*.
https://math.libretexts.org/Courses/Mount_Royal_University/MATH_1150%3A_Mathematical_Reasoning/4%3A_Basic_Concepts_of_Euclidean_Geometry/4.1%3A_Euclidean_geometry
Datum van gebruik: 8 Jun. 2020.

The British Museum. 2013. *Digital Photograph (Colour)*.
https://www.britishmuseum.org/collection/object/E_2013-2034-19234 Datum van gebruik: 18 Sep. 2021.

The Heritage Portal. 2020. *African Conservation Trust (ACT)*.
<http://www.theheritageportal.co.za/organisation/african-conservation-trust-act> Datum van gebruik: 29 Aug. 2020.

The Trustees of the British Museum. 2020. *Digital Photograph (Colour)*.
https://www.britishmuseum.org/collection/object/E_2013-2034-19234 Datum van gebruik: 22 Nov. 2020.

Tomášková, S. 2015. Digital Technologies in Context: Prehistoric Engravings in the Northern Cape, South Africa. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2015):222-232.

Tratebas, A. 2012. North American-Siberian Connections: Regional Rock Art Patterning Using Multivariate Statistics. In: McDonald, J. & Veth, P., eds. *A Companion to Rock Art*. Malden: Wiley-Blackwell. ble 143-159.

Tu, J., Yeoh, G. & Liu, C. 2013. *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. 2de uitg. Waltham: Elsevier.

UIS (UNESCO Institute for Statistics). 2009. *The 2009 UNESCO Framework for Cultural Statistics*. http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/unesco-framework-for-cultural-statistics-2009-en_0.pdf Datum van gebruik: 3 Sept. 2020.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural organization). 2010. *Managing Disaster Risks for World Heritage*. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2011. *Preparing World Heritage Nominations*. 2^{de} uitg. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural organization). 2012. *Managing Natural World Heritage*. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2016. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2019. *UNESCO in Brief – Mission and Mandate*. <https://en.unesco.org/about-us/introducing-unesco> Datum van toegang: 6 Feb. 2020.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2020a. *iSimangaliso Wetland Park*. <https://whc.unesco.org/en/list/914/> Datum van gebruik: 4 Okt. 2020.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2020b. *Maloti-Drakensberg Park*. <https://whc.unesco.org/en/list/985/> Datum van gebruik: 4 Okt. 2020.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2020c. *World Heritage List*. <http://whc.unesco.org/en/list/?search=petroglyphs&order=country&mode=table> Datum van gebruik: 7 Feb. 2020.

Unity Documentation. 2020a. *Heightmap*. <https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterHeightMap.html> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020b. *Metallic Mode: Metallic Parameter*. <https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterMetallic.html> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020c. *Normal map*. <https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterNormalMap.html> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020d. *Occlusion Map*. <https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterOcclusionMap.html> datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020e. *Smoothness*. <https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterSmoothness.html> Datum van gebruik: 13 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020f. *Model File Formats*. <https://docs.unity3d.com/Manual/3D-formats.html> Datum van gebruik: 28 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020g. *Supported Asset Types*. <https://docs.unity3d.com/Manual/AssetTypes.html> Datum van gebruik: 28 Aug. 2021.

Unity Documentation. 2020h. *Supported Platforms*.

<https://docs.unity3d.com/Manual/UnityCloudBuildSupportedPlatforms.html> datum van gebruik: 28 Aug. 2021.

University of the Witwatersrand, Johannesburg. 2020. *Ancient Southern African Rock Engravings Finally Find a Fitting Home*. <https://www.wits.ac.za/news/latest-news/opinion/2020/2020-01/ancient-southern-african-rock-engravings-finally-find-a-fitting-home.html> Datum van gebruik: 24 Nov. 2020.

Van Heerden, F. 2015, 21 Januarie. Re: *Die Toekoms van ons Speelgoed* [Webjoernaal kommentaar]. <https://fotoskool3.ning.com/profiles/blogs/list/tag/samsung> Datum van Gebruik: 26 Aug. 2021.

Van Rees, E. 2016. GeoSpatial Training Services. *Introducing Drone2Map for ArcGIS*. <https://geospatialtraining.com/introducing-drone2map-for-arcgis/> Datum van gebruik: 31 Jul. 2021.

Van Riet Lowe, C. & Söhnge, P.G. 1937. *The Geology and Archaeology of the Vaal River Basin*. Pretoria: Government.

Van Vollenhoven, A.C. 2000. *'n Voorgestelde Paradigma vir Navorsing op Histories- Argeologiese Erfenishulpbronterreine in Suid-Afrika aan die Hand van Gevallestudies in Noordelike Gauteng*. Pretoria: Universiteit van Pretoria. (Proefskrif – PhD).

Vasques, E.R. & Eldredge, T. 2011. Process Modeling for Hydrocarbon Fuel Conversion. In: Khan, M.R., red. *Advances in Clean Hydrocarbon Fuel Processing*. Oxford: Woodhead. ble 509-545.

Verhoeven, G. 2017. Mesh is More – Using All Geometric Dimensions for the Archaeological Analysis and Interpretative Mapping of 3D Surfaces. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 24(1):999-1033.

Victoria Museum. 2020. *Ancestor Figure, Male*. <https://artsandculture.google.com/asset/ancestor-figure-male/LwFqKSizUe3frA?hl=en> Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.

Vincent, M.L. & Levy, T.E. 2017. Introduction. In: Vincent, M.L., López-Mencheró Bendicho, V.M., Ioannides, M. & Levy, T.E., eds. *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Cham: Springer. ble. ix-xviii.

Vinnicombe, P. 1976. *People of the eland: Rock paintings of the Drakensberg Bushmen as a reflection of their life and thought*. Pietermaritzburg: University of Natal.

Vision Aerial. 2021. *What is Ground Sample Distance (GSD)*.

<https://visionaerial.com/what-is-ground-sampledistance/#:~:text=The%20range%20for%20UAV%20photogrammetry,surveys%2C%20which%20is%20very%20low.> Datum van gebruik: 5 Feb. 2022.

Werness, H.B. 2003. *The Continuum Encyclopedia of Animal Symbolism in Art*. New York: The Continuum International.

Willcox, A.R. 1984. *The Rock Art of Africa*. Johannesburg: Macmillan.

Williams, K. & Twohig, E.S. 2015. From Sketchbook to Structure from Motion: Recording Prehistoric Carvings in Ireland. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3):120-131.

Willis, M.D., Koenig, C.W., Black, S.L. & Castañeda, A.M. 2016. Archeological 3D Mapping: The Structure from Motion Revolution. *Journal of Texas Archeology and History*, 3:1-36.

Wiltshire, N.G. 2013a. Introducing the South African Heritage Resources Information System (SAHRIS). *South African Museums Association Bulletin*, 36(1):47-50.

Wiltshire, N.G. 2013b. *The Use of SAHRIS as a State Sponsored Digital Heritage Repository and Management System in South Africa*. Paper delivered at the 24th annual Symposium of the International CIPA, Strasbourg.

<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5194%2Fisprsannals-II-5-W1-325-2013>

WITS (The University of Witwatersrand). 2019. *Rock Art Research Institute (RARI)*.

<https://www.wits.ac.za/rockart/> Datum van gebruik: 12 Aug. 2019.

Worboys, M.F. 1995. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor & Francis.

Worboys, M.F. & Duckham, M. 2004. *GIS: A Computing Perspective*. 2de uitg. Boca Raton: CRC.

World Heritage Site. 2020. *Serra da Capivara*.

<https://www.worldheritagesite.org/list/Serra+da+Capivara> Datum van gebruik: 13 Sept. 2020.

Younes, M. 2020, 17 Nov. *Interior of the Great Temple of Ramesses II at Abu Simbel, Egypt*. [Facebook inskrywing]. <https://www.facebook.com/mahmoudyounesegyptologist> Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.

Zaslavsky, I., Burton, G.M. & Levy, T.E. 2017. A New Approach to Online Visual Analysis and Sharing of Archaeological Surveys and Image Collections. In: Vincent, M.L., López-Menchero Bendicho, V.M., Ioannides, M. & Levy, T.E., reds. *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Cham: Springer. ble. 133-155.

Zeiler, M. 1999. *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands: ESRI.

Zlatanova, S. 2008. Data Collection and 3D Reconstruction. In: Van Oosterkom, P., Zlatanova, S., Penninga, F & Fendel, E., reds. *Advances in 3D Geoinformation Systems*. Berlin: Springer. ble. 425-427.

Zotkina, L.V. & Kovalev, V.S. 2019. Lithic or Metal Tools: Techno-traceological and 3D Analysis of rock art. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13(1), art. #e00099. <https://doi-org.nwulib.nwu.ac.za/10.1016/j.daach.2019.e00099>

BYLAE A: SCRIPTS

'Item Click' script

```
ItemClick.cs X
3dMap > Assets > Scripts > ItemClick.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using System.Runtime.InteropServices;
5
6 public class ItemClick:MonoBehaviour
7 {
8     public GameObject worldView;
9     public GameObject objectView;
10    public GameObject highlighted;
11    public string rockName;
12    public Texture2D cursorTexture;
13    private Vector2 hotspot = new Vector2(0.0f, 0.0f);
14
15    private ObjectView objectViewScript;
16
17    private bool isWebGL = false;
18
19    [DllImport("__Internal")]
20    private static extern void sendStrToAngular(string str);
21
22    // Awake is called when the script instance is being loaded:
23    void Awake()
24    {
25        this.isWebGL = (Application.platform == RuntimePlatform.WebGLPlayer);
26        this.objectViewScript = this.objectView.GetComponent<ObjectView>();
27    }
28
29    // Start is called before the first frame update:
30    // void Start()
31    //{
32    //}
33
34    // Update is called once per frame:
35    // void Update()
36    //{
37    //}
38
39    // OnEnable is called when script is enabled:
40    void OnDisable()
41    {
42        Cursor.SetCursor(null, Vector2.zero, CursorMode.Auto);
43        this.highlighted.SetActive(false);
44    }
45
46    public void receiveStrFromAngular(string str)
47    {
48        sendStrToAngular("Received: " + str);
49    }
50
51    public void highlight()
52    {
53        Cursor.SetCursor(this.cursorTexture, this.hotspot, CursorMode.ForceSoftware);
54        this.highlighted.SetActive(true);
55    }
56
57    public void unHighlight()
58    {
59        Cursor.SetCursor(null, Vector2.zero, CursorMode.Auto);
60        this.highlighted.SetActive(false);
61    }
62
63    private IEnumerator SaveTextureAsPNG()
64    {
65        // We should only read the screen after all rendering is complete:
66        yield return (new WaitForEndOfFrame());
67
68        // Create a texture the size of the screen, RGB24 format:
69        int width = Screen.width;
70        int height = Screen.height;
71        Texture2D texture2D = new Texture2D(width, height, TextureFormat.RGB24, false);
72
73        // Read screen contents into the texture:
74        texture2D.ReadPixels(new Rect(0, 0, width, height), 0, 0);
75        texture2D.Apply();
76
77        this.worldView.SetActive(false);
78        this.objectView.SetActive(true);
79        this.objectViewScript.setBackground(texture2D);
80        this.objectViewScript.setRock(this.rockName);
81        if (this.isWebGL)
82        {
83            sendStrToAngular("Selected123");
84        }
85    }
86
87    public void select()
88    {
89        StartCoroutine(this.SaveTextureAsPNG());
90    }
91 }
```

'Object View' script

```
ObjectView.cs X
3dMap > Assets > Scripts > ObjectViews
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5 using TMPPro;
6
7 public class ObjectView:MonoBehaviour
8 {
9     public GameObject worldView;
10    public GameObject analyzeView;
11    public GameObject renoster;
12    public GameObject sjamaan;
13    public GameObject jagtoneel;
14    public GameObject seekoei;
15    public GameObject mainBackground;
16
17    private Image mainBackgroundImage;
18
19    private GameObject currentRock;
20
21    private AnalyseUI analyseUIScript;
22
23    // Awake is called when the script instance is being loaded:
24    void Awake()
25    {
26        this.mainBackgroundImage = this.mainBackground.GetComponent<Image>();
27        this.analyseUIScript = this.analyzeView.GetComponent<AnalyseUI>();
28    }
29
30    // Start is called before the first frame update:
31    // void Start()
32    //{
33    //}
34
35    // Update is called once per frame:
36    // void Update()
37    //{
38    //}
39
40    public void reset()
41    {
42        this.currentRock.SetActive(false);
43    }
44
45    public void process_CloseWindow()
46    {
47        this.gameObject.SetActive(false);
48    }
49
50    this.reset();
51    this.worldView.SetActive(true);
52    }
53
54    public void process_Analyse()
55    {
56        this.gameObject.SetActive(false);
57        this.reset();
58        this.analyzeView.SetActive(true);
59    }
60
61    public void setBackground(Texture2D texture)
62    {
63        Material newMaterial = new Material(this.mainBackgroundImage.material);
64        newMaterial.mainTexture = texture;
65        this.mainBackgroundImage.material = newMaterial;
66    }
67
68    public void setRock(string rockName)
69    {
70        switch (rockName)
71        {
72            case ("renoster"):
73                this.currentRock = this.renoster;
74                break ;
75            case ("sjamaan"):
76                this.currentRock = this.sjamaan;
77                break ;
78            case ("jagtoneel"):
79                this.currentRock = this.jagtoneel;
80                break ;
81            case ("seekoei"):
82                this.currentRock = this.seekoei;
83                break ;
84            default:
85                Debug.Log("[ERROR] ObjectView - setRock - Option not found in switch-case: " + rockName);
86                return ;
87        }
88        this.currentRock.SetActive(true);
89        this.analyseUIScript.setRockName(rockName);
90        this.analyseUIScript.setCaption(this.currentRock.transform.Find("Canvas").Find("Caption").GetComponent<TMPPro.TextMeshProUGUI>().text);
91    }
92 }
```

'Preview Object' script

```
PreviewObject.cs X
3dMap > Assets > Scripts > PreviewObject.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class PreviewObject:MonoBehaviour
6 {
7     public bool haveLimits = false;
8     public bool rightClick = false;
9
10    private Quaternion originalRotation;
11    private bool mouseDown = false;
12
13    private bool maxedX = false;
14    private bool maxedY = false;
15    private int defaultMouseButton = 0;
16
17    // Awake is called when the script instance is being loaded:
18    void Awake()
19    {
20        this.originalRotation = this.transform.rotation;
21        if (this.rightClick)
22            this.defaultMouseButton = 1;
23    }
24
25    // Start is called before the first frame update:
26    // void Start()
27    // {
28    // }
29
30    // Update is called once per frame:
31    void Update()
32    {
33        if (Input.GetMouseButtonDown(this.defaultMouseButton))
34            this.mouseDown = true;
35        else if (Input.GetMouseButtonUp(this.defaultMouseButton))
36            this.mouseDown = false;
37    }
38
39    // FixedUpdate is called every fixed frame-rate frame:
40    void FixedUpdate()
41    {
42        if (this.mouseDown)
43        {
44            float posX = (Input.GetAxis("Mouse Y") * 300 * Time.deltaTime);
45            float posY = (-Input.GetAxis("Mouse X") * 300 * Time.deltaTime);
46
47            if (this.haveLimits)
48            {
49                if (((this.transform.eulerAngles.x + posX) > 60.0f) && ((this.transform.eulerAngles.x + posX) < 300.0f))
50                    this.maxedX = true;
51                else
52                    this.maxedX = false;
53
54                if (((this.transform.eulerAngles.y + posY) > 60.0f) && ((this.transform.eulerAngles.y + posY) < 300.0f))
55                    this.maxedY = true;
56                else
57                    this.maxedY = false;
58            }
59
60            this.transform.Rotate((this.maxedX) ? 0 : posX, (this.maxedY) ? 0 : posY, 0, Space.World);
61        }
62    }
63
64    public void reset()
65    {
66        this.transform.rotation = this.originalRotation;
67        this.mouseDown = false;
68    }
69
70    public void OnDisable()
71    {
72        this.reset();
73    }
74
75 }
```

'Analyse UI' script

```
3dMap > Assets > Scripts > AnalyseUI.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5 using TMPro;
6
7 public class PropertiesViewValues
8 {
9     int type = 0;
10    int rangeStart = 0;
11    int rangeEnd = 0;
12    int rangeAlphaMain = 0;
13    int rangeAlphaOutlying = 0;
14    int rangeNormalMapHeight = 0;
15    int red = 0;
16    int green = 0;
17    int blue = 0;
18
19    public void setValues(int type, int rangeStart, int rangeEnd, int rangeAlphaMain, int rangeAlphaOutlying, int rangeNormalMapHeight, int red, int green, int blue)
20    {
21        this.type = type;
22        this.rangeStart = rangeStart;
23        this.rangeEnd = rangeEnd;
24        this.rangeAlphaMain = rangeAlphaMain;
25        this.rangeAlphaOutlying = rangeAlphaOutlying;
26        this.rangeNormalMapHeight = rangeNormalMapHeight;
27        this.red = red;
28        this.green = green;
29        this.blue = blue;
30    }
31
32    public int getType()
33    {
34        return this.type;
35    }
36
37    public int getRangeStart()
38    {
39        return this.rangeStart;
40    }
41
42    public int getRangeEnd()
43    {
44        return this.rangeEnd;
45    }
46
47    public int getRangeAlphaMain()
48    {
49        return this.rangeAlphaMain;
50    }
51
52    public int getRangeAlphaOutlying()
53    {
54        return this.rangeAlphaOutlying;
55    }
56
57    public int getRangeNormalMapHeight()
58    {
59        return this.rangeNormalMapHeight;
60    }
61
62    public int getRed()
63    {
64        return this.red;
65    }
66
67    public int getGreen()
68    {
69        return this.green;
70    }
71
72    public int getBlue()
73    {
74        return this.blue;
75    }
76 }
77
78 public class AnalyseUI:MonoBehaviour
79 {
80     public Camera camera1;
81
82     private bool digitalShadingOn = false;
83     private bool is3dOn = false;
84     public Light directionalLight;
85     private Quaternion originalRotation;
86     public Texture2D cursorTexture;
87     private Vector2 hotspot = new Vector2(0.0f, 0.0f);
88
89     public GameObject worldView;
90     public TextMeshProUGUI captionPanel;
91     public GameObject renoster;
92     public GameObject sjamaan;
93     public GameObject jagtoneel;
94     public GameObject seekoel;
95     private GameObject monochrome2d;
96     private GameObject trueColor2d;
97     private GameObject monochrome3dInterpreted;
98     private GameObject trueColor3dInterpreted;
```

```

99     private GameObject trueColor3d;
100
101     public GameObject propertiesView;
102     private PropertiesView propertiesViewScript;
103
104     public GameObject btnTerrain;
105     public GameObject btnSave;
106     public GameObject btnUndo;
107     public GameObject btnRedo;
108
109     public Material matSelected;
110     public GameObject btn2dMonochrome;
111     public GameObject btn2dTrueColor;
112     public GameObject btn3dMonochromeInterpreted;
113     public GameObject btn3dTrueColorInterpreted;
114     public GameObject btn3dTrueColor;
115     public GameObject btnDigitalShading;
116     public GameObject btnDigitalShadingDisabled;
117     public GameObject btn3dOrientation;
118     public GameObject btn3dOrientationDisabled;
119
120     private Image monochrome2dImage;
121     private Image trueColor2dImage;
122     private Image monochrome3dImageInterpreted;
123     private Image trueColor3dImageInterpreted;
124     private Image trueColor3dImage;
125     private Image orientation3dImage;
126     private Image digitalShadingImage;
127
128     private PropertiesRenderer monochrome2dScript;
129     private PropertiesRenderer trueColor2dScript;
130     private PropertiesRenderer monochrome3dScriptInterpreted;
131     private PropertiesRenderer trueColor3dScriptInterpreted;
132     private PreviewObject monochromeOrientationScriptInterpreted;
133     private PreviewObject trueColorOrientationScriptInterpreted;
134     private PreviewObject trueColorOrientationScript;
135
136     private ObjectZoom trueColorObjectZoomScript;
137
138     private string currentRock;
139
140     private PropertiesViewValues[] propertiesViewValues = new PropertiesViewValues[5];
141     private int currentProperties = -1;
142     private int maxProperties = 0;
143
144     private void resetUndo()
145     {
146         this.currentProperties = -1;
147         this.maxProperties = 0;
148         for (int i = 0; i < this.propertiesViewValues.Length; i++)
149             this.propertiesViewValues[i] = new PropertiesViewValues();
150     }
151
152     // Awake is called when the script instance is being loaded:
153     void Awake()
154     {
155         this.originalRotation = this.directionalLight.transform.rotation;
156         this.monochrome2dImage = this.btn2dMonochrome.GetComponent<Image>();
157         this.trueColor2dImage = this.btn2dTrueColor.GetComponent<Image>();
158         this.monochrome3dImageInterpreted = this.btn3dMonochromeInterpreted.GetComponent<Image>();
159         this.trueColor3dImageInterpreted = this.btn3dTrueColorInterpreted.GetComponent<Image>();
160         this.trueColor3dImage = this.btn3dTrueColor.GetComponent<Image>();
161         this.digitalShadingImage = this.btnDigitalShading.GetComponent<Image>();
162         this.orientation3dImage = this.btn3dOrientation.GetComponent<Image>();
163         this.propertiesViewScript = this.propertiesView.GetComponent<PropertiesView>();
164         this.resetUndo();
165     }
166
167     // Start is called before the first frame update:
168     // void Start()
169     // {
170
171     // }
172
173     // Update is called once per frame:
174     // void Update()
175     // {
176
177     // }
178
179     private void reset()
180     {
181         if (this.monochrome2dScript == null)
182             return ;
183
184         this.monochrome2dScript.reset();
185         this.trueColor2dScript.reset();
186         this.monochrome3dScriptInterpreted.reset();
187         this.trueColor3dScriptInterpreted.reset();
188         this.reset_3d();
189         this.trueColorOrientationScript.reset();
190         this.trueColorObjectZoomScript.reset();
191         this.propertiesViewScript.reset();
192         this.trueColor3d.SetActive(false);
193         this.propertiesViewScript.disableProperties(false);
194         Cursor.SetCursor(null, Vector2.zero, CursorMode.Auto);

```

```

195     }
196
197     private void setRock() {
198         switch (this.currentRock)
199         {
200             case ("renoster"):
201                 this.monochrome2d = this.renoster.transform.Find("2dMonochrome").gameObject;
202                 this.trueColor2d = this.renoster.transform.Find("2dTrueColor").gameObject;
203                 this.monochrome3dInterpreted = this.renoster.transform.Find("3dMonochromeInterpreted").gameObject;
204                 this.trueColor3dInterpreted = this.renoster.transform.Find("3dTrueColorInterpreted").gameObject;
205                 this.trueColor3d = this.renoster.transform.Find("3dTrueColor").gameObject;
206                 break;
207             case ("sjamaan"):
208                 this.monochrome2d = this.sjamaan.transform.Find("2dMonochrome").gameObject;
209                 this.trueColor2d = this.sjamaan.transform.Find("2dTrueColor").gameObject;
210                 this.monochrome3dInterpreted = this.sjamaan.transform.Find("3dMonochromeInterpreted").gameObject;
211                 this.trueColor3dInterpreted = this.sjamaan.transform.Find("3dTrueColorInterpreted").gameObject;
212                 this.trueColor3d = this.sjamaan.transform.Find("3dTrueColor").gameObject;
213                 break;
214             case ("jagtoneel"):
215                 this.monochrome2d = this.jagtoneel.transform.Find("2dMonochrome").gameObject;
216                 this.trueColor2d = this.jagtoneel.transform.Find("2dTrueColor").gameObject;
217                 this.monochrome3dInterpreted = this.jagtoneel.transform.Find("3dMonochromeInterpreted").gameObject;
218                 this.trueColor3dInterpreted = this.jagtoneel.transform.Find("3dTrueColorInterpreted").gameObject;
219                 this.trueColor3d = this.jagtoneel.transform.Find("3dTrueColor").gameObject;
220                 break;
221             case ("seekoei"):
222                 this.monochrome2d = this.seekoei.transform.Find("2dMonochrome").gameObject;
223                 this.trueColor2d = this.seekoei.transform.Find("2dTrueColor").gameObject;
224                 this.monochrome3dInterpreted = this.seekoei.transform.Find("3dMonochromeInterpreted").gameObject;
225                 this.trueColor3dInterpreted = this.seekoei.transform.Find("3dTrueColorInterpreted").gameObject;
226                 this.trueColor3d = this.seekoei.transform.Find("3dTrueColor").gameObject;
227                 break;
228             default:
229                 Debug.Log("[ERROR] AnalyseUI - setRock - Option not found in switch-case: " + this.currentRock);
230                 return;
231         }
232
233         this.monochrome2dScript = this.monochrome2d.GetComponent<PropertiesRenderer>();
234         this.trueColor2dScript = this.trueColor2d.GetComponent<PropertiesRenderer>();
235         this.monochrome3dScriptInterpreted = this.monochrome3dInterpreted.GetComponent<PropertiesRenderer>();
236         this.trueColor3dScriptInterpreted = this.trueColor3dInterpreted.GetComponent<PropertiesRenderer>();
237         this.monochromeOrientationScriptInterpreted = this.monochrome3dInterpreted.GetComponent<PreviewObject>();
238         this.trueColorOrientationScriptInterpreted = this.trueColor3dInterpreted.GetComponent<PreviewObject>();
239         this.trueColorOrientationScript = this.trueColor3d.GetComponent<PreviewObject>();
240         this.trueColorObjectZoomScript = this.trueColor3d.GetComponent<ObjectZoom>();
241         this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled = false;
242         this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled = false;
243         this.process_2dTrueColor();
244     }
245
246     // OnEnable is called when script is enabled:
247     void OnEnable()
248     {
249         this.setRock();
250     }
251
252     // OnDisable is called when script is disabled:
253     public void OnDisable()
254     {
255         this.resetUndo();
256     }
257
258     // FixedUpdate is called every fixed frame-rate frame:
259     void FixedUpdate()
260     {
261         if (this.digitalShadingOn) {
262             RaycastHit hit;
263             Ray ray = this.camera.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
264             if (Physics.Raycast(ray.origin, ray.direction, out hit, Mathf.Infinity))
265             {
266                 Debug.DrawRay(ray.origin, ray.direction * hit.distance, Color.red);
267                 Quaternion rotation = Quaternion.LookRotation(ray.direction, Vector3.up);
268                 this.directionalLight.transform.rotation = new Quaternion(rotation.x + 0.5f, rotation.y + 0.5f, rotation.z, 1);
269                 Cursor.SetCursor(this.cursorTexture, this.hotspot, CursorMode.ForceSoftware);
270             }
271             else
272             {
273                 Debug.DrawRay(ray.origin, ray.direction * 100000, Color.white);
274                 Cursor.SetCursor(null, Vector2.zero, CursorMode.Auto);
275             }
276         }
277     }
278
279     public void process_Terrain()
280     {
281         this.reset();
282         this.gameObject.SetActive(false);
283         this.worldView.SetActive(true);
284     }
285
286     public void process_Save()
287     {
288         int currentBtn = this.getCurrentBtn();
289         if (currentBtn == 0)
290             return;

```

```

291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
switch (currentBtn)
{
    case (1):
        this.monochrome2dScript.save();
        break;
    case (2):
        this.trueColor2dScript.save();
        break;
    case (3):
        this.monochrome3dScriptInterpreted.save();
        break;
    case (4):
        this.trueColor3dScriptInterpreted.save();
        break;
    default:
        Debug.Log("[ERROR] CurrentBtn - process_Save - Option not found in switch-case: " + currentBtn);
        break;
}

public void process_Undo()
{
    if (this.currentProperties > 0)
    {
        this.currentProperties--;
        this.propertiesViewScript.set(this.propertiesViewValues[this.currentProperties]);
    }
}

public void process_Redo()
{
    if (((this.currentProperties < this.maxProperties) && (this.currentProperties < this.propertiesViewValues.Length - 1)))
    {
        this.currentProperties++;
        this.propertiesViewScript.set(this.propertiesViewValues[this.currentProperties]);
    }
}

private void selectViewletBtn()
{
    if (this.monochrome2d.activeSelf)
    {
        this.monochrome2dImage.material = this.matSelected;
        this.trueColor2dImage.material = null;
        this.monochrome3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImage.material = null;
    }
    else if (this.trueColor2d.activeSelf)
    {
        this.monochrome2dImage.material = null;
        this.trueColor2dImage.material = this.matSelected;
        this.monochrome3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImage.material = null;
    }
    else if (this.monochrome3dInterpreted.activeSelf)
    {
        this.monochrome2dImage.material = null;
        this.trueColor2dImage.material = null;
        this.monochrome3dImageInterpreted.material = this.matSelected;
        this.trueColor3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImage.material = null;
    }
    else if (this.trueColor3dInterpreted.activeSelf)
    {
        this.monochrome2dImage.material = null;
        this.trueColor2dImage.material = null;
        this.monochrome3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImageInterpreted.material = this.matSelected;
        this.trueColor3dImage.material = null;
    }
    else if (this.trueColor3d.activeSelf)
    {
        this.monochrome2dImage.material = null;
        this.trueColor2dImage.material = null;
        this.monochrome3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImageInterpreted.material = null;
        this.trueColor3dImage.material = this.matSelected;
    }
}

public void process_2dMonochrome()
{
    if (this.digitalShadingOn)
        this.reset_3d();

    if (!this.monochrome2d.activeSelf)
    {
        this.is3dOn = false;
        this.trueColor2d.SetActive(false);
        this.monochrome3dInterpreted.SetActive(false);
        this.trueColor3dInterpreted.SetActive(false);
        this.trueColor3d.SetActive(false);
        this.monochrome2d.SetActive(true);
        this.propertiesViewScript.disableProperties(false);
    }
}

```

```

388         this.selectViewletBtn();
389     }
390     else
391     {
392         this.monochrome2dScript.reset();
393     }
394     this.propertiesViewScript.set2d();
395     this.btnDigitalShadingDisabled.SetActive(true);
396     this.btn3dOrientationDisabled.SetActive(true);
397 }
398
399 public void process_2dTrueColor()
400 {
401     if (this.digitalShadingOn)
402     {
403         this.reset_3d();
404     }
405     if (!this.trueColor2d.activeSelf)
406     {
407         this.is3dOn = false;
408         this.monochrome2d.SetActive(false);
409         this.monochrome3dInterpreted.SetActive(false);
410         this.trueColor3dInterpreted.SetActive(false);
411         this.trueColor3d.SetActive(false);
412         this.trueColor2d.SetActive(true);
413         this.propertiesViewScript.disableProperties(false);
414         this.selectViewletBtn();
415     }
416     else
417     {
418         this.trueColor2dScript.reset();
419     }
420     this.propertiesViewScript.set2d();
421     this.btnDigitalShadingDisabled.SetActive(true);
422     this.btn3dOrientationDisabled.SetActive(true);
423 }
424
425 public void process_3dMonochromeInterpreted()
426 {
427     if (!this.monochrome3dInterpreted.activeSelf)
428     {
429         this.is3dOn = true;
430         this.monochrome2d.SetActive(false);
431         this.trueColor2d.SetActive(false);
432         this.trueColor3dInterpreted.SetActive(false);
433         this.trueColor3d.SetActive(false);
434         this.monochrome3dInterpreted.SetActive(true);
435         this.propertiesViewScript.disableProperties(false);
436         this.selectViewletBtn();
437     }
438     else
439     {
440         this.monochrome3dScriptInterpreted.reset();
441     }
442     this.propertiesViewScript.set3d();
443     this.propertiesViewScript.setNormalMapHeight(this.monochrome3dScriptInterpreted.getNormalMapHeight());
444     this.btnDigitalShadingDisabled.SetActive(false);
445     this.btn3dOrientationDisabled.SetActive(false);
446 }
447
448 public void process_3dTrueColorInterpreted()
449 {
450     if (!this.trueColor3dInterpreted.activeSelf)
451     {
452         this.is3dOn = true;
453         this.monochrome2d.SetActive(false);
454         this.trueColor2d.SetActive(false);
455         this.monochrome3dInterpreted.SetActive(false);
456         this.trueColor3d.SetActive(false);
457         this.trueColor3dInterpreted.SetActive(true);
458         this.propertiesViewScript.disableProperties(false);
459         this.selectViewletBtn();
460     }
461     else
462     {
463         this.trueColor3dScriptInterpreted.reset();
464     }
465     this.propertiesViewScript.set3d();
466     this.propertiesViewScript.setNormalMapHeight(this.trueColor3dScriptInterpreted.getNormalMapHeight());
467     this.btnDigitalShadingDisabled.SetActive(false);
468     this.btn3dOrientationDisabled.SetActive(false);
469 }
470
471 public void process_3dTrueColor()
472 {
473     if (!this.trueColor3d.activeSelf)
474     {
475         this.is3dOn = true;
476         this.monochrome2d.SetActive(false);
477         this.trueColor2d.SetActive(false);
478         this.monochrome3dInterpreted.SetActive(false);
479         this.trueColor3dInterpreted.SetActive(false);
480         this.trueColor3d.SetActive(true);
481         this.propertiesViewScript.disableProperties(true);
482         this.selectViewletBtn();
483     }
484     else
485     {
486         this.trueColorOrientationScript.reset();
487         this.trueColorObjectZoomScript.reset();
488     }
489 }

```

```

484
485 // this.propertiesViewScript.set3d();
486 // this.propertiesViewScript.setNormalMapHeight(this.trueColor3dScriptInterpreted.getNormalMapHeight());
487 this.btnDigitalShadingDisabled.SetActive(false);
488 this.btn3dOrientationDisabled.SetActive(false);
489 }
490
491 private void process_DigitalShading()
492 {
493     if (!this.digitalShadingOn)
494     {
495         this.directionalLight.transform.rotation = this.originalRotation;
496         this.digitalShadingImage.material = null;
497         Cursor.SetCursor(null, Vector2.zero, CursorMode.Auto);
498     }
499     else
500     {
501         this.digitalShadingImage.material = this.matSelected;
502     }
503 }
504
505 public void toggle_DigitalShading()
506 {
507     if (!this.is3dOn)
508     {
509         return ;
510     }
511     this.digitalShadingOn = !this.digitalShadingOn;
512     this.process_DigitalShading();
513 }
514
515 private void reset_DigitalShading()
516 {
517     this.digitalShadingOn = false;
518     this.process_DigitalShading();
519 }
520
521 private void reset_3d()
522 {
523     this.reset_DigitalShading();
524     this.orientation3dImage.material = null;
525     this.monochromeOrientationScriptInterpreted.reset();
526     this.trueColorOrientationScriptInterpreted.reset();
527     this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled = false;
528     this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled = false;
529 }
530
531 public void process_3dOrientation()
532 {
533     this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled = !this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled;
534     this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled = !this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled;
535     this.trueColorOrientationScript.enabled = !this.trueColorOrientationScript.enabled;
536
537     if ((this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled) || (this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled) || (this.trueColorOrientationScript.enabled))
538     {
539         this.orientation3dImage.material = this.matSelected;
540     }
541     else
542     {
543         this.orientation3dImage.material = null;
544     }
545
546     if (!this.monochromeOrientationScriptInterpreted.enabled)
547     {
548         this.monochromeOrientationScriptInterpreted.reset();
549     }
550     if (!this.trueColorOrientationScriptInterpreted.enabled)
551     {
552         this.trueColorOrientationScriptInterpreted.reset();
553     }
554     if (!this.trueColorOrientationScript.enabled)
555     {
556         this.trueColorOrientationScript.reset();
557     }
558 }
559
560 private int getCurrentBtn()
561 {
562     if (this.monochrome2d.activeSelf)
563     {
564         return (1);
565     }
566     else if (this.trueColor2d.activeSelf)
567     {
568         return (2);
569     }
570     else if (this.monochrome3dInterpreted.activeSelf)
571     {
572         return (3);
573     }
574     else if (this.trueColor3dInterpreted.activeSelf)
575     {
576         return (4);
577     }
578     return (0);
579 }
580
581 private void shiftPropertiesViewArr()
582 {
583     PropertiesViewValues tmp = this.propertiesViewValues[0];
584     for (int i = 0; i < (this.propertiesViewValues.Length - 1); i++)
585     {
586         this.propertiesViewValues[i] = this.propertiesViewValues[i + 1];
587         this.propertiesViewValues[this.propertiesViewValues.Length - 1] = tmp;
588     }
589 }
590
591 private void storePropertiesValues(int type, int rangeStart, int rangeEnd, int rangeAlphaMain, int rangeAlphaOutlying, int rangeNormalMapHeight, int red, int green, int blue)
592 {
593     if (this.currentProperties < this.maxProperties)
594     {
595         this.maxProperties = this.currentProperties;
596     }
597     if (this.currentProperties < (this.propertiesViewValues.Length - 1))
598     {
599         {
600             this.currentProperties++;
601             this.maxProperties++;
602             this.propertiesViewValues[this.currentProperties].setValues(type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
603         }
604     }
605     else
606     {

```

```

581         this.shiftPropertiesViewArr();
582         this.propertiesViewValues[(this.propertiesViewValues.Length - 1)].setValues(type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
583     }
584 }
585 }
586
587 public void setProperties(bool addUndo, int type, int rangeStart, int rangeEnd, int rangeAlphaMain, int rangeAlphaOutlying, int rangeNormalMapHeight, int red, int green, int blue)
588 {
589     if (addUndo)
590     {
591         this.storePropertiesValues(type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
592     }
593     int currentBtn = this.getCurrentBtn();
594     if (currentBtn == 0)
595     {
596         return;
597     }
598     switch (currentBtn)
599     {
600     case (1):
601         this.monochrome2dScript.applyProperties(false, type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
602         break;
603     case (2):
604         this.trueColor2dScript.applyProperties(false, type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
605         break;
606     case (3):
607         this.monochrome3dScriptInterpreted.applyProperties(true, type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
608         break;
609     case (4):
610         this.trueColor3dScriptInterpreted.applyProperties(true, type, rangeStart, rangeEnd, rangeAlphaMain, rangeAlphaOutlying, rangeNormalMapHeight, red, green, blue);
611         break;
612     default:
613         Debug.Log("[ERROR] CurrentBtn - setProperties - Option not found in switch-case: " + currentBtn);
614         break;
615     }
616 }
617
618 public void resetProperties()
619 {
620     int currentBtn = this.getCurrentBtn();
621     if (currentBtn == 0)
622     {
623         return;
624     }
625     switch (currentBtn)
626     {
627     case (1):
628         this.monochrome2dScript.reset();
629         break;
630     case (2):
631         this.trueColor2dScript.reset();
632         break;
633     case (3):
634         this.monochrome3dScriptInterpreted.reset();
635         break;
636     case (4):
637         this.trueColor3dScriptInterpreted.reset();
638         break;
639     default:
640         Debug.Log("[ERROR] CurrentBtn - resetProperties - Option not found in switch-case: " + currentBtn);
641         break;
642     }
643 }
644
645 public void setRockName(string rockName)
646 {
647     this.currentRock = rockName;
648 }
649
650 public void setCaption(string caption)
651 {
652     this.captionPanel.text = caption;
653 }
654 }
655 }

```

'Properties Renderer' script

```
PropertiesRenderer.cs X
3dMap > Assets > Scripts > Properties > PropertiesRenderer.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using System.Runtime.InteropServices;
5 using UnityEngine.UI;
6
7 public class PropertiesRenderer:MonoBehaviour
8 {
9     public Material originalMaterial;
10    public GameObject rhino;
11    private bool isWebGL = false;
12
13    [DllImport("__Internal")]
14    private static extern string getTrueColor(int start, int end, double exposure);
15
16    [DllImport("__Internal")]
17    private static extern string getTrueColor1(int r, int g, int b);
18
19    [DllImport("__Internal")]
20    private static extern string getFalseColors(int start, int end);
21
22    [DllImport("__Internal")]
23    private static extern void saveToFile(string fileName, string encodedData);
24
25    // Awake is called when the script instance is being loaded:
26    void Awake()
27    {
28        this.isWebGL = (Application.platform == RuntimePlatform.WebGLPlayer);
29    }
30
31    // Start is called before the first frame update:
32    // void Start()
33    //{
34    //}
35
36    // Update is called once per frame:
37    // void Update()
38    //{
39    //}
40
41    public float getNormalMapHeight()
42    {
43        return (this.rhino.GetComponent<Image>().material.GetFloat("_BumpScale"));
44    }
45
46    public void reset()
47    {
48        this.rhino.GetComponent<Image>().material = this.originalMaterial;
49        this.rhino.GetComponent<UIZoomImage>().reset();
50    }
51
52    public void OnDisable()
53    {
54        this.gameObject.SetActive(false);
55        this.reset();
56    }
57
58    public void applyProperties(bool is3d, int type, int rangeStart, int rangeEnd, int rangeAlphaMain, int rangeAlphaOutlying, int rangeNormalMapHeight, int red, int green, int blue)
59    {
60        if (this.isWebGL)
61        {
62            Material newMaterial = new Material(this.originalMaterial);
63            Image renderer = this.rhino.GetComponent<Image>();
64            if (is3d)
65            {
66                newMaterial.SetFloat("_BumpScale", rangeNormalMapHeight);
67                string t = getFalseColors(0, 255);
68                string[] falseColors = t.Split(new string[] { "\",\""}, System.StringSplitOptions.None);
69                Texture mainTexture = this.originalMaterial.mainTexture;
70                Texture2D texture2D = new Texture2D(mainTexture.width, mainTexture.height, TextureFormat.RGBA32, false);
71                RenderTexture renderTexture = new RenderTexture(mainTexture.width, mainTexture.height, 32);
72                RenderTexture.currentRT = renderTexture.active;
73                Graphics.Blit(mainTexture, renderTexture);
74                RenderTexture.active = renderTexture;
75                texture2D.ReadPixels(new Rect(0, 0, renderTexture.width, renderTexture.height), 0, 0);
76                texture2D.Apply();
77                Color32[] pixels = texture2D.GetPixels32();
78                int cnt = pixels.Length;
79
80                for (int i = 0; i < cnt; i++)
81                {
82                    int exposure = Mathf.RoundToInt(((float)((pixels[i].r * 0.2126) + (pixels[i].g * 0.7152) + (pixels[i].b * 0.0700))));
83                    if ((exposure >= rangeStart) && (exposure <= rangeEnd))
84                    {
85                        if (type == 0)
86                        {
87                            string[] words = falseColors[exposure].Split(',');
88                            pixels[i].r = byte.Parse(words[0]);
89                            pixels[i].g = byte.Parse(words[1]);
90                            pixels[i].b = byte.Parse(words[2]);
91                        }
92                        else if (type == 1)
93                        {
94                            pixels[i].r = (byte)red;
95                            pixels[i].g = (byte)green;
96                            pixels[i].b = (byte)blue;
97                        }
98                    }
99                }
100            }
101            renderer.material = newMaterial;
102        }
103    }
104}
```

```

99         if (!is3d)
100             pixels[i].a = (byte)rangeAlphaMain;
101     }
102     else if (!is3d)
103         pixels[i].a = (byte)rangeAlphaOutlying;
104     }
105     RenderTexture.active = currentRT;
106     texture2D.SetPixels32(pixels);
107     texture2D.Apply();
108     newMaterial.mainTexture = texture2D;
109     renderer.material = newMaterial;
110 }
111 }
112
113 private IEnumerator SaveTextureAsPNG()
114 {
115     // We should only read the screen after all rendering is complete:
116     yield return (new WaitForEndOfFrame());
117
118     // Create a texture the size of the screen, RGB24 format:
119     int width = Screen.width;
120     int height = Screen.height;
121     Texture2D texture2D = new Texture2D(width, height, TextureFormat.RGB24, false);
122
123     // Read screen contents into the texture:
124     texture2D.ReadPixels(new Rect(0, 0, width, height), 0, 0);
125     texture2D.Apply();
126
127     // Encode texture into PNG:
128     byte[] bytes = texture2D.EncodeToPNG();
129     Destroy(texture2D);
130
131     // Store as string in base64 format:
132     string encodedText = System.Convert.ToBase64String(bytes);
133
134     string encodedData = "data:image/png;base64," + encodedText;
135
136     if (this.isWebGL)
137         saveToFile("Screenshot", encodedData);
138 }
139
140 public void save()
141 {
142     StartCoroutine(this.SaveTextureAsPNG());
143 }
144 }

```

'Properties View' script

```
PropertiesViews.cs X
3dMap > Assets > Scripts > Properties > PropertiesViews.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class PropertiesView:MonoBehaviour
6 {
7     public GameObject analyseView;
8     private AnalyseUI analyseViewScript;
9     public GameObject rangeValues;
10    private RangeValues rangeValuesScript;
11    public GameObject type;
12    private Type typeScript;
13    public GameObject colorPicker;
14    private ColorPicker colorPickerScript;
15    public GameObject panelOverlay;
16
17    // Awake is called when the script instance is being loaded:
18    void Awake()
19    {
20        this.analyseViewScript = this.analyseView.GetComponent<AnalyseUI>();
21        this.rangeValuesScript = this.rangeValues.GetComponent<RangeValues>();
22        this.typeScript = this.type.GetComponent<Type>();
23        this.colorPickerScript = this.colorPicker.GetComponent<ColorPicker>();
24    }
25
26    // Start is called before the first frame update:
27    // void Start()
28    //{
29    //}
30
31    // Update is called once per frame:
32    // void Update()
33    //{
34    //}
35
36    public void reset()
37    {
38        // Ensure class variables is initialized:
39        if ((this.rangeValuesScript == null) || (this.typeScript == null) || (this.colorPickerScript == null))
40        {
41            this.Awake();
42        }
43
44        this.rangeValuesScript.reset();
45        this.typeScript.reset();
46        this.colorPickerScript.reset();
47        this.analyseViewScript.resetProperties();
48        this.panelOverlay.SetActive(false);
49    }
50
51    public void apply(bool addUndo = true)
52    {
53        // Ensure class variables is initialized:
54        if (this.analyseViewScript == null)
55        {
56            this.Awake();
57        }
58
59        this.analyseViewScript.setProperties(addUndo, this.typeScript.getValue(), this.rangeValuesScript.getStart(), this.rangeValuesScript.getEnd(), this.rangeValuesScript.getAlphaMain(), this.rangeValuesScript.getAlphaOutlying(), this.rangeValuesScript.getNormalMapHeight(), this.rangeValuesScript.getRangeAlphaOutlying(), this.rangeValuesScript.getRangeNormalMapHeight(), this.rangeValuesScript.getRed(), this.rangeValuesScript.getGreen(), this.rangeValuesScript.getBlue());
60    }
61
62    public void setNormalMapHeight(float normalMapHeight)
63    {
64        // Ensure class variables is initialized:
65        if (this.rangeValuesScript == null)
66        {
67            this.Awake();
68        }
69
70        this.rangeValuesScript.setNormalMapHeight(normalMapHeight);
71    }
72
73    public void set2d()
74    {
75        // Ensure class variables is initialized:
76        if (this.rangeValuesScript == null)
77        {
78            this.Awake();
79        }
80
81        this.rangeValuesScript.set2d();
82    }
83
84    public void set3d()
85    {
86        // Ensure class variables is initialized:
87        if (this.rangeValuesScript == null)
88        {
89            this.Awake();
90        }
91
92        this.rangeValuesScript.set3d();
93    }
94
95    public void set(PropertiesViewValues propertiesViewValues)
96    {
97        this.typeScript.setValue(propertiesViewValues.getType());
98        this.rangeValuesScript.setStart(propertiesViewValues.getRangeStart());
99        this.rangeValuesScript.setEnd(propertiesViewValues.getRangeEnd());
100        this.rangeValuesScript.setAlphaMain(propertiesViewValues.getRangeAlphaMain());
101        this.rangeValuesScript.setAlphaOutlying(propertiesViewValues.getRangeAlphaOutlying());
102        this.rangeValuesScript.setNormalMapHeight(propertiesViewValues.getRangeNormalMapHeight());
103        this.colorPickerScript.setRed(propertiesViewValues.getRed());
104        this.colorPickerScript.setGreen(propertiesViewValues.getGreen());
105        this.colorPickerScript.setBlue(propertiesViewValues.getBlue());
106        this.panelOverlay.SetActive(false);
107    }
108
109    public void disableProperties(bool disable)
110    {
111        this.panelOverlay.SetActive(disable);
112    }
113 }
```

'Range Values' script

```
RangeValues.cs X
3dMap > Assets > Scripts > Properties > RangeValues.cs
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5 using TMPro;
6
7 public class RangeValues:MonoBehaviour
8 {
9     public Slider sliderStart;
10    public TMP_InputField inputStart;
11
12    public Slider sliderEnd;
13    public TMP_InputField inputEnd;
14
15    public GameObject transparencyObj;
16    public GameObject normalMapObj;
17    public Slider sliderAlphaMain;
18    public TMP_InputField inputAlphaMain;
19
20    public Slider sliderAlphaOutlying;
21    public TMP_InputField inputAlphaOutlying;
22
23    public Slider sliderNormalMapHeight;
24    public TMP_InputField inputNormalMapHeight;
25
26    // Awake is called when the script instance is being loaded:
27    void Awake()
28    {
29        this.inputStart.text = this.sliderStart.value.ToString();
30        this.inputEnd.text = this.sliderEnd.value.ToString();
31        this.inputAlphaMain.text = this.sliderAlphaMain.value.ToString();
32        this.inputAlphaOutlying.text = this.sliderAlphaOutlying.value.ToString();
33        this.inputNormalMapHeight.text = this.sliderNormalMapHeight.value.ToString();
34    }
35
36    // Start is called before the first frame update:
37    // void Start()
38    // {
39    // }
40    // }
41
42    // Update is called once per frame:
43    // void Update()
44    // {
45    // }
46    // }
47
48    public void inputStart_change()
49    {
50        if (this.inputStart.text == "")
51            return ;
52
53        int value = int.Parse(this.inputStart.text);
54        if (this.sliderStart.value > this.sliderEnd.value - 10)
55            this.sliderStart.value = this.sliderEnd.value - 10;
56        else if ((value >= 0) && (value <= 255))
57            this.sliderStart.value = value;
58    }
59
60    public void inputStart_end()
61    {
62        if (this.inputStart.text == "")
63            this.inputStart.text = this.sliderStart.value.ToString();
64
65        else if (this.sliderStart.value > this.sliderEnd.value - 10)
66            this.sliderStart.value = this.sliderEnd.value - 10;
67        else if ((this.sliderStart.value < 0) || (this.sliderStart.value < 255))
68            this.inputStart.text = this.sliderStart.value.ToString();
69    }
70
71    public void sliderStart_change()
72    {
73        this.inputStart.text = this.sliderStart.value.ToString();
74    }
75
76    public void inputEnd_change()
77    {
78        if (this.inputEnd.text == "")
79            return ;
80
81        int value = int.Parse(this.inputEnd.text);
82        if (this.sliderEnd.value < this.sliderStart.value + 10)
83            this.sliderEnd.value = this.sliderStart.value + 10;
84        else if ((value >= 0) && (value <= 255))
85            this.sliderEnd.value = value;
86    }
87
88    public void inputEnd_end()
89    {
90        if (this.inputEnd.text == "")
91            this.inputEnd.text = this.sliderEnd.value.ToString();
92
93        else if (this.sliderEnd.value < this.sliderStart.value + 10)
94            this.sliderEnd.value = this.sliderStart.value + 10;
95        else if ((this.sliderEnd.value < 0) || (this.sliderEnd.value < 255))
96            this.inputEnd.text = this.sliderEnd.value.ToString();
97    }
98 }
```

```

98
99 public void sliderEnd_change()
100 {
101     this.InputEnd.text = this.sliderEnd.value.ToString();
102 }
103
104 public void inputAlphaMain_change(string value)
105 {
106     if (value == "")
107         return ;
108
109     int intValue = int.Parse(value);
110     if ((intValue >= 0) && (intValue <= 255))
111         this.sliderAlphaMain.value = intValue;
112 }
113
114 public void inputAlphaMain_end(string value)
115 {
116     if (value == "")
117         this.inputAlphaMain.text = this.sliderAlphaMain.value.ToString();
118
119     else if ((this.sliderAlphaMain.value < 0) || (this.sliderAlphaMain.value > 255))
120         this.inputAlphaMain.text = this.sliderAlphaMain.value.ToString();
121 }
122
123 public void sliderAlphaMain_change(float value)
124 {
125     this.InputAlphaMain.text = value.ToString();
126 }
127
128 public void inputAlphaOutlying_change(string value)
129 {
130     if (value == "")
131         return ;
132
133     int intValue = int.Parse(value);
134     if ((intValue >= 0) && (intValue <= 255))
135         this.sliderAlphaOutlying.value = intValue;
136 }
137
138 public void inputAlphaOutlying_end(string value)
139 {
140     if (value == "")
141         this.inputAlphaOutlying.text = this.sliderAlphaOutlying.value.ToString();
142
143     else if ((this.sliderAlphaOutlying.value < 0) || (this.sliderAlphaOutlying.value > 255))
144         this.inputAlphaOutlying.text = this.sliderAlphaOutlying.value.ToString();
145 }
146
147 public void sliderAlphaOutlying_change(float value)
148 {
149     this.inputAlphaOutlying.text = value.ToString();
150 }
151
152 public void inputNormalMapHeight_change(string value)
153 {
154     if (value == "")
155         return ;
156
157     int intValue = int.Parse(value);
158     if ((intValue >= 0) && (intValue <= 255))
159         this.sliderNormalMapHeight.value = intValue;
160 }
161
162 public void inputNormalMapHeight_end(string value)
163 {
164     if (value == "")
165         this.inputNormalMapHeight.text = this.sliderNormalMapHeight.value.ToString();
166
167     else if ((this.sliderNormalMapHeight.value < 0) || (this.sliderNormalMapHeight.value > 255))
168         this.inputNormalMapHeight.text = this.sliderNormalMapHeight.value.ToString();
169 }
170
171 public void sliderNormalMapHeight_change(float value)
172 {
173     this.inputNormalMapHeight.text = value.ToString();
174 }
175
176 public int getStart()
177 {
178     return ((int)this.sliderStart.value);
179 }
180
181 public void setStart(int val)
182 {
183     if ((val >= 0) && (val <= 255))
184         this.sliderStart.value = val;
185 }
186
187 public int getEnd()
188 {
189     return ((int)this.sliderEnd.value);
190 }
191
192 public void setEnd(int val)
193 {
194     if ((val >= 0) && (val <= 255))

```

```

194     if ((val >= 0) && (val <= 255))
195     {
196         this.sliderEnd.value = val;
197     }
198
199     public int getAlphaMain()
200     {
201         return ((int)this.sliderAlphaMain.value);
202     }
203
204     public void setAlphaMain(int val)
205     {
206         if ((val >= 0) && (val <= 255))
207         {
208             this.sliderAlphaMain.value = val;
209         }
210     }
211
212     public int getAlphaOutlying()
213     {
214         return ((int)this.sliderAlphaOutlying.value);
215     }
216
217     public void setAlphaOutlying(int val)
218     {
219         if ((val >= 0) && (val <= 255))
220         {
221             this.sliderAlphaOutlying.value = val;
222         }
223     }
224
225     public int getNormalMapHeight()
226     {
227         return ((int)this.sliderNormalMapHeight.value);
228     }
229
230     public void setNormalMapHeight(int val)
231     {
232         if ((val >= 0) && (val <= 255))
233         {
234             this.sliderNormalMapHeight.value = val;
235         }
236     }
237
238     public void set2d()
239     {
240         this.normalMapObj.SetActive(false);
241         this.transparencyObj.SetActive(true);
242     }
243
244     public void set3d()
245     {
246         this.transparencyObj.SetActive(false);
247         this.normalMapObj.SetActive(true);
248     }
249
250     public void setNormalMapHeight(float normalMapHeight)
251     {
252         this.sliderNormalMapHeight.value = normalMapHeight;
253     }
254
255     public void reset()
256     {
257         this.sliderStart.value = 0.0f;
258         this.sliderEnd.value = 255.0f;
259         this.sliderAlphaMain.value = 255.0f;
260         this.sliderAlphaOutlying.value = 255.0f;
261         this.sliderNormalMapHeight.value = 3.0f;
262         this.Awake();
263     }

```