

'n Multinavorsingsmodel toegerus met sagteware-instrumente vir die afstand-analisering van rotskunsdata: Bosworth-plaas gevallestudie

L Boardman, TC de Klerk

Navorsingseenheid vir Omgewingswetenskappe en Bestuur, Noordwes-Universiteit, Potchefstroomkampus, Suid-Afrika
Korresponderende outeur: L Boardman **E-pos:** lynnette.boardman@gmail.com

Opsomming¹: Die globale verspreiding van rotskuns kompliseer die navorsing daarvan en noodsaak navorsers om grootliks op die aanlyn beskikbaarheid daarvan staat te maak. Sou van die elemente in só 'n kunswerk blyk onduidelik te wees, moet tans op 'n individuele basis na aanlyn toepassings gesoek word wat moontlike verhoogde sigbaarheid daarvan kan meebring. Die doel van hierdie studie was om te poog om hierdie leemte te vul deur, eerstens, 'n interaktiewe multinavorsingsmodel te skep, en tweedens, om die navorsingswaarde van só 'n model te bepaal. Petrogliewe van die Bosworth-rotskunsterrein is vir hierdie doel gedokumenteer en voorgestel in die konteks van hul onmiddellike omgewing, naamlik die betrokke rotse en terrein. Om hierdie data aanlyn beskikbaar te stel, is 'n webtoepassing geskep wat analiseringsvermoë bied ten opsigte van die vergroting, manipulerings van die hellingshoek, toekenning van nuwe kleurkombinasies, asook die werp van digitale skaduwees oor die kunswerke. 'n Kombinasie van hierdie ingeboude manipuleringsopsies is daarna beskikbaar gestel vir toepassing op beide 2D- én 3D-uitbeeldings van elke kunswerk, in kleur sowel as in monochroom. Navorsers kan dus die rotskunsterrein virtueel besoek en ook die waarneembaarheid van die petrogliewe verhoog by wyse van geïntegreerde sagteware-instrumente. Hierdie digitale argeologiese tegnieke kan op dieselfde wyse op ander rotskunsterreine vir die analisering en bestudering van rotskuns toegepas word.

Sleutelwoorde: Rotskuns, Bosworth, petrogliewe, 3D-modellering, afstandwaarneming.

A multi-research model equipped with software tools for the remote analysis of rock art data: Bosworth farm case study: The global distribution of rock art complicates the research thereof and has forced 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 its possible enhancement must be sought on an individual basis. The aim of this study was to attempt to fill this need by, firstly, creating an interactive multi-research model, and secondly, to determine the research value of such a model. Petroglyphs of the Bosworth rock art site have been documented and presented for this purpose in the context of their immediate surroundings, namely the relevant rocks and site. To make this data available online, a web application has been created offering analytical capabilities with regards to the magnification, manipulation of the viewing angle, allocation of new colour combinations, as well as the casting of digital shadows over the artworks. A combination of these built-in manipulation options was then made available for application to both 2D and 3D depictions of each artwork, in colour as well as in monochrome. Researchers are thus given the opportunity to virtually visit the rock art site and enhance the visibility of the petroglyphs by means of integrated software tools. These digital archaeological techniques can be applied in the same way to other rock art sites for the analysis and study of rock art.

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

1. Afkortings

BGM:	Beeldgebaseerde modellering
DELR-kamera:	Digitale enkellensreflekskamera
GBPe:	Grondbeheerpunte
GPS:	Globale posisioneringstelsel
OVS:	Onbemande vlugstelsel
RARI:	Rock Art Research Institute
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
ADRC:	Archaeological Data Recording Centre

Inleiding

Prehistoriese rotskuns is 'n algemene wêreldwye verskynsel wat op byna al die kontinente aangetref word (Antarktika is die enigste kontinent waarop nog geen rotskuns gevind is nie) (McDonald & Veth, 2012). Net in Suid-Afrika alleen was die totale getal rotskunsterreine in die 1980's, soos bekend aan die *Archaeological Data Recording Centre (ADRC)*, 523 terreine met petrogliewe en 3 489 met piktograwe (Willcox, 1984). Nie alle terreine is by die ADRC aangemeld nie en boonop is die deurlopende "ontdekking" van nuwe terreine só algemeen dat Lewis-Williams (2006, 2011) aanvoer dat daar tot meer as 15 000 rotskunsterreine in Suid-Afrika is.

Tog, ten spyte daarvan dat rotskuns algemeen voorkom, word dit deur UNESCO (*Verenigde Nasies se Opvoedkundige, Wetenskaplike en Kulturele Organisasie, oftewel die United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) as 'n bedreigde kulturele erfenis beskou. Artikel 2 van die Handves vir die Beskerming en Bestuur van Argeologiese Erfenis van 1990 sê, "archaeological heritage is a fragile and non-renewable culture resource". 'n Stelling wat met rotskuns selfs nog meer betekenis kry, want waar argeologiese erfenis oor die algemeen broos is, is dit met rotskuns nog meer die geval. 'n Bydraende rede hiervoor is dat die oorgrote meerderheid argeologiese fondse ondergronds gevind word, terwyl rotskuns se ligging hoofsaaklik bogronds is. Die gevolg hiervan is dat die ligging van hierdie ryk erfenis dikwels verskeie degenererende elemente fasiliteer (López-Menchero Bendicho, et al., 2017), byvoorbeeld:

Omgewingsprosesse:

Abiotiese prosesse soos natuurlike erosie deur wind en water, asook 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). Die rede hiervoor is dat rotse met hul hoeveelheid gefolieerde substrate sensitief is vir hierdie seisoengebonde siklusse (Potts, 1970). Die gevolg is dat fragmente van die substrate afbreek en in sommige gevalle lei tot die algehele degenerasie van volledige rotskunsstonele. Hierdie stelselmatige afskilfering gaan ook gepaard met krake in die rotse, wat die verwerking van die rotse nog meer versnel (Plets, et al., 2012).

Navorsing:

Navorsing op sigself kan ook skadelik wees, selfs al word dit met die beste bedoelings deur rotskunskenner gedoen. Voorbeelde hiervan is tradisionele metodes wat in die verlede gebruik is (en in uitsonderlike gevalle, vandag steeds gebruik word) om rotskuns te dokumenteer, soos natrektekeninge, asook skuur- en gietwerk (Plets, et al., 2012). Vandag is die meeste rotskunsspesialiste dit eens dat hierdie metodes 'n negatiewe impak op rotskuns het en dus die langtermynbehoud daarvan nadelig beïnvloed (Cassen & Robin, 2010; Simpson, et al., 2004).

Besoekersdruk:

Rotskuns is 'n groeiende globale toeriste-aantreklikheid en hoewel dit finansiële voordelig is, bedreig die toename in die getalle toeriste die fisiese bewaring, egtheid en konteks van die

rotskunsterreine (Gheyle, 2009; Plets, et al., 2011). Die meerderheid van hierdie terreine kan vrylik besoek word sonder enige vorm van beheer of inligtingsinfrastruktuur. Gevolglik is daar menige gevalle bekend waar 'n toename in toerisme direk én indirek gelei het tot beskadiging 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 rotspaneel verwyder en op die swartmark verkoop is (Plets, et al., 2012).

Infrastrukturele ontwikkeling:

Groot dyke, mynbou en prospektering, asook verskeie industriële projekte, het reeds volledige ekosisteme vernietig en gelei tot die verlies van rotskuns-erfenis in verskeie van hierdie gebiede. Die realiteit is dat vooruitgang en ekonomiese ontwikkeling in menige moderne samelewings volgehou word ten koste van hul eie kulturele erfenis (López-Menchero Bendicho, et al., 2017).

Gevolglik hou hierdie voortdurende staat van verwerking en beskadiging van die rotse met hul kunswerke 'n groot bedreiging in vir die langtermynbewaring daarvan en navorsing daarvoor (Hubbard, et al., 2018; López-Menchero Bendicho, et al., 2017; Willcox, 1984). Een só 'n gevolg is dat ons gelaat word met nie-identifiseerbare rotskuns, of gevalle waar hierdie kunswerke misinterpreteer kan word. Dan ook, indien die rotskuns nie bestudeer en gedokumenteer word alvorens dit verder verdof of selfs heeltemal verdwyn nie, is dit finaal verlore vir die navorser, en ook as inheemse kennisstelsel (Helm, et al., 2011).

Om hierdie redes is die doel van die dokumentering van rotskuns drieërlei van aard:

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

(Berquist, et al., 2018; Domingo, et al., 2015; Quesada & Harman, 2019).

Om bogenoemde doelstellings te bereik, het dit nie net standaardpraktyk geword om verskeie digitale metodes in rotskunsargeologie toe te pas nie, maar dit het ook in die laaste dekade verder ontwikkel tot 'n vlak waar digitale multimetodiekbenaderings die oogmerk van navorsers geword het ter optimalisering van hierdie doelstellings (Rivero, et al., 2019; Robinson, et al., 2015). As gevolg hiervan bestaan daar databasisse met rotskuns-erfenis wat aan die gebruiker beperkte analiseringsvermoë bied (in sommige gevalle slegs die opsie om 'n kunswerk te vergroot). Die huidige vrylik beskikbare aanlyn rotskuns-korpus bestaan hoofsaaklik uit:

- Individuele rotskuns-erfenis sonder konteksuitbeelding.
- Rotskuns-erfenis in die konteks van hul onmiddellike ruimte.
- Rotse met rotskuns opgestel in 'n virtuele niefisiese ruimte.

(ACT, 2020; Berquist, et al., 2018; Britse Museum, 2020; RARI, 2020).

Ten einde 'n oplossing te bied vir die bestaande leemte wat betref die voorstelling en navorsingsvermoë van digitale rotskunsuitbeeldings en databasisse, is in hierdie studie 'n metodologie tot 'n nuwe omvattender dog eenvoudiger model voorgelê, genaamd 'n multinavorsingsmodel. Hierdie model is saamgestel deur 'n multiskaaldokumenterings- en -voorstelingsbenadering te kombineer met 'n multi-analiseringsbenadering, wat dan beskikbaar gestel is by wyse van 'n interaktiewe webtoepassing. Die doel hiervan was om die samevoeging van bestaande sowel as nuwe diverse manipuleringsopsies vir rotskunswerke nie net te optimaliseer nie, maar ook as voorbeeld aan te bied wat die moontlikhede toon wat só 'n model inhou. Hierdie moontlikhede is meetbaar ten opsigte van die navorsingswaarde wat deur die geskepte model gebied word. Ter illustrasie van die voorstellings- en manipuleringsopsies wat in só 'n model vervat kan wees, is die Bosworth-rotskunsterrein wat op Bosworth-plaas geleë is, as gevallestudie gebruik.

Data en metodes

Bosworth-plaas is geleë in die Noordwesprovinsie van Suid-Afrika, 18 km noord van Klerksdorp op die Palmietfonteinpad. Die rotskuns op Bosworth-plaas, asook op 'n gedeelte van 'n aangrensende plaas, beslaan gesamentlik 'n gebied van onge-

veer 70 000 m² (SAHRA, 2012). Hierdie rotskunskorpus bestaan uit petrogliewe wat deur die Khoisan geskep is (Ouzman, 2001). Op die terrein is vier rotse met petrogliewe geïdentifiseer om die navorsingswaarde van die geskepte multinavorsingsmodel te bepaal:

BF01-01

Hierdie kunswerk bestaan uit twee uitbeeldings van renosters wat teenoor mekaar staan (Figuur 1). Die renoster aan die linkerkant wil voorkom asof dit besig is om te storm, terwyl die een aan die regterkant as stilstaande gegraveer is. Vanweë die lewensgetrouheid waarmee eersgenoemde renoster uitgebeeld is, is foto's van dié petroglief al internasionaal gepubliseer en ook te sien op die webblad van die Britse Museum in Londen (The British Museum, 2013).

BF02-01

Na aanleiding van 'n vroeëre besoek aan die rotskunsterrein op Bosworth blyk dit uit die bestudering van die digitale foto's van hierdie kunswerk dat dit moontlik 'n uitbeelding van 'n sjamaan kan wees wat in die proses is om 'n rituele dans uit te voer (Figuur 2). Hierdie hipotese is gevorm na aanleiding van die waarneembare figuur met sy/haar arms en bene in 'n skynbare dansende posisie en 'n hooftooisel op die kop. Ook blyk daar 'n spiraalagtige motief aan die voorkant van hierdie figuur gegraveer te wees.



Figuur 1: Uitbeelding van twee renosters

BF03-01

Die kunswerke op hierdie rots bestaan uit verskeie motiewe, maar vir die doel van hierdie studie is primêr op die moontlike jagtoneel aan die linkerkant van die rotspaneel gefokus: 'n Man en twee elande (Figuur 3).

BF04-01

Hierdie petroglyef is 'n toonbeeld van die kunstige tegnieke en vaardighede waaroor van hierdie vroeëre kunstenaars beskik

het (Figuur 4). Die betrokke uitbeelding van 'n seekoei se voorlyf het ook al in verskeie publikasies verskyn. Ongelukkig het hierdie petroglyef in 2015 deurgeloopt onder vandalisme, met krapmerke wat bo-oor die kunswerk gemaak is.

Bou van die multinavorsingsmodel

Die metodologiese stappe wat in hierdie studie gevolg is, kan soos volg uiteengesit word (Figuur 5):



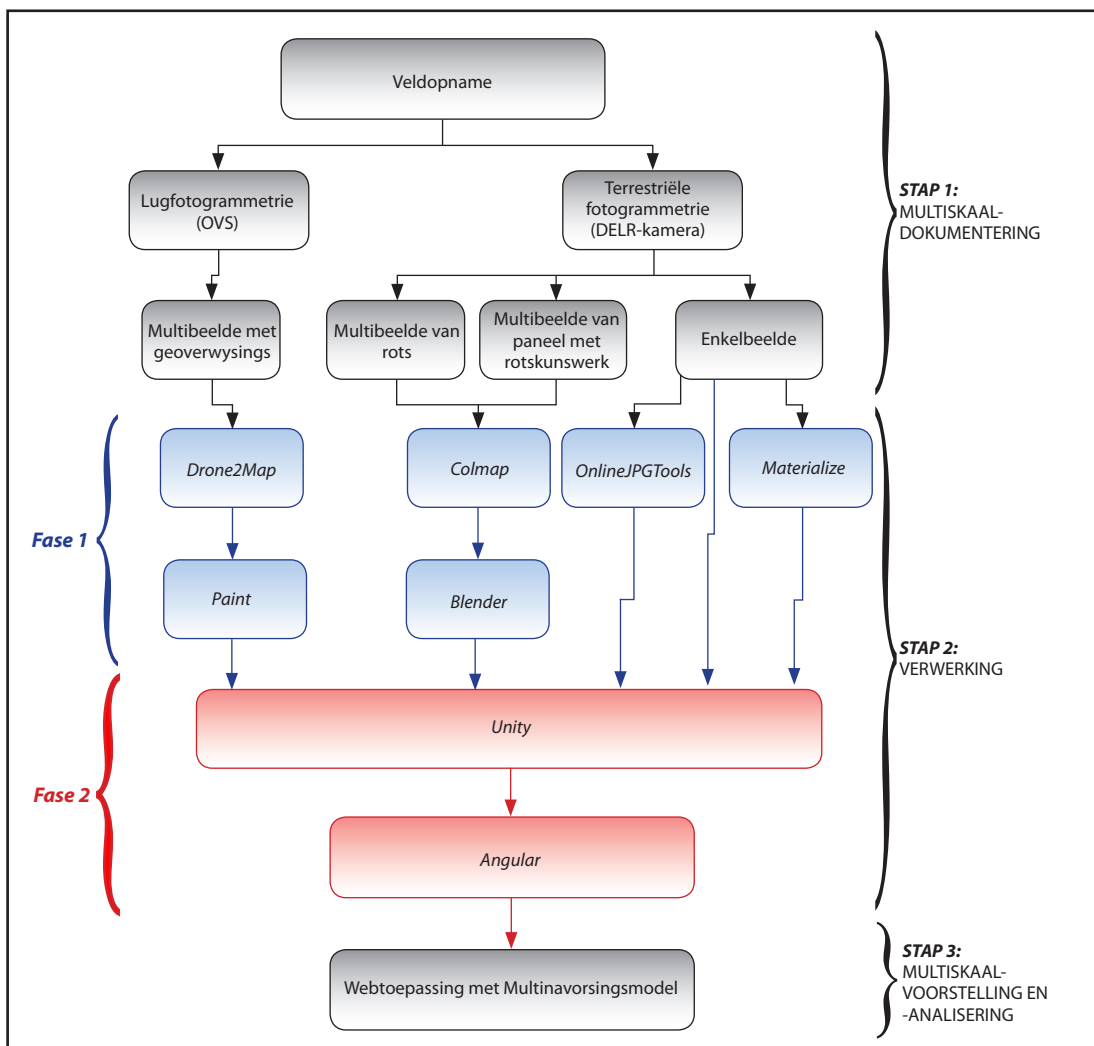
Figuur 2: Moontlike uitbeelding van 'n sjamaan wat 'n rituele dans uitvoer



Figuur 3: Uitbeelding van onder meer 'n moontlike jagtoneel



Figuur 4: Uitbeelding van 'n seekoei se voorlyf



Figuur 5: Metodologiese vloei van stappe in die skep van die multinavorsingsmodel

STAP 1: Multiskaaldokumentering

Soos aangedui, het die veldopname uit twee afsonderlike bene bestaan:

Lugfotogrammetrie by wyse van 'n OVS (onbemande vlugstelsel) was die eerste been van die dokumenteringsproses, d.w.s. die makroskaal. Op 'n hoogte van ongeveer 24m is met 'n multirotorhommeltoig in 'n "mowing the lawn"-formaat op 'n semi-otonome wyse oor die rotskunssterrein gevlieg. Soos wat die tuig gevlieg het, het dit oorvleuelende foto's geneem (multibeeldfotogrammetrie) van die aardoppervlak, wat dan tydens die verwerkingsfase in 'n ortomosaïekkaart van die betrokke terrein omskep is. Geoverwysings is deur die bewegingsensors en aanboord-GPS-ontvanger (globaleposisioneringstelsel-ontvanger) van die hommeltoig aan elk van die geneemde foto's toegewys. Hierdie verwysings, tesame met dertig GBPe (grondbeheerpunte) wat vooraf uitgesit is, kon later deur *Drone2Map* gebruik word om die plasing en oriëntering van die onderskeie beelde in die beplande eindproduk, die ortomosaïekkaart, te bepaal.

Die tweede been was *terrestriële fotogrammetrie* by wyse van 'n draagbare DELR-kamera (digitale enkellensreflekskamera), 'n *Canon EOS 760D*. Na afloop van die terreinopname met die OVS is foto's van die individuele rotse met die rotskunswerke op met die DELR-kamera geneem, wat dan medium- en mikroskaaldokumentering verteenwoordig het. Tydens hierdie been van die opname is beide multibeeld- en enkelbeeldfotogrammetrie op die vier rotse toegepas:

- Verskeie foto's vanuit verskillende hoeke en hoogtes is van die volledige rotse geneem. Dit het behels dat die kamera teen min of meer dieselfde grade bo die grond geïmposeer is terwyl daar in 'n sirkelvorm (360°) om die rots beweeg is om foto's met ongeveer 60%-oorvleueling, van die rots te neem. Ná voltooiing van die eerste sirkel is die kamera hoër geïmposeer en is daar met die volgende sirkel begin. Op dié wyse is tussen 5 en 7 sirkels om elke rots voltooi (Tabel I).
- Verskeie foto's vanuit verskillende hoeke en hoogtes is van die bepaalde panele met die rotskunswerke geneem. Vir hierdie doel is nader aan die rots beweeg en gefokus om die venster van die beeldsoeker te vul met slegs die petrogliewe wat gefotografeer wou word. Dieselfde proses as met die volledige rotse is gevolg, buiten dat slegs 3-4 sirkels per rots voltooi is en die grade wat die kamera aan die begin van

elke sirkel hoër geïmposeer is, minimaal was. Die rede hiervoor is dat die oppervlak van die entiteit waarop gefokus is, aansienlik kleiner was as met die volledige rotse. Vanweë die minimale speling in die hoogtegrade tussen elke sirkel, is die notering daarvan nie gesien as doeldiendend tydens hierdie fotograferingstegniek nie.

- Twee enklfoto's is parallel met die bepaalde rotspaneel geneem, die een met 'n liniaal aan die voet van die rotskunswerk(e) en die ander foto sonder die liniaal.

STAP 2: Verwerking

In hierdie stap kan twee fases onderskei word, naamlik *Fase 1* waartydens die samestelling plaasgevind het van die data wat in *STAP 1* verkry is, waarna die byeenbring van hierdie samestellings in *Fase 2* gevolg het, asook die inbring van die manipuleringsopsies.

Fase 1

Die multibeelddata afkomstig van die multirotorhommeltoig is in *Drone2Map* ingevoer vir verwerking na 'n ortomosaïekkaart. *Drone2Map* is gekies omdat die sagteware eenvoudig was om toe te pas en vanweë die mate van outomatisasie van die invoeren verwerkingsopsies van data. Eerstens, is 'n dinamiese mosaïek geskep, waarna die 30 GBPe in die geskepte mosaïek gemerk is om die akkuraatheid van die voorstelling te optimaliseer. Daarna is die ortomosaïekkaart, deur *Drone2Map* geskep. Na afloop van *Drone2Map* se verwerking is die data soos vervat in die geskepte ortomosaïekkaart gebruik om analiseringsdata ten opsigte van die oppervlaktes wat die onderskeie rotse beslaan, te bereken. Die ortomosaïekkaart is daarna uitgevoer na *Paint* vir verdere verwerking.

In *Paint* is die vier individuele rotse uitgesny en as selfstandige entiteite gestoor, tesame met die kaart waaruit dit gesny is. Hierdie gestoorde kaart en vier rotse is daarna in *Unity* ingevoer en weer opgebou tot 'n volledige ortomosaïekkaart van die terrein. Die rede vir hierdie stap was dat individuele funksies aan elk van die vier rotse in *Unity* toegeken kon word ten opsigte van dataverskaffing en dus moes die individuele rotse afsonderlik kiesbaar wees in die eindproduk.

Beide stelle multibeelddata (d.w.s. van die volledige rotse, asook die panele) wat met die DELR-kamera geneem is, is op hul beurt in *Colmap* ingevoer vir verwerking tot onderskeidelik

Tabel I: Getal foto's van elke rots geneem per hoogtegraad

Rots (afstand vanaf rots met aanvang van fotografering)	Getal foto's geneem per hoogtegraad (vanaf rotsoppervlak) vir elke 360°-fotodatstel						
	7°	13°	16°	22°	26°	33°	40°
BF01-01 (2,5 m)	28	25	22	20	18	14	9
BF02-01 (1,7 m)	38	34	30	26	22	16	-
BF03-01 (2,5 m)	23	19	17	14	9	-	-
BF04-01 (1,1 m)	28	25	22	19	16	11	-

3D-rotsmodelle van die volledige rotse en 3D-oppervlakmodelle van die panele. Beide het plaasgevind deur 'n puntwolk en maaspatroon ("mesh") van elke rots en paneel te skep met die toepassing van BGM (beeldgebaseerde modellering).

Toetsdata is vooraf in beide *Colmap* en *Regard 3D*, albei fotogrammetriesagtewarepakette, vir verwerking ingevoer. Nadat die geskepte 3D-modelle in *Colmap* meer oppervlakbesonderhede getoon het as met *Regard 3D* se skeppings, is besluit om eerder van eersgenoemde sagteware in die studie gebruik te maak. Die geskepte modelle is daarna vir afronding na *Blender* uitgevoer. *Blender* was die vanselfsprekende opsie vir hierdie afrondings, aangesien daar nie 'n ander stel sagteware-instrumente is wat dieselfde verskeidenheid funksionaliteite bied of met dieselfde spoed verwerkings kan hanteer nie.

In *Blender* is hierdie 3D-modelle van die individuele rotse en panele afgerond deur dit netjies uit te sny om van die oortollige beelddata ontslae te raak. Laastens, is die 3D-model se middelpunt in lyn gebring met die as waarom dit sal roteer ter uitvoering van die funksionaliteit in die multinavorsingsmodel. Die afgeronde 3D-modelle van die rotse en panele kon daarna uitgevoer en gestoor word, gereed vir invoer in die volgende fase, wat in *Unity*, 'n videospeletjie-enjin, plaasgevind het.

Daarna het die verwerking van die enkelbeelde wat in *Fase 1* gefotografeer is, gevolg. Hierdie stilbeelde van die rotskunswerke, afkomstig vanaf die DELR-kamera, is op hul beurt op drie wyses hanteer:

- Die digitale kleurfoto's met die liniaal aan die voet van die onderskeie petrogliewe, is net so gestoor om in die volgende fase direk in *Unity* ingevoer te word vir verdere verwerking.
- Tweedens, is 'n monochroombeeld van elk van hierdie kleurfoto's geskep in die aanlyn omskakelingsagteware, *OnlineJPGTools*. Die geskepte monochroomuitbeeldings is dan ook uitgevoer en gestoor vir verdere verwerking in *Unity*.
- Laastens, is 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-oppervlakuitbeelding te skep. *Materialize* is 'n toepassing wat op *Unity* gebaseer is en word gebruik om 'n 3D-tekstuur vanaf 'n 2D-foto te skep. Hierdie verwerkingsproses behels die sagteware se vertolking van die variasie in die kleur van die rotsoppervlak as 'n verandering in die topografie van die betrokke oppervlak. Aangesien die petrogliewe ligter as die omliggende rotsoppervlak vertoon, vertolk die sagteware dit as dieper geleë en op dié wyse word 'n 3D-model van die betrokke oppervlak saamgestel. Die samestelling geskied aan die hand van 'n "Height"- en "Normal"-kaart wat van elke kunswerk geskep is. Hierdie 2D-na-3D-proses in *Materialize* staan bekend as parallakskartering en behels die toepassing van per-pieksel-koördinaattoewysing vir die samestelling van tekstuur deur, eerstens, die samestelling se kwaliteit te verhoog en, tweedens, die per-pieksel-verwerkings met grafikaardeware te realiseer. Op dié wyse word tekstuur saamgestel om ooreen te stem met die werklike vorm van

die kunswerk wat uitgebeeld word (Kaneko, et al., 2001). Skerp hoogtes of dieptes in die topologie van die rotsoppervlak kan maklik lei tot verwringing van die 3D-beeld se oppervlak en daarom is die graad van variasie in die kleur van die rotsoppervlak tydens die skep van die "Height"-kaart so laag moontlik gestel. Op dié wyse kon die rotskunswerke op die mees realistiese wyse in 3D uitgebeeld word. Hierdie vertolkte 3D-oppervlakuitbeeldings is daarna gestoor om ook later vir verdere verwerking in *Unity* ingevoer te word.

Fase 2

In *Unity* is al die onderskeie komponente, soos geskep in *Fase 1*, ingevoer en as 'n geheel aan mekaar gekoppel om 'n gebruikersbeheerde verbindingskanaal te vorm. Eerstens, is die ortomosaïekkaart ingevoer en saam met die ruimtelike data daarvan gestel as die eerste venster wat oopmaak as die Bosworth-rotskunssterrein gelaai word. Tweedens, is die 3D-rotsmodel ingebou om te vertoon in 'n opspringskerm wanneer op een van die vier rotse op die ortomosaïekkaart geklik word. Roterende vermoëns is ook aan hierdie 3D-rotsmodel toegeken sodat gebruikers die rotsmodel se hellingshoek, soos deur hulle nodig geag, kan manipuleer. Om die plasing van die kunswerk(e) op die betrokke rots duidelik vir die doel van konteksanaliserings aan te dui, is daar ook 'n hoëresolusie-2D-foto van die rots met die kunswerk(e) daarop in die boonste linkerhoek van die opspringskerm ingebou.

Laastens, is die onderskeie geskepte uitbeeldingsvorme van die kunswerke op die vier rotse in hierdie gebruikersbeheerde verbindingskanaal ingebou. Die volgende uitbeeldingsvorme van elk van die vier kunswerke is in die multinavorsingsmodel beskikbaar gestel:

- 2D-kleuruitleiding
- 2D-monochroomuitbeelding
- Vertolkte 3D-oppervlakuitbeelding in kleur
- Vertolkte 3D-oppervlakuitbeelding in monochroom
- 3D-oppervlakmodel

Daarna is die bepaalde manipuleringsopsies vir hierdie uitbeeldingsvorme in *Unity* geskep ten opsigte van die vergroting van 'n uitbeelding, asook die manipuleringsopsies van die hellingshoek daarvan. Vals of pseudokleurtoepassing is hier ook as 'n derdepartybiblioteek ingebring en, tesame met die digitale ligstraal (wat 'n reeds beskikbare funksionaliteit van *Unity* is), is dit deel gemaak van die manipuleringsopsies wat deur die gebruiker op die kunswerke toegepas kan word. Die vals kleurtoepassing behels die verandering van die verhouding tussen die opgeneemde RGB-kanale en die nuut toegekende kleurwaardes binne die RGB-kleurspasie om sodoende nuwe, niefeksionele kleure aan die beeld toe te ken (GDSC, 2018). Pseudokleure is op hul beurt 'n variant van hierdie toepassing deurdat die toekenning van die numeriese waardes gekoppel word aan 'n monochroombeeld en nie 'n kleurbeeld nie (MicroImages, 2021). Die digitale ligstraal se doel is om skaduwees oor die 3D-uitbeeldingsvorme te werp om sodoende die morfologie van die petrogliewe duideliker uit te bring.

Die interaktiwiteit van hierdie manipuleringsopsies is daarna gekoppel aan die toegang daartoe deur virtuele knoppies wat gedruk of geskuif kan word om hierdie opsies uit te oefen. Die gemene doel van hierdie opsies is om dit vir die gebruiker moontlik te maak om die onduidelike aspekte van die rotskunswerk(e) na vore te bring.

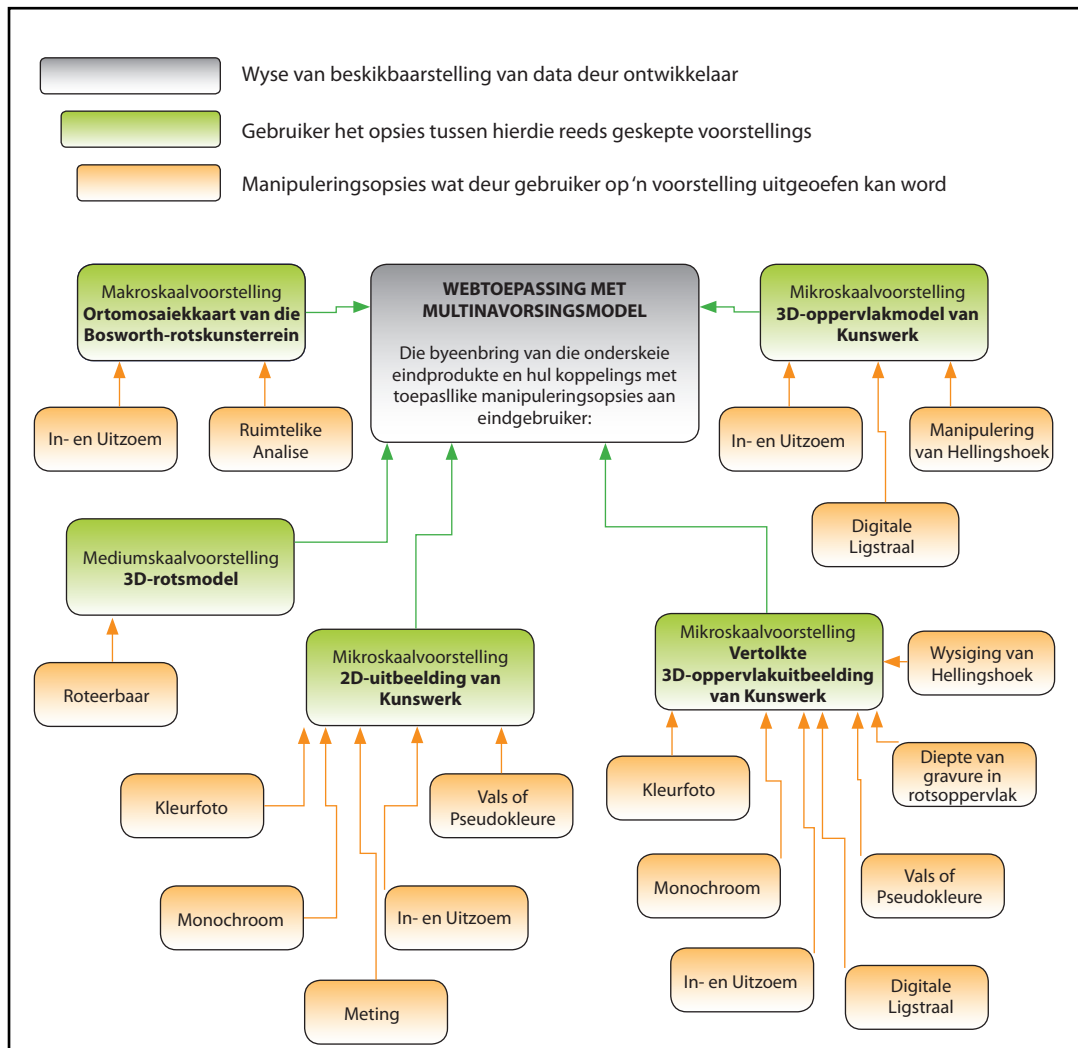
Die interaktiwiteitskomponent van vals of pseudokleure kon eers verweselik word nadat toegang deur *Angular* tot die *nodejs*-biblioteek verleen is (dus moes die inbou van die volledige model in *Angular*, die webraamwerk, eers plaasvind in die verwerkingsproses alvorens vals of pseudokleure funksioneel kon wees). Tog is hierdie kleure reeds ingebou in die verbindingkanaal wat in *Unity* aanmeekaargesit is.

Al hierdie genoemde sagteware-instrumente soos toegepas in die studie is gratis en oopbron², buiten *Drone2Map*. Dit was 'n belangrike oogmerk omrede die lewensvatbaarheid van só 'n model grootliks afhang van die bekostigbaarheid daarvan.

Na afloop van die skepping van die gebruikersbeheerde verbindingkanaal, is 'n *WebGL* van die aaneengeskakelde data in *Unity* as uitvoerprodukt gebou. Hierdie *WebGL* is daarna in *Angular* ingebou met twee lêers wat deur *Unity* geskep en uitgevoer is, naamlik "*Build*" en "*TemplateData*". Voorts is al die funksies en inligting wat benodig word vir die voorstelling in 'n webtoepassing in *Angular* geskep. Inligting soos onder meer die landingsbladsy met die subbladsye daarvan, addisionele data met betrekking tot die terrein, asook die aktivering van opsies wat tussen en binne bladsye uitgevoer kan word, is dus in *Angular* geskep en/of ingebou.

STAP 3: Multiskaalvoorstelling en -analisering

Die voorstelling van die multinavorsingsmodel in die webtoepassing, tesame met elke voorstellingsvorm se eie interaktiewe manipuleringsopsies, sien soos volg daaruit (Figuur 6):



Figuur 6: Makro-, medium- en mikroskaalvoorstellings met hul interaktiewe manipuleringsopsies soos vervat in die multinavorsingsmodel

2. Met *Unity* is daar wel 'n limiet op die omset wat daarmee gegenereer mag word alvorens betaling vereis word (Petty, 2021).

Die ortomosaïekkaart van die Bosworth-rotskunterrein verteenwoordig die makroskaalvoorstelling in die model. Elk van die vier rotse met hul kunswerke is op hul beurt weer beskikbaar gestel by wyse van mediumskaalvoorstellings, terwyl die kunswerke self analiseerbaar is in mikroskaalvoorstellings.

'n Probleem wat tydens STAP 3 na vore gekom het, was dat die toegekende geheuelimiet van die webblaaier uitgeput geraak het elke keer nadat met die manipulerings van die rotskunsdata begin is. Om hierdie probleem te oorbrug is die grootte van al die ingevoerde beelddata aan Unity se minimum optimaliseringsgrootte oorgelaat in stede van die hoogste moontlike piekselgrootte. Ongelukkig het dit dan ook 'n invloed gehad op die kwaliteit van die analiseerbare data wat aan die gebruiker beskikbaar gestel word.

Om hierdie probleem uit te skakel, sal dit 'n beter opsie wees om met die toekomstige skep van só 'n multinavorsingsmodel eerder 'n lessenaartoepassing in stede van 'n webtoepassing te bou. Die gebruiker sal sodoende nie afhanklik wees van die webblaaier se toegekende geheuelimiet wanneer die toepassing gebruik word nie, siende dat die model afgelaai en op die gebruiker se rekenaar gestoor en gebruik word.

Resultate

Landingsbladsy met subbladsye

Landingsbladsy (Figuur 7): Die titel wat gekies is, naamlik "The Rock Art Study Suite", tesame met die subtitel, "A Multi-Research Model", dui uit die staanspoor aan waaroor die webtoepassing handel. Voorts verskaf die beskrywing direk onder die nutsbalk 'n verduideliking van wat hierdie multinavorsingsmodel behels.

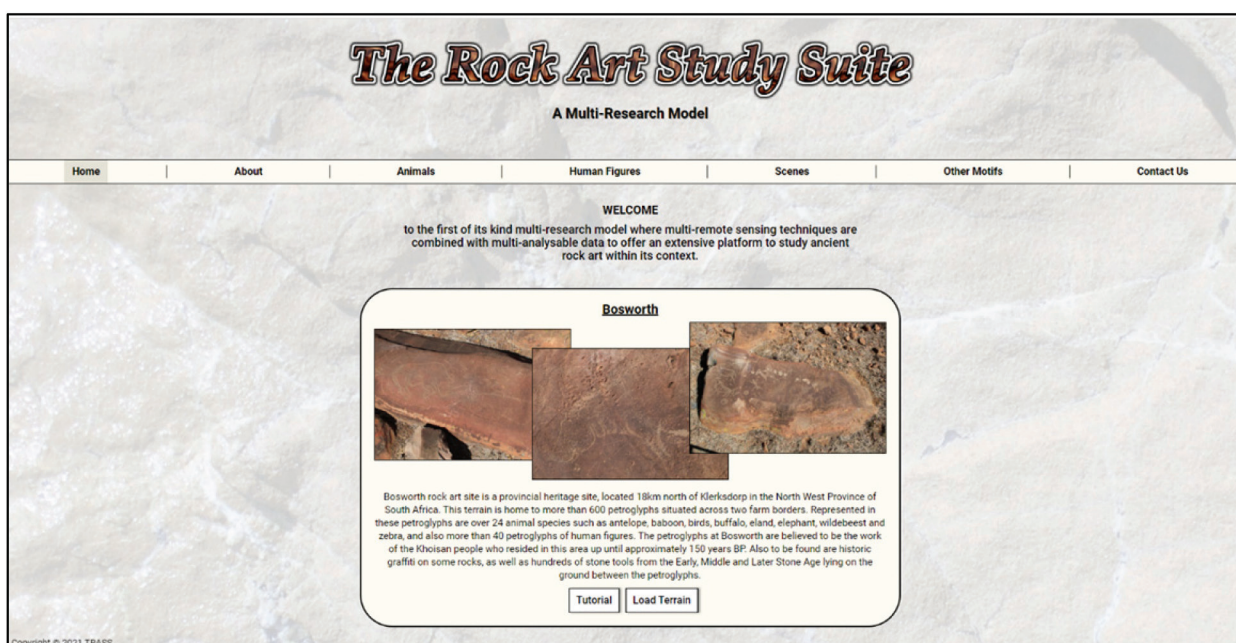
Hoewel hierdie drie beskrywings aan die gebruiker 'n duidelike beeld bied van waaroor die webtoepassing handel, sê dit nie hoe die model relevant is vir hierdie studie nie. Vir dié doel is die Bosworth-rotskunterrein onderaan die bladsy genoem en 'n kort agtergrond van die plaas met sy rotskuns en erfeniswaarde gegee. Die "Load"-knoppie onder in hierdie raam dui dan vir die gebruiker aan dat hierdie model op Bosworth-plaas toegepas word deurdat data van die rotskunterrein laaibaar is. Aanvullend tot hierdie inligting word die verhouding tussen die multinavorsingsmodel en die Bosworth-rotskunterrein duidelik uitgebeeld wanneer die skakel langs die "Load"-knoppie, genoem "Tutorial", gevolg word: Hierdie skakel lei gebruikers na 'n kort video op YouTube wat wys wat die moontlikhede ten opsigte van die interaktiewe manipuleringsopsies is, soos toegepas op die rotskunsdata van Bosworth-plaas.

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

"About": Skets die agtergrond van die ontstaan en doel van hierdie webtoepassing. Hierdeur word die toepassing in die studiekonteks geplaas.

"Animals" (Figuur 8): Hierdie kiesopsie, tesame met "Human Figures" en "Scenes", se doel is tweeledig van aard:

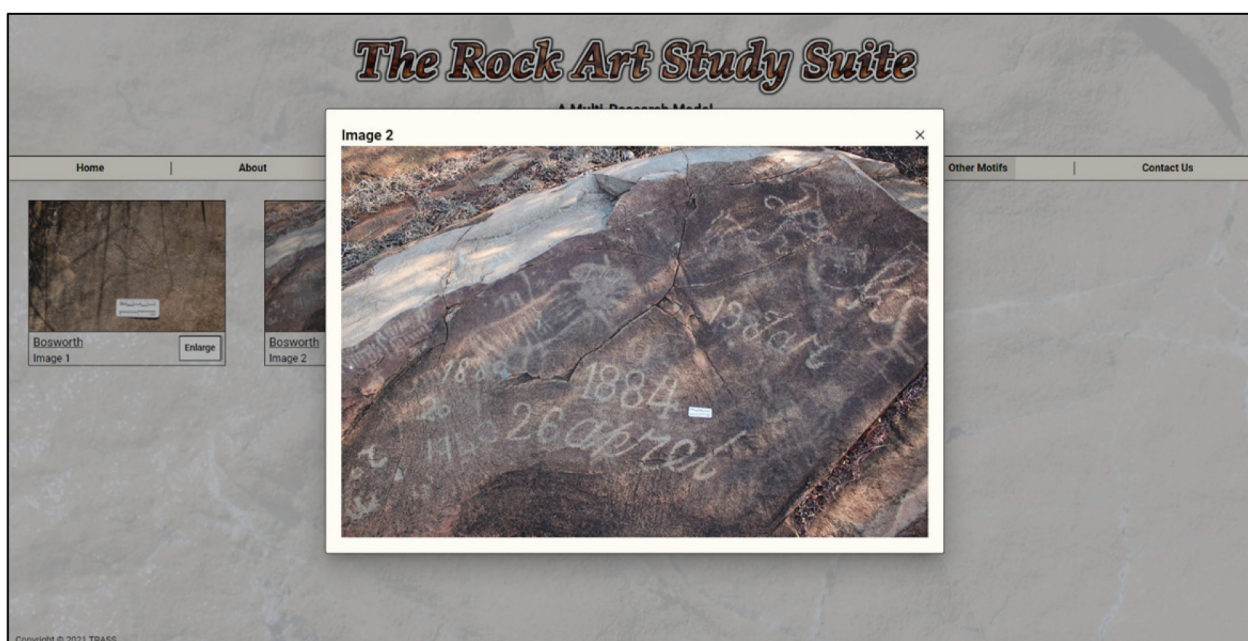
- Om as databasis te dien in hul onderskeie kategorieë sou die gebruiker na die versameling kunswerke met byvoorbeeld slegs diere wou kyk en/of dit bestudeer.
- Om 'n direkte skakel tussen die kunswerk en die manipuleringsopsies daarvan te bied.



Figuur 7: Landingsbladsy met subbladsye



Figuur 8: Die "Animals"-venster



Figuur 9: Die "Other Motifs"-venster met die "Enlarge"-opsie uitgevoer op "Image 2"

Daar is twee van die vier geselekteerde rotse waar die kunswerke uitsluitlik uit diere bestaan, naamlik BF01-01 en BF04-01. Wanneer die "Analyse"-opsie onderaan die 2D-kleuruitbeeldings gekies word, maak 'n nuwe venster van die betrokke kunswerk(e) oop. Hier kan dan verdere analisering en bestudering van die kunswerk(e) in hul verskillende uitbeeldingsvorme plaasvind.

"Human Figures": In hierdie venster is die 2D-kleuruitbeelding van slegs een van die vier rotse se kunswerke, naamlik BF02-01. Op dieselfde wyse neem die "Analyse"-opsie die gebruiker na 'n nuwe venster met slegs die betrokke kunswerk.

"Scenes": BF03-01 met die moontlike jagtoneel word in hierdie venster vertoon, weereens met 'n "Analyse"-opsie om die gebruiker na die betrokke kunswerke se venster te neem.

"Other Motifs": Vir die studie is daar twee 2D-kleuruitbeeldings in hierdie venster geplaas, genoem "Image 1" en "Image 2" (Figuur 9).

Eersgenoemde uitbeelding bevat 'n (tot dusver) ongeïdentifiseerde motief, terwyl laasgenoemde 'n verskeidenheid van motiewe bevat soos onder meer 'n leeu en verskeie datums. In stede van 'n "Analyse"-opsie, het die gebruiker hier 'n "Enlarge"-opsie by elke foto wat die uitbeelding vergroot na byna volskerm.

Hierdie uitbeeldings het dus nie 'n individueel toegekende venster om die kunswerk(e) verder te bestudeer en analiseer nie, maar wat wel later bygewerk kan word. Om slegs 'n "Enlarge"-

opsie te bied, is die eerste stap nadat die kunswerk(e) gedokumenteer is om dit eers net digitaal beskikbaar te stel alvorens die dataverwerking vir al die uitbeeldingsvorme afgehandel is.

“Contact Us”: Hierdie venster bevat die kontakbesonderhede van die ontwikkelaar.

Ortomosaïekkaart (makroskaalvoorstelling en -analiserings)

Wanneer die “Load”-opsie onder Bosworth se beskrywing gekies word, word die WebGL gelaai, waarna die ortomosaïekkaart van die rotskunssterrein op Bosworth-plaas oopgemaak word (Figuur 10). Sodra die kaart oopmaak, is dit reeds gefokus op die area waar BF01-01 geleë is. Die gebruiker kan dan op hierdie ortomosaïekkaart rondbeweeg deur die kaart in enige rigting te skuif om sodoende die area met die vier rotse te bestudeer in verhouding tot die omgewing met sy plantegroei en omliggende rotse.

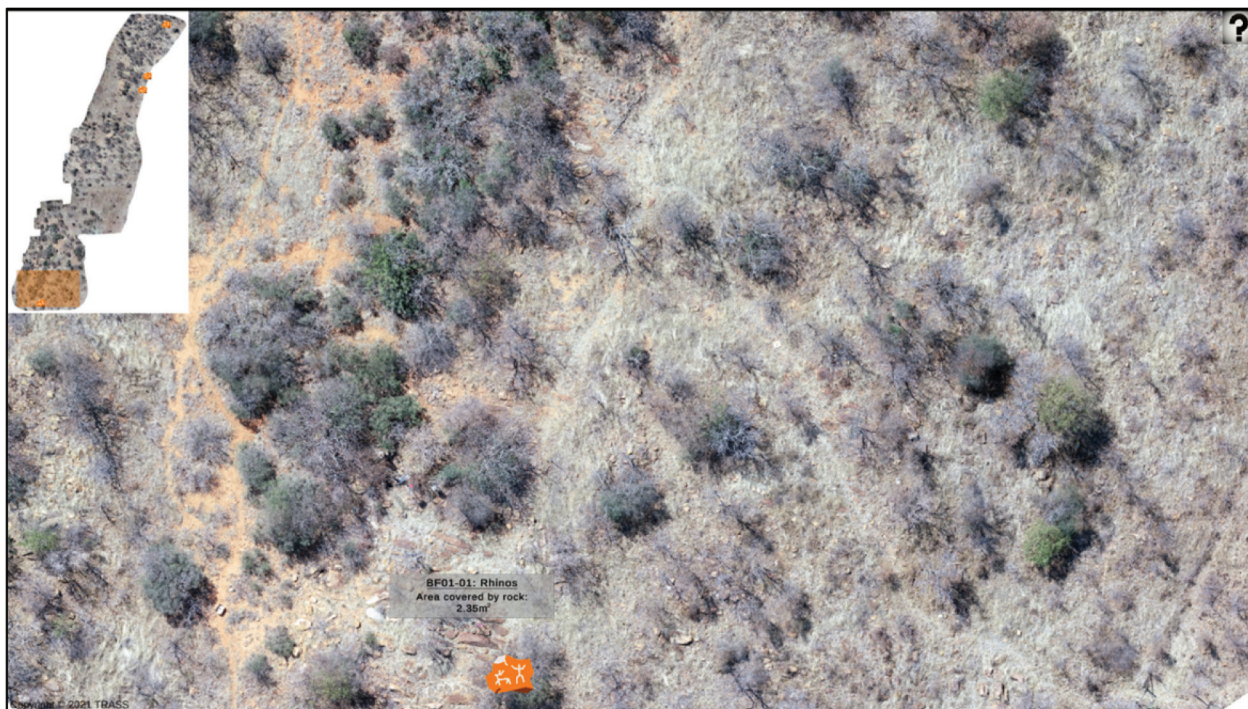
Die oranje ikoon waarmee die ligging van die vier rotse op die kaart aangedui is, maak dat hierdie rotse visueel maklik opspoorbaar is. Hierdeur is dit dan moontlik om die ruimtelike plasing van die vier rotse te bestudeer, veral wanneer van die uitzoemfunksionaliteit gebruik gemaak word. Daar kan ook weer op enige gegewe area in so 'n mate ingezoom word dat die vorme van die vier geselekteerde rotse duidelik van die omliggende entiteite onderskeibaar is. By elk van hierdie vier rotse is 'n identifiseringsetiket wat die betrokke rots se kode, tipe kunswerk en die oppervlakte wat die rots beslaan (soos

bereken in *Drone2Map*) weergee. Hierdie etikette is van waarde wat betref die ruimtelike plasing van die kunswerke met die oog op konteksanaliserings.

Die bestudering van die konteks word verder in die hand gewerk deur die raam wat oor die kleiner 2D-verteenvoording van die ortomosaïekkaart in die boonste linkerhoek beweeg in verhouding tot die gedeelte van die volskermkaart wat op 'n gegewe tydskop vertoon word. Dus kan gebruikers hulself in enige stadium tydens die bestudering van die terrein, van hul ruimtelike oriëntasie ten opsigte van die groter kaart vergewis.

3D-rotsmodel (mediumskaalvoorstelling en -analiserings)

Die 3D-rotsmodel wat in die opspringskerm verskyn, bied aan die gebruiker 'n duidelike beeld van die kontoere van die rots (Figuur 11). 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 (in 2D) gesien kan word op die kaart sonder dat die posisie van die kunswerke op die rots bepaalbaar is, kan die petrogliewe hier in die konteks van die rotstopologie bestudeer word. Aangesien die morfologie van die petrogliewe nie só duidelik op al vier die 3D-rotsmodelle vertoon nie (soos in die geval van BF02-01), is die 2D-uitbeelding in die boonste linkerhoek van die opspringskerm van groot waarde wat betref die plasing van sommige van hierdie motiewe op die betrokke rotsmodel. Om dié rede, asook ter kennisname, word daar 'n beskrywing van die betrokke kunswerk aan die onderkant van die opspringskerm gebied.



Figuur 10: Die ortomosaïekkaart van die Bosworth-rotskunssterrein met 'n merker en identifiseringsetiket van BF01-01



Figuur 11: Opspringskerm met die roteerbare 3D-rotsmodel van BF01-01

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

Rotskunswerke (mikroskaalvoorstelling en -analiserings)

Hierdie venster word oopgemaak nadat die "Analyse"-opsie in die betrokke opspringskerm gekies is en vertoon 'n nabyfoto van slegs die kunswerk. In dié venster word die volgende manipuleringsopsies vir elk van die vier rotse se kunswerk(e) aan die gebruiker gebied:

Vir die 2D-uitbeeldings, die vertolkte 3D-oppervlakkuitbeeldings en die 3D-oppervlakmodel kan die kunswerk:

- Vergroot/verklein word.
- Se hellingshoek gemanipuleer word.

Vir slegs die 2D-uitbeeldings en vertolkte 3D-oppervlakkuitbeeldings kan:

- Gewissel word tussen 'n kleur- en monochroom-uitbeelding.
- Die digitale kleur gemanipuleer word by wyse van vals of pseudo- en soliede kleure.

Vir slegs die vertolkte 3D-oppervlakkuitbeeldings en die 3D-oppervlakmodel kan:

- 'n Digitale ligstraal vanuit verskillende hoeke daarop gewerp word.

Vir slegs die vertolkte 3D-oppervlakkuitbeeldings kan:

- Die digitale diepte van die petrogliewe gemanipuleer word.

Die gebruiker sal dan in hierdie venster ook die keuse hê om op enige gegewe tyd tydens analiserings, die gemanipuleerde uitbeelding/3D-oppervlakmodel te stoor of om weer terug te keer na die ortomosaïekkaart vir verdere analiserings van die data.

Visuele eindresultaat

Ter illustrasie van die eindprodukt se verskillende skale van voorstellings met hul onderskeie manipuleringsopsies, kan <https://www.youtube.com/watch?v=h9vjlWLC5Ko> besoek word.

Navorsingswaarde

Landingsbladsy met subbladsye

Die landingsbladsy met sy subbladsye bied navorsingswaarde in die sin dat dit die totale studie in konteks plaas wat betref kategorisering van die onderskeie elemente wat in hierdie studie vervat is (Figuur 7). Gebruikers kan verstaan waaroor die studie handel en kan die komponente selekteer en bestudeer wat hulle op die gegewe stadium interesseer.

Makroskaalvoorstellings

Die ortomosaïekkaart van die Bosworth-rotskunsterrein bied aan die gebruiker die ruimtelike konteks van die studie wat betref die plasing van die rotse en hoe die terrein self daar uitsien (Figuur 10). Hierdie vermoë lei tot die verwesening van die ruimtelike/konteksanalise van die rotskunsterrein.

Mediumskaalvoorstellings

Die navorsingswaarde van die data in die opspringskems is daarin geleë dat die 3D-rotsmodelle konteks bied rakende die plasing en groete van die petrogliewe op die rotse self. Hierdie modelle verwesenlik ook die bestudering van die onderskeie rotse se topologie (Figuur 11).

Mikroskaalvoorstellings

BF01-01

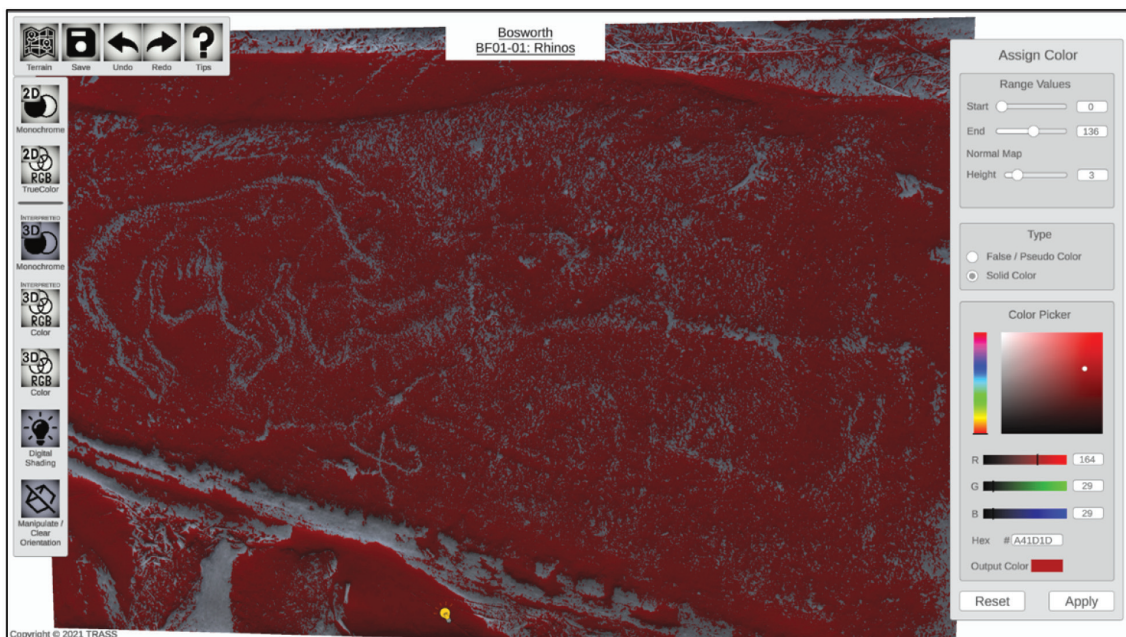
Hoewel die stormende renoster oor besondere, noukeurig geskepte graveringslyne beskik, is getoets of die model hierdie lyne moontlik beter kan definieer. Met dié oogmerk is die beste resultaat met die 3D-oppervlakmodel verkry nadat die kunswerk

vergroot en die hellingshoek daarvan gemanipuleer is. Op hierdie wyse het die renoster se lyne duideliker vertoon. Ook is die digitale ligstraal oor die model beweeg, wat hierdie lyne dan verder beklemtoon het en dus verhoogde visuele aansig en analisering meegebring het (Figuur 12).

Die petroglief van die stilstaande renoster is weer moeilik identifiseerbaar en daar is dus getoets of die digitale sigbaarheid daarvan deur middel van die model verhoog kan word. Die beste resultaat is in hierdie geval verkry deur die manipulering van die vertolkte 3D-oppervlakuitbeelding van die kunswerk. Deur die grys kleur van die gravure te behou en slegs 'n kontrasterende kleur vir die omliggende rotsoppervlak te stel, is die resultaat verkry wat in Figuur 13 waargeneem kan word.



Figuur 12: Die 3D-oppervlakmodel van BF01-01 na afloop van manipulering



Figuur 13: Die vertolkte 3D-oppervlakmodel van BF01-01 in monochroom na afloop van die manipulering

Die toegekende waardes vir hierdie analise was soos volg:

- Reekswaardes vir pseudokleure gestel as 0/136.
- Rooi as soliede kleur.
- Hoogte van die oppervlak in verhouding tot die kunswerk is gestel as 3.

Ter verkryging van maksimum sigbaarheid, is die hellingshoek weereens gemanipuleer en die digitale ligstraal ingespan.

BF02-01

By hierdie kunswerk is getoets in watter mate visuele uitsluitel gebied kan word ten opsigte van die figuur in die kunswerk, d.w.s. dat dit wél bo redelike twyfel 'n dansende menslike figuur met 'n hooftoisel is; en ook of dit 'n uitbeelding van 'n spiraalagtige motief is wat voor hom/haar in die rots uitgekeep is.

Die beste sigbaarheid van hierdie kunswerk se morfologie is verkry deur die manipulerings van die 3D-oppervlakmodel: Die menslike figuur, asook 'n spiraalagtige motief, was duidelik identifiseerbaar in hierdie uitbeeldingsvorm. Die sigbaarheid daarvan kon verder verbeter word deur die 3D-oppervlakmodel te vergroot en met die digitale ligstraal daarvoor te beweeg (Figuur 14). By wyse hiervan kon 'n menslike figuur met gebuigde arms agter sy/haar rug en bene wat blyk in 'n dansende posisie te wees (albei knieë gebuig, tone effens gepunt en sy/haar een been in 'n hoër posisie as die ander een), bo redelike twyfel geïdentifiseer word. Ook duidelik sigbaar was 'n hooftoisel op die kop van die figuur, tesame met 'n uitgekepte spiraalmotief voor hom/haar.

BF03-01

Die elemente in hierdie moontlike jagtoneel, naamlik die jagter en twee elande, vertoon reeds duidelik. Tog is hierdie kunswerk gekies om te sien of die model enige moontlike "onsigbare"

elemente wat in die toneel vervat is, na vore kan bring juis omrede daar so 'n verskeidenheid van elemente op hierdie rotspaneel gegraveer is.

Met die manipulerings van die onderskeie uitbeeldings en die 3D-oppervlakmodel van BF03-01, is dan ook 'n figuur direk agter die jagter waargeneem wat nie aanvanklik in die oorspronklike 2D-kleuroitbeeldings gesien is nie. 'n Lang nek met 'n kop is in die gemanipuleerde uitbeeldings, asook die 3D-oppervlakmodel, identifiseerbaar. Nadat al vyf die manipuleringsresultate per e-pos aan dr. Jeremy Hollmann, verbonde aan RARI (Rock Art Research Institute), gestuur is, was sy gevolgtrekking dat hierdie motief moontlik 'n uitbeelding van 'n volstruis kan wees.

Die hoogste waarneembaarheid is verkry ná die manipulerings van die vertolkte 3D-oppervlakuitbeelding in monochroom. Met die nuut geskepte RGB-kleurkombinasie en die digitale ligstraal gewerp oor die gemanipuleerde hellingshoek van die uitbeelding, is 'n baie hoë kontras tussen die motiewe en die omliggende grys rotsoppervlak verkry (Figuur 15).

Die toegekende waardes vir hierdie analise was:

- Reekswaardes vir pseudokleure van 141/165.
- Hoogte van die oppervlak in verhouding tot die kunswerk is gestel op 2.

BF04-01

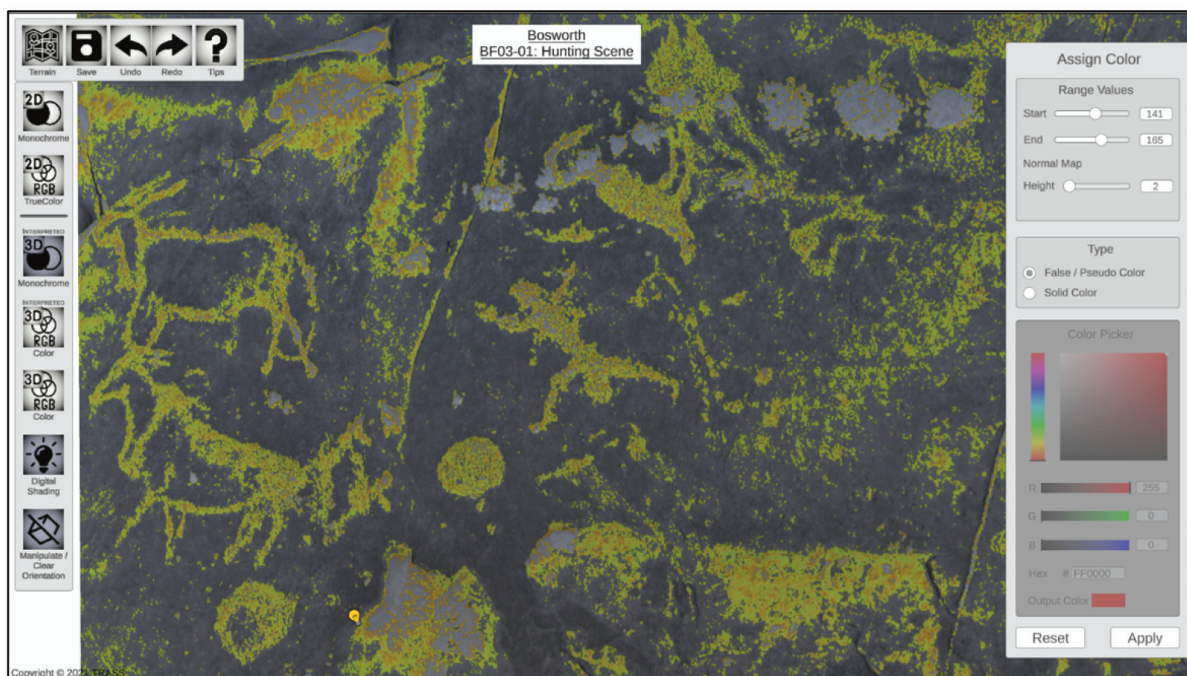
Die lyne en inkepinge van dié petroglief is fyn, maar duidelik onderskeibaar. Met die manipulerings is gepoog om die sigbaarheid van hierdie lyne en inkepinge te verhoog en te bepaal of daar moontlik oorspronklik 'n groter gedeelte van die seekoei geskep was, naamlik die onderlyf.



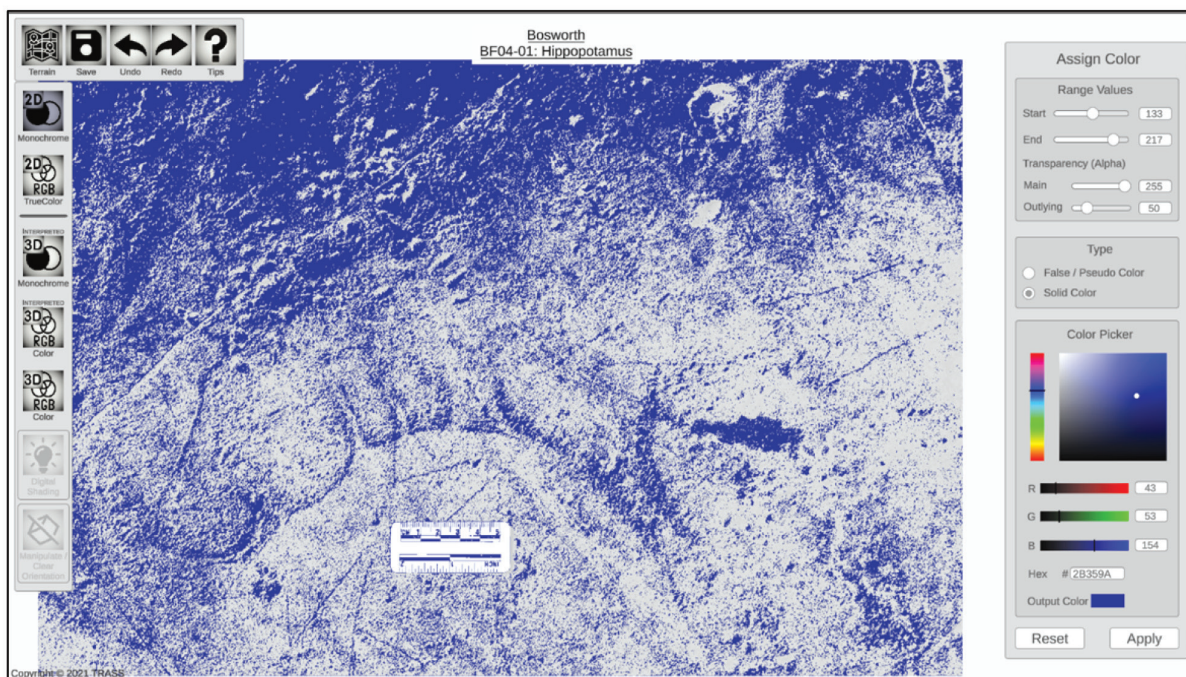
Figuur 14: Die 3D-oppervlakmodel van BF02-01 nadat manipuleringsopsies uitgeoefen is

Duidelike resultate is verkry met die manipulering van die 2D-monochroomuitbeeldingsvorm (Figuur 16). Daar is gepoog om die agtergrond so lig moontlik te maak deur die alfawaardes (wat die deursigtigheid van die onderskeie kleure bepaal) te verstel. Daarna is reekswaardes vir pseudokleure toegeken en

blou as soliede kleur vir hierdie nuut geskepte kleurkombinasie gekies. Na afloop van manipulering was steeds slegs die voorlyf van die seekoei sigbaar, met geen aanduiding van 'n middellyf of iets meer nie.



Figuur 15: Die vertolkte 3D-oppervlakmodel van BF03-01 in monochroom nadat manipuleringsopsies daarop uitgeoefen is



Figuur 16: Die 2D-monochroomuitbeelding van BF04-01 nadat manipuleringsopsies uitgeoefen is

Die toegekende waardes waarmee volstaan is, was:

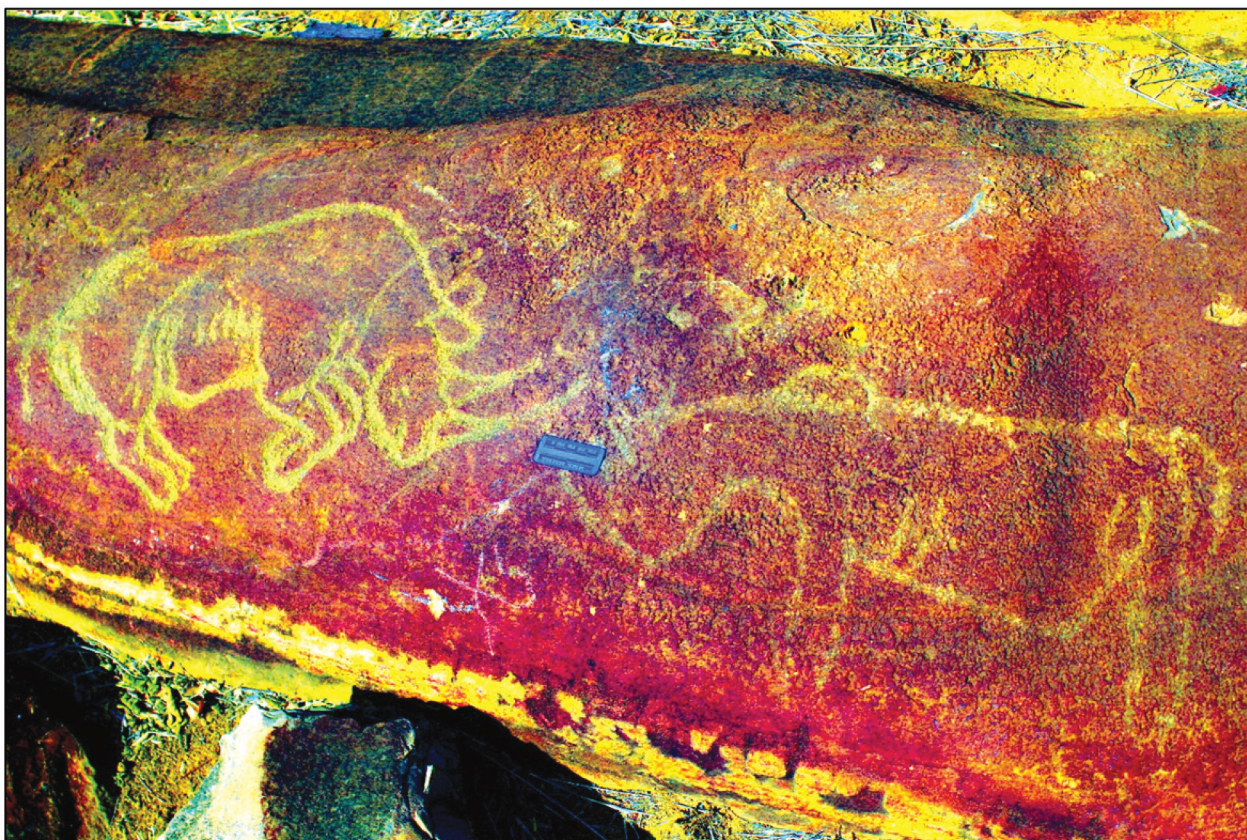
- Reekswaardes vir pseudokleure van 133/217.
- Alfawaardes van 255/50.
- Blou as soliede kleur.

Vergelykende navorsingswaarde en toepassing

Hierdie multinavorsingsmodel kan ook op 'n soortgelyke wyse toegepas word op piktograwe wat in grotte en natuurlike beskuttings voorkom. Dit kan verweselik word deur die makroskaaldokumentering van die terrein te vervang deur mediumskaaldokumentering van die area met die kunswerke. Vir dié doel kan 'n panoramiese foto van die betrokke area geneem word. Tweedens, om te dien as mikroskaaldokumentering, kan steeds twee enkfoto's, parallel met die bepaalde rotspaneel, geneem word, een met 'n liniaal in die foto en een daarsonder.

Voorts, ter voorstelling en analisering van die piktograwe, kan dieselfde analiseringsvermoë daaraan verleen word as met die

2D-uitbeeldings van die petrogliewe in die bestaande model. Voorlopige resultate van die vals kleurtoepassing op piktograwe wat in die model ingevoer is, het getoon dat die mate van verhoogde sigbaarheid wat verkry word, laer is as met die bestaande petrogliewe in die model. In die reël is die alombekende *DStretch*-toepassing wel besonder effektief om verhoogde sigbaarheid by piktograwe mee te bring. Die rede hiervoor is dat met *DStretch* die veranderlikes binne 'n nuut toegekende kleurspasie (LAB, CRGB, LDS, ens.) eerstens gedekorreleer word, waarna die kleurafwykings gestrek en die verwerkte data teruggeskakel word na waardes in die RGB-kleurspasie. Die gevolg hiervan is dat 'n hoër kontras tussen die onderskeie kleure in die digitale uitbeelding verkry word. *DStretch* het groot potensiaal getoon met die toepassing daarvan op BF01-01 (Figuur 17). Dit sal dus van waarde wees om 'n toepassing soos *DStretch* ook in hierdie model in te bou, aangesien die model se samestelling dit wel daartoe leen om só 'n toepassing te kan akkommodeer.



Figuur 17: BF01-01 met die toepassing van die LDS-matriks in *DStretch*

Gevolgtrekking

Die waarde van hierdie geskepte multinavorsingsmodel is gesetel in die beskikbaarstelling van rotskunsdata op 'n digitale platform wat reeds ingeboude sagteware-instrumente vir afstandanaliserings bied. Hierdie voorgestelde model neem die gebruiker op 'n stelselmatige wyse van makroskaalvoorstelling en -analiserings van die studierrein, na mediumskaalvoorstelling en -analiserings van die geselekteerde rotse, tot by mikroskaalvoorstelling en -analiserings van die betrokke petrogliewe self. Ook kan die model in die toekoms verder uitgebrei word deur verskeie aanpassings te maak, soos om die ortomosaïekkaart te vervang deur 'n 3D-terreinmodel, of deur addisionele toepassings in te bring om die verhoogde sigbaarheid van die rotskuns te optimaliseer. Daarom, in die konteks van bestaande databasisse en die navorsingswaarde wat dit in die geheel verleen, bied die resultate wat deur hierdie multinavorsingsmodel verkry is ook 'n platform vir die soortgelyke toepassing van die voorgestelde konsep op ander databasisse. Een daarvan is dat bestaande databasisse omskep kan word in só 'n model wat, na gelang van die reeds beskikbare data, analiseringsvermoë aan die gebruiker bied, veral ten opsigte van mikroskaalvoorstelling en -analiserings.

Bronnelys

Befondsing vir hierdie navorsing is verskaf deur die SAAWK (Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns).

Datums

Ontvang: 10/02/2022
Aanvaar: 21/09/2022
Gepubliseer: 16/11/2022

Verwysings

- ACT (African Conservation Trust). 2020. Rock Art 3D Models. <https://sketchfab.com/act/collections/rock-art>. Datum van gebruik: 31 Mei 2021.
- Berquist, S., Spence-Morrow, G., Gonzales-Macqueen, F., et al., 2018, A new aerial photogrammetric survey method for recording inaccessible rock art. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8(1), 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.03.001>.
- Britse Museum. 2020. Rock Art: Game Pass Shelter. <https://africanrockart.britishmuseum.org/vr/>. Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10816-009-9075-y>.
- Domingo, I., Carrión, B., Blanco, S., et al., 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. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.01.001>.
- GDSC (Geospatial Data Service Centre). 2018. Band Combinations. http://gdsc.nl/gdsc/en/information/earth_observation/band_combinations. Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.
- 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 proefskrif).
- Helm, C., Crause, K., McCrea, R., 2011, Mokhali cave revisited: Dinosaur rock art in Lesotho. *The Digging Stick*, 28(3), 6-9.
- Hubbard, P., Taruvinga, P., Nyathi, P., et al., 2018, Conservation, stakeholders and local politics: The management of the Matobo Hills World Heritage Site, South Western Zimbabwe. In: Makuwaza, S., red. Aspects of management planning for cultural worlds heritage sites: Principles, approaches and practices. Cham: Springer. ble.147-161. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69856-4_12.
- Kaneko, T., Takahei, T., Inami, M., et al., 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.
- Lewis-Williams, J.D., 2006, The evolution of theory, method and technique in Southern African rock art research. *Journal of Archaeological Theory and Methods*, 13(4), 343-377. <https://doi.org/10.1007/s10816-006-9022-0>.
- Lewis-Williams, J.D., 2011, San Rock Art. Auckland Park: Jacana Media.
- 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., reds. Heritage and Archaeology in the Digitalage: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data. Cham: Springer. ble. 27-47.
- McDonald, J. & Veth, P., 2012, Research issues and new directions: One decade into the new millennium. In: McDonald, J. & Veth, P., reds. A Companion to Rock Art. Malden: Wiley-Blackwell. ble. 1-14. <https://doi.org/10.1002/9781118253892.ch1>.
- MicrolImages. 2021. Glossary for geospatial science, technical vocabulary defined by microlImages. <https://www.microlimages.com/documentation/miglossary/terms/pseudocolorimage.htm>. Datum van gebruik: 14 Aug. 2021.
- Ouzman, S., 2001, Public rock art sites of South Africa. *Culna*, 56, 24-25.
- 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.
- 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., et al., 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.
- Potts, A.S., 1970, Frost action in rocks: Some experimental data. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 49:109-124. <https://doi.org/10.2307/621644>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00098>.
- RARI (The Rock Art Research Institute). 2020. The African Rock Art Digital Archive. <http://ringingrocks.wits.ac.za/>. Datum van gebruik: 19 Nov. 2020.
- Rivero, O., Ruiz-López, J.F., Intxaurbe, I., et al., 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/10.1016/j.daach.2019.e00106>.
- Robinson, D., Baker, M.J., Bedford, C., et al., 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. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.06.001>.
- SAHRA (South African Heritage Resources Agency). 2012. 9/2/231/0004. <https://sahris.sahra.org.za/sites/922310004>. Datum van gebruik: 6 Aug. 2021.
- Simpson, A., Clogg, P., Diaz-Andrue, M., et al., 2004, Towards three-dimensional non-invasive recording of incised rock art. *Antiquity*, 78(301), 692-698. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00113328>.
- The British Museum. 2013. Digital Photograph (Colour). https://www.britishmuseum.org/collection/object/E_2013-2034-19234. Datum van gebruik: 18 Sep. 2021.
- Willcox, A.R., 1984, The rock art of Africa. Johannesburg: Macmillan.