

Opleiding Geografie en Geomatica
Master in de Geografie

**Methodologisch onderzoek naar de
optimalisatie van documentatie van
archeologische opgravingen door middel van
fotogrammetrie en fotomodellering
(Altai – Rusland)**

Elizabeth Belien

Aantal woorden in tekst: 21461

**Promotor: Prof. dr. R. Goossens,
Vakgroep Geografie**

**Co-promotor: Dr. W. Gheyle,
Vakgroep Archeologie**

Academiejaar 2011 – 2012

**Masterproef ingediend tot het
behalen van de graad van
Master in de Geografie**

WOORD VOORAF

Met dit voorwoord leg ik de laatste hand, niet alleen aan mijn thesis, maar aan mijn hele studietijd aan deze universiteit. Deze thesis, waarin ik veel kennis en ervaring die ik de laatste jaren heb opgedaan kon benutten en samenbrengen, vormt de kroon op mijn studie.

Ik weet zeker dat ik veel mooie herinneringen zal bewaren aan deze periode. Gent, onze Alma Mater, en Geografica, hebben voor altijd een plaats in mijn hart. Daarom wil ik een aantal mensen bedanken die bijgedragen hebben tot een mooie en leerrijke studententijd.

In de eerste plaats dank ik mijn promotor professor dr. Rudi Goossens, die me de kans gaf dit boeiende onderwerp te bestuderen en die altijd voor me klaar stond met uitleg en raad. Ik dank ook mijn co-promotor dr. Wouter Gheyle, voor alle hulp tijdens het terreinwerk met het dragen van het statief en het vasthouden van het prisma, en zijn hulp bij de verwerking en verbetering.

Het terreinwerk van deze studie vormde voor mij een bijzondere ervaring, die mij mijn hele leven zal bijblijven. Ik ben dankbaar voor de unieke kans die ik kreeg om naar het Altai-gebergte mee te gaan, en voor de goede zorgen waarmee ik werd ontvangen. Daarvoor gaat mijn dank uit naar het hele team van de expeditie, vooral prof. dr. Jean Bourgeois en Wouter. Ook mijn klasgenote Charlotte dank ik voor de hulp met het veldwerk en de vele spelletjes *durak*.

De verdere verwerking van deze thesis zou niet gelukt zijn zonder een aantal mensen. In het bijzonder dank aan Marijn Hendrickx, Cornelis Stal en Gertjan Plets, voor al hun uitleg, hulp en goede raad.

Ik wil hier ook even de tijd nemen om een aantal mensen te bedanken die voor mij veel betekend hebben gedurende mijn studies:

Mijn ouders en familie, voor hun liefde en steun. In het bijzonder mijn moeder voor het herhaaldelijk nalezen van thesis en taken, haar geduld, medeleven en goede raad. Mijn beide lieve broers, vooral mijn huis- en studiegenoot Alexander, voor al zijn hulp en eindeloos

geduld en voor het doorstaan van mijn moeilijkste crisisperiodes. Mijn oma, voor de goede zorgen tijdens de blok, en alle andere mensen die zoveel aan mij hebben gedacht, met schietgebedjes en het branden van kaarsjes. Reine, voor al haar motivatie en aanmoediging. Lyske, voor haar goede gezelschap in tijden van ontspanning en van stress.

Tenslotte, aan al mijn goede vrienden uit de klas en Geografica, met wie ik zoveel herinneringen heb gemaakt: Onze studententijd is al te snel voorbij gegaan, maar de cirkel is nu rond. Bedankt voor vijf mooie jaren.

Elizabeth Belien,
Gent, 31 mei 2012

INHOUDSTAFEL

WOORD VOORAF	I
INHOUDSTAFEL	III
LIJST VAN FIGUREN	VI
LIJST VAN TABELLEN	VII
INLEIDING	1
1. ONDERZOEKSKADER EN LITERATUURSTUDIE	3
2. SITUERING VAN DE SITE	9
2.1 Geografische situering	9
2.2 Archeologische situering	10
2.2.1 <i>Dwellings</i>	12
2.3 Bedreigingen	15
2.3.1 <i>Natuurlijke bedreigingen</i>	16
2.3.2 <i>Antropogene bedreigingen</i>	17
3. BASISBEGRIPPEN VAN DE FOTOGRAMMETRIE	20
3.1 Geschiedenis van de fotogrammetrie	21
3.2 Fotogrammetrisch principe	22
3.3 Schaal	23
3.4 Projectie	23
3.5 Het fotogrammetrisch proces	25
3.5.1 <i>Dataverwerving</i>	25
3.5.2 <i>Fotogrammetrische restitutie</i>	26
3.5.2.1 <i>Interne oriëntatie</i>	27
3.5.2.2 <i>Externe oriëntatie</i>	27
3.5.2.3 <i>Relatieve oriëntatie</i>	28
3.5.2.4 <i>Absolute oriëntatie</i>	29
3.6 Fotogrammetrische eindproducten	29
3.6.1 <i>DEM</i>	29
3.6.2 <i>Orthofoto</i>	29

3.6.3 Contourkaarten	30
3.7 GCP'S.....	31
3.7.1 Principe van GPS-meting.....	32
4. FOTOMODELLERING.....	34
4.1 Computer Vision	34
4.1.1 Structure from Motion.....	34
5. DATA-ACQUISITIE	37
5.1 Fotografische opname	37
5.2 Topografische opname.....	39
5.2.1 Totaalstation.....	40
5.2.2 C-NAV	41
6. DATAVERWERKING.....	43
6.1 Octopus.....	43
6.2 VirtuoZo.....	44
6.2.1 Importeren en aanmaken van enkele basisbestanden	44
6.2.2 Interne oriëntatie.....	45
6.2.3 Relatieve oriëntatie	45
6.2.4 Absolute oriëntatie	46
6.2.5 Epipolaire resampling.....	50
6.2.6 Image matching.....	50
6.2.7 Eindproducten	54
6.2.7.1 Digitaal hoogtemodel	54
6.2.7.2 Orthofoto	55
6.2.7.3 Foutenrapport	57
6.2.8 Visualisatie.....	58
6.2.9 Redactie.....	59
6.2.10 Orthofotomozaïek.....	61
6.3 PhotoScan.....	63
6.3.1 Invoer van foto's en coördinaten	64
6.3.2 Image Alignment	66
6.3.3 Building model geometry	68
6.3.4 Building model texture	70

6.3.5 Eindproducten	73
6.4 ArcGIS.....	75
7. DISCUSSIE.....	78
7.1 De softwarepakketten	78
7.1.1 <i>VirtuoZo</i>	78
7.1.2 <i>PhotoScan</i>	79
7.2 Digitale programma's	80
7.3 Digitale toepassingen in de archeologie.....	81
7.3.1 <i>Voordelen bij data-acquisitie</i>	81
7.3.2 <i>Voordelen van nauwkeurigheid</i>	82
7.4 Software voor archeologisch onderzoek.....	86
8. BESLUIT.....	89
9. REFERENTIELIJST	91
9.1 Publicaties	91
9.2 Internetbronnen	97
9.3 Softwareprogramma's	97
10. BIJLAGEN	98

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Het Altai-gebergte	9
Figuur 2: Republiek Altai (rood) in de Russische Federatie (groen)	10
Figuur 3: Overzicht van het Altai-gebergte en de Republiek Altai, met aanduiding van enkele belangrijke archeologische gebieden, waaronder de Yustyd-vallei	11
Figuur 4: Uitzicht over de Yustyd-vallei.....	12
Figuur 5: Twee schetsen van <i>dwellings</i> uit Irbistu (Kosh-Agash district), opgegraven door S. Surazakov in 1979	14
Figuur 6: KA-771-006 en KA-771-016, twee <i>dwellings</i> van het simpele type.....	15
Figuur 7: Onaangelegde wegen vormen een bedreiging voor archeologische structuren.....	19
Figuur 8: Voorstelling van een object in perspectieve projectie (linker- en rechterbeeld) en in orthografische projectie	25
Figuur 9: Projectie van driedimensionale objectpunten op tweedimensionale beelden.....	26
Figuur 10: Focuslengte, projectiecentrum en rotatiehoeken	28
Figuur 11: Voorbeeld van een gesignaliseerd grondcontrolepunt	31
Figuur 12: <i>Structure from Motion</i>	35
Figuur 13: Fotografische opname	39
Figuur 14: GCP's en hun spreiding doorheen de site	40
Figuur 15: Topografische opname: totaalstation en C-Nav	41
Figuur 16: Voorbeeld van de relatieve (rode kruisjes) en absolute (gele kruisjes) oriëntatie in VirtuoZo	49
Figuur 17: Scheeftrekken van de restitutiezone (groen omkaderd)	50
Figuur 18: Principe van hiërarchische <i>image matching</i>	51
Figuur 19: Goede en slechte beeld- <i>matching</i> , geïllustreerd aan de hand van <i>pegs</i>	53
Figuur 20: Voorbeeld van een orthofoto, 110713D1koppel1	56
Figuur 21: <i>Blurring</i> en hiaten, 110716D2koppel3	60
Figuur 22: <i>Blurring</i> en vervormingen van het stenen platform, 110716D2koppel1	61
Figuur 23: Orthofotomozaïek van KA-771-016.....	63
Figuur 24: Plaatsen van <i>markers</i>	65
Figuur 25: Resultaat van de <i>alignment</i> : een driedimensionale puntenwolk.....	67
Figuur 26: Detail van de triangulaire <i>mesh</i> van KA-771-006.....	69

Figuur 27: Model van KA-771-016 met textuur. De blauwe vlakken stellen de opnameposities van de verschillende foto's voor.	70
Figuur 28: Close-up van een getextureerd model	72
Figuur 29: “Zwevende” GCP's, temidden van de stickers	73
Figuur 30: Hoogtezonekaart van het relief van site KA-771-006	74
Figuur 31: Manueel ingetekend siteplan KA-771-016.....	75
Figuur 32: Digitalisatie van steencontouren in ArcGIS	76
Figuur 33: Digitale tekening van KA-771-016, op basis van de orthofoto uit PhotoScan	77
Figuur 34: Manuele registratiemethode	83
Figuur 35: Archeologisch opgravingsplan van KA-771-006, manuele intekening	84
Figuur 36: Detail van het steenplatform van KA-771-016, op basis van manuele intekening (grijs), VirtuoZo (groen) en PhotoScan (rood).....	86
Figuur 37: De steppe te Yustyd, met KA-771-006	90

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: GPS-punten, ingemeten met C-Nav.....	42
Tabel 2: Nauwkeurigheden van de absolute oriëntatie	48
Tabel 3: Beeld- <i>matching</i> op het fijnste niveau.....	52
Tabel 4: Aantal punten per fouteninterval.....	58

INLEIDING

De Universiteit Gent (UGent) heeft een lange traditie van onderzoek en survey in het Altai-gebergte in Zuid-Siberië. Sinds 1995 onderneemt de vakgroep Archeologie regelmatig expedities om het rijke archeologische landschap van de streek te bestuderen en te inventariseren. De UGent werkt hiervoor samen met Gorno-Altai State University (GASU). De documentatie van archeologische sites en de kartering van het landschap vereist geografische technieken. Daarom is ook de vakgroep Geografie en Geomatica reeds jarenlang nauw bij deze expedities betrokken.

In deze thesis worden de disciplines van de fotogrammetrie en de fotomodellering gebruikt voor de documentatie van twee archeologische opgravingen in het Altai-gebergte. Deze studie gebruikt een combinatie van topografische en fotogrammetrische methoden voor het documenteren van erfgoed en archeologische monumenten. Voor dit project werden ter plaatse de nodige terreinmetingen uitgevoerd. Het terreinwerk werd uitgevoerd tijdens een archeologische expeditie van de Universiteit Gent in juli 2011.

Aan de hand van de aldus verzamelde gegevens worden fotogrammetrische eindproducten, in het bijzonder orthofotoplans, geproduceerd. Deze dienen als substituut voor de traditionele manueel opgetekende archeologische plannen. De verwerking van de gegevens wordt uitgevoerd in twee verschillende gespecialiseerde softwarepakketten, om te achterhalen welke van de twee in deze situatie het beste kan gebruikt worden. Hiervoor wordt een afweging gemaakt tussen de nauwkeurigheid van de eindproducten en de complexiteit en tijdsintensiviteit van het verwerkingsproces.

Het eerste hoofdstuk van deze thesis schetst het onderzoekskader van deze studie. Er wordt nagegaan wat de voordelen van de fotogrammetrische technieken zijn ten opzichte van traditionele manuele methoden. Er wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar reeds uitgevoerde toepassingen van fotogrammetrie binnen de sector van de archeologie en het beheer van cultureel erfgoed. In het tweede hoofdstuk van de thesis wordt het studiegebied gesitueerd, in zijn geografische en in zijn archeologische context. In hoofdstuk drie worden de basisprincipes van de fotogrammetrie toegelicht, die noodzakelijk zijn om het

verwerkingsproces te begrijpen. Hoofdstuk vier licht andere technieken van fotomodellering, met name deze van de *computer vision*, toe. In hoofdstuk vijf wordt het onderzoekswerk van deze masterproef besproken. De data-acquisitie omvat het gedane terreinwerk, zowel de topografische als de fotografische opname van de sites. Daarna volgt in hoofdstuk zes de dataverwerking, het hoofdonderdeel van dit onderzoek. De twee softwarepakketten die worden besproken zijn VirtuoZoNT 3.3.0 (Supresoft Inc.), een traditioneel fotogrammetrisch pakket, en PhotoScan Professional (Agisoft LLC), een recent fotomodelleringsysteem. De twee pakketten, hun eindproducten en mogelijke problemen worden op verschillende vlakken met elkaar vergeleken in hoofdstuk zeven. De fotogrammetrische methoden worden ook vergeleken met de traditionele archeologische meetmethoden. De resultaten van deze vergelijkende studie worden nog eens samengevat in het besluit.

1. ONDERZOEKSKADER EN LITERATUURSTUDIE

Barceló *et al.* (2003) definiëren een archeologische site als een plaats waar in het verleden sociale handelingen werden uitgevoerd. Men spreekt van een archeologische site wanneer de fysische ruimte van een locatie veranderd is ten gevolge van zulke menselijke handelingen. Op een archeologische site vindt men dus sporen van deze handelingen uit het verleden terug. Een archeologische site kan een opgraving zijn, zoals in deze studie het geval is, maar het kan ook verwijzen naar ander cultureel erfgoed zoals historische gebouwen en ruïnes.

De ontwikkeling van de archeologische fotogrammetrie loopt ongeveer samen met de ontwikkeling van de terrestrische fotogrammetrie in het algemeen (zie 3.1). Van de vele toepassingsvelden van de terrestrische fotogrammetrie is deze discipline uitgegroeid tot een van de meest gevestigde en gekende. Er is door specialisten in dit veld dan ook al een grote vakkennis en vaardigheid opgebouwd (Atkinson, 2001).

Voor een grondige archeologische studie is het noodzakelijk metrische data en vormkarakteristieken van het onderzoeksobject te bepalen. Deze stellen ons in staat om erfgoed te analyseren en in het geval van afbraak of beschadiging de monumenten te restaureren. Hiervoor vormen fotogrammetrische technieken, die voor georeferentie¹ van de data ondersteund worden door topografische technieken, een belangrijk hulpmiddel (Núñez Andrés *et al.*, 2012). Binnen het archeologisch onderzoek is survey en documentatie zeer belangrijk, met name omdat opgravingen een destructief karakter hebben en bewijsstukken kunnen vernield worden tijdens de opgraving. Precieze documentatie van een site en zijn omgeving in hun huidige vorm en staat is essentieel voor de bescherming van de site, voor het wetenschappelijk onderzoek dat uitgevoerd wordt en voor de eventuele restauratie en renovatie. Ook de stratigrafie, de opeenvolging van bodemlagen uit verschillende tijdsperioden, is in opgravingen belangrijk. Men kan tijdens de opgraving best in

¹ De Maeyer en Van de Weghe (2007) definiëren georeferentie als “het proces waarbij men objecten, entiteiten of fenomenen volgens een model van de aarde in wereldcoördinaten lokaliseert”. Men selecteert een cartografisch projectiesysteem en een coördinaatsysteem en kent in functie hiervan coördinaten aan het object toe.

verschillende tijdslagen documenteren (Pollefeys *et al.*, 2000; Tack *et al.*, 2005; Yastikli, 2007).

De documentatie van monumenten is belangrijk voor het beheer, de archivering, conservatie, restauratie en reconstructie ervan. Verder kan het een middel zijn om mensen zowel in het heden als in de toekomst bewust te maken van de waarde van het erfgoed (Tack *et al.*, 2005). Wanneer men op verschillende tijdstippen fotogrammetrische opnamen maakt, kunnen veranderingen zeer eenvoudig worden opgespoord (De Maeyer & Van de Weghe, 2007). Ook *Virtual Reality* technieken en grafische 3D-modellen², mogelijke eindproducten van de beeldverwerking, kunnen een belangrijke rol spelen in de archeologie. Deze 3D-modellen zijn opnames van de geometrie en het uitzicht van een monument en kunnen gebruikt worden om de stratigrafie en formatieprocessen van een site te verstaan (Barceló *et al.*, 2003). Een 3D-model bevat een schat aan informatie die geanalyseerd kan worden en aan de hand waarvan men wetenschappelijk en historisch onderzoek kan uitvoeren om de site zelf en de site in zijn bredere omgeving beter te leren verstaan (Beraldin *et al.*, 2005). Er is een groeiende vraag naar 3D-modellen en grafische visualisaties (Pollefeys *et al.*, 2004), niet alleen in domeinen zoals stedenbouw en stadsplanning, maar ook in de archeologie. Driedimensionale modellen zijn gemakkelijker te interpreteren dan tweedimensionale tekeningen (Núñez Andrés *et al.*, 2012). Bovendien vormen de fotogrammetrische producten en 3D-beelden een objectiever documentatiemiddel dan subjectieve manuele schetsen (Schuhr & Kanngieser, 2008). De interpretatie kan achteraf gebeuren en op een meer objectieve wijze dan op het terrein. Elke nieuwe onderzoeker kan zijn eigen onbevooroordeelde interpretaties en theorieën vormen, ook wanneer de site zelf reeds werd aangetast. Visueel aantrekkelijke modellen en reconstructies zijn ook van groot belang om het bredere publiek bewust te maken van de waarde van archeologisch onderzoek en de nood aan conservatie van sites. Digitale visualisaties en animaties vinden veel toepassingen in musea en erfgoedcentra, waar ze ingezet worden voor educatieve doeleinden en om het publiek toe te laten mogelijke vroegere landschappen te visualiseren. Hierbij bestaat echter het gevaar dat er een valse indruk van zekerheid wordt gewekt omtrent het verleden terwijl hierover geen exacte kennis bestaat. Een model geeft slechts een mogelijke voorstelling, en meestal kan men slechts gissen naar het

² Beraldin *et al.* (2005) definiëren een model als een digitale representatie van een object of site, waarop men operaties kan uitvoeren.

ware uiterlijk van gebouwen of sites (Haegler *et al.*, 2009). Er wordt onderzoek verricht naar de beste mogelijkheden om deze onzekerheid in modellen weer te geven.

Fotogrammetrische en topografische documentatietechnieken bieden enkele belangrijke voordelen ten opzichte van traditionele documentatiemethoden. Fotogrammetrische technieken kunnen bijvoorbeeld nog steeds gebruikt worden wanneer het object reeds grotendeels verdwenen is of zelfs niet meer bestaat, mits hiervan historische foto's beschikbaar zijn. Een mooi voorbeeld hiervan is de Boeddha van Bamiyan in Afghanistan, die door Grün *et al.* (2004) gereconstrueerd werd aan de hand van oude toeristenfoto's (uit 1965 tot 1969) en internetafbeeldingen. Fotogrammetrie, als onderdeel van de *remote sensing*, kan eveneens gebruikt worden wanneer de site moeilijk of niet bereikbaar is, bijvoorbeeld aan de hand van luchtfoto's. Zo kunnen afgesloten of onbereikbare sites nog steeds worden onderzocht en voorgesteld aan het publiek. Aangezien de metingen uitgevoerd worden op foto's van het object en niet rechtstreeks op het object zelf, is geen fysiek contact met het object noodzakelijk. Dit is voordelig indien de site onbereikbaar of gevaarlijk gelegen is, wanneer het een zeer kwetsbaar object betreft of wanneer men bijvoorbeeld vloeistoffen of zand wil opnemen (Linder, 2009). Virtuele reconstructies, 3D-modellen en fotogrammetrische plannen kunnen gebruikt worden om het begrip van een monument te verbeteren, zonder dat men hiervoor ingrepen moet uitvoeren die vaak beschadigend kunnen zijn voor het origineel (Beraldin *et al.*, 2005).

Er zijn reeds heel wat besprekingen in de literatuur van toepassingen van fotogrammetrie in cultureel erfgoed en archeologie, ondermeer door Yastikli (2007), Portalés *et al.* (2009) en Núñez Andrés *et al.* (2012). Grün *et al.* gebruiken het VirtuoZo fotogrammetrische pakket voor de reconstructie van de grote Boeddha van Bamiyan in Afghanistan, die door de Taliban vernietigd werd in 2001. Ook Yilmaz *et al.* (2007) passen de fotogrammetrie toe voor reconstructieve doeleinden, om een uitgebrand gebouw accuraat en veilig te documenteren met het oog op de heropbouw. Gelli *et al.* (2003) maken gebruik van fotogrammetrie en digitale fotomodellen om schade aan de bouwmaterialen van historische gebouwen te detecteren, met het oog op restauratiewerken en een evaluatie van de vereiste kosten. Arias *et al.* (2005) gebruiken fotogrammetrie en computertechnologie om de temporele evolutie van structurele problemen in enkele Spaanse erfgoedmonumenten op te volgen en de conservatie ervan te garanderen. Fujii *et al.* (2009) gebruiken digitale fotogrammetrische technieken voor

het documenteren van schade aan muren in een aarden site in Ajina Tapa, Tajikistan. De vorm van de muren van deze site wordt door verschillende erosieve processen aangetast. Door de morfologie van de muren regelmatig op te nemen en te documenteren kan de schade opgevolgd worden en kunnen tijdig maatregelen worden genomen om instorting te voorkomen. De data afkomstig uit fotogrammetrie levert de kwantitatieve basis voor de evaluatie van de vordering van de aantasting van de muur. Guidi *et al.* (2004) maken gebruik van fotogrammetrische technieken voor de digitale driedimensionale modellering van een houten beeld, de Maddalena van Donatello. Het beeldje, dat dateert uit de 15^e eeuw, is zeer fragiel, waardoor geen contact met het delicate oppervlak mogelijk is.

Ondanks de vele studies waarbij fotogrammetrische technieken reeds succesvol werden toegepast in de archeologie en het cultureel erfgoed, blijven archeologen bij opgravingen hun plannen en doorsnedes nog steeds grotendeels met de traditionele methoden uitvoeren. Het materiaal dat hierbij gebruikt wordt is zeer eenvoudig. Over de opgraving wordt een raster gespannen met een aantal lintmeters. De site wordt met behulp hiervan en met een vouwmeter ingemeten en grafisch geregistreerd op millimeterpapier (Atkinson, 2001; Arias *et al.*, 2005). Tegenwoordig zijn er echter een groot aantal pakketten en methoden beschikbaar voor de registratie en visualisatie³ van archeologische data. Deze systemen zijn betaalbaar en vereisen geen gespecialiseerde kennis. Ze zijn voor nagenoeg iedereen toegankelijk.

Voor een archeoloog is het belangrijk dat de data-acquisitie vlot en snel kan gebeuren en dat de software bijna in *realtime* kan functioneren. Een opgraving is immers een voortgaand proces waarbij er niet telkens lange tijd gewacht kan worden vooraleer tot de uitgraving van een volgende laag wordt overgegaan. Voor een fotogrammetrische verwerking zijn alleen een reeks foto's en enkele metingen vereist. Dit vertraagt de voortgang van het archeologische opgravingswerk nagenoeg niet (Pollefeys *et al.*, 2000). De korte opnametijd laat toe om gedurende de opgraving snel meerdere opnames te maken op verschillende tijdstippen (Tack *et al.*, 2005). Er is nood aan systemen met een korte acquisitie-tijd, automatische of bijna-automatische constructie van de modellen en een realistisch uitkomstproduct (Pollefeys *et al.*, 2000). Zo wordt het haalbaar om gedurende een archeologische opgraving relatief snel een

³ Volgens Richards (1998) omvat visualisatie eender welke exploratie van data aan de hand van grafische middelen. Het heeft ook een meer specifieke betekenis als die technieken die een visuele interpretatie van data toelaten door de voorstelling, modellering en weergave van vaste oppervlakken, eigenschappen en animaties.

resultaat te produceren. Zulke modelleringsystemen kennen het laatste decennium een opkomst, mede dankzij nieuwe *computer vision* ofte fotomodelleringsstechnieken.

Computer vision technieken werden reeds voor archeologische doeleinden gebruikt door onder andere Pollefeys & Van Gool (2002). Ook de bruikbaarheid van de PhotoScan software werd reeds in verschillende studies aangetoond. Verhoeven *et al.* (2012a) gebruikten de software voor de verwerking van een ongesorteerde collectie beelden genomen vanuit een helikopter. Ze bekwamen een positionele nauwkeurigheid van de eindproducten die deze van de standaard fotogrammetrische technieken benadert. Ook Doneus *et al.* (2011) toonden aan dat de software nauwkeurige uitkomsten oplevert, zelfs indien de foto's niet uitdrukkelijk genomen werden met het oog op een dergelijke verwerking. Plets *et al.* (2012a) ontwikkelden gedurende de Siberische onderzoekscampagne van de UGent in 2011 met behulp van PhotoScan een eenvoudige, flexibele en kost-effectieve methode voor de vlotte en nauwkeurige 3D-opname van rotskunst, staande steles en oppervlaktemonumenten in de Russische Altai. Hun onderzoeksmethode zal ongetwijfeld nog van groot belang blijken voor de archeologische survey voorafgaand aan de aanleg van de geplande gasleiding doorheen het gebied (zie 2.3.2). De methode maakt een snelle en systematische documentatie van het bedreigde erfgoed langsheen de gaslijnroute mogelijk. Zo worden de informatie afkomstig uit reddingsopgravingen en de morfologische karakteristieken van de monumenten geregistreerd en kan de impact van zulke grootschalige ontwikkelingen beperkt worden.

Door de beschikbaarheid van eenvoudige en flexibele uitrustingen zijn de mogelijkheden en toepassingen tegenwoordig nagenoeg grenzeloos geworden. Hoewel heel wat archeologische teams nu reeds meer en meer met deze technieken bezig zijn, wordt de fotogrammetrie nog niet algemeen toegepast en erkend voor de documentatie van archeologische opgravingen (Tack *et al.*, 2005). Voor de documentatie van nog staande gebouwen wordt de fotogrammetrie reeds meer gebruikt. Ook de eindproducten van het fotogrammetrisch proces worden steeds meer door archeologen benut (Atkinson, 2001). De archeologische afdeling van de Universiteit Gent werkt, in samenwerking met de vakgroep Geografie, regelmatig met dit soort methoden en systemen.

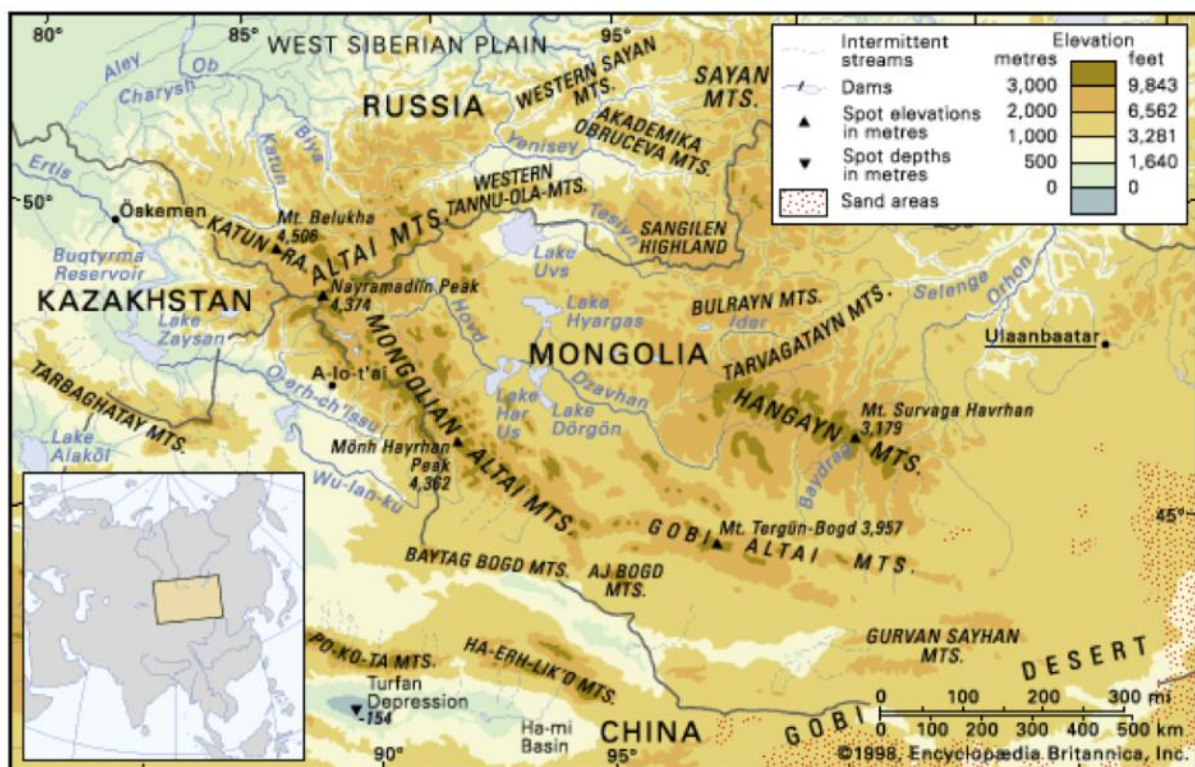
De archeologische gemeenschap moet meer overtuigd worden van de voordelen van de digitale terrestrische fotogrammetrie en fotomodelleringsstechnieken ten opzichte van de traditionele

methoden. De sterktepunten van de fotogrammetrische producten zoals DEM's en orthofoto's (zie 3.6) moeten hen worden getoond. Dit onderzoek tracht hier ook toe bij te dragen. Fotogrammetrische producten en hun eigenschappen kunnen op zijn minst een belangrijke toevoeging zijn bij de algemene traditionele documentatie van opgravingen (Tack *et al.*, 2005). De gebruikte methode en softwaresystemen kunnen variëren en zijn afhankelijk van de specifieke noden en karakteristieken van de site of het object (Yastikli, 2007). Er is steeds nood aan een grondige planningsfase en aan het uittesten van de methode alvorens tot de eigenlijke opname van de site kan worden overgegaan.

2. SITUERING VAN DE SITE

2.1 Geografische situering

Het Altai-gebergte ligt op de grens van Zuid-Siberië met Centraal Azië. Het strekt zich uit over het grensgebied tussen Rusland, Kazachstan, Mongolië en China. Het gebergte maakt deel uit van de Euraziatische steppegordel. Deze strekt zich over meer dan 5000 km uit vanaf de Zwarte Zee in het westen, tot Mantsjoerije in het oosten (Phillips, 1957). Het gebergte werd gevormd tussen het midden-Cambrium en het begin van het Devoon (de laat-Caledonische plooiingen). De huidige geomorfologie is het resultaat van een complexe geologische geschiedenis met herhaaldelijke plooiingen en glaciaties (Shahgedanova, 2002). Enkele van de langste rivieren ter wereld ontspringen in dit gebergte, met name de Ob en de Yenisei.



Figuur 1: Het Altai-gebergte

Bron: Encyclopedia Britannica, 1998

In het uiterste oosten van de Republiek Altai (Russische Federatie), in het hartje van het Altai-

gebergte, ligt de vallei van de Yustyd, waar de opgravingen plaatsvonden (zie figuur 3). Deze rivier ontspringt op de grens tussen de Republiek Tuva en de Republiek Altai, en mondt uit in het oostelijke deel van de Chuya-steppe. De vallei ligt in het Kosh-Agach district, op een hoogte van ongeveer 2000 tot 2200 meter boven het zeeniveau (Gheyle, 2009).

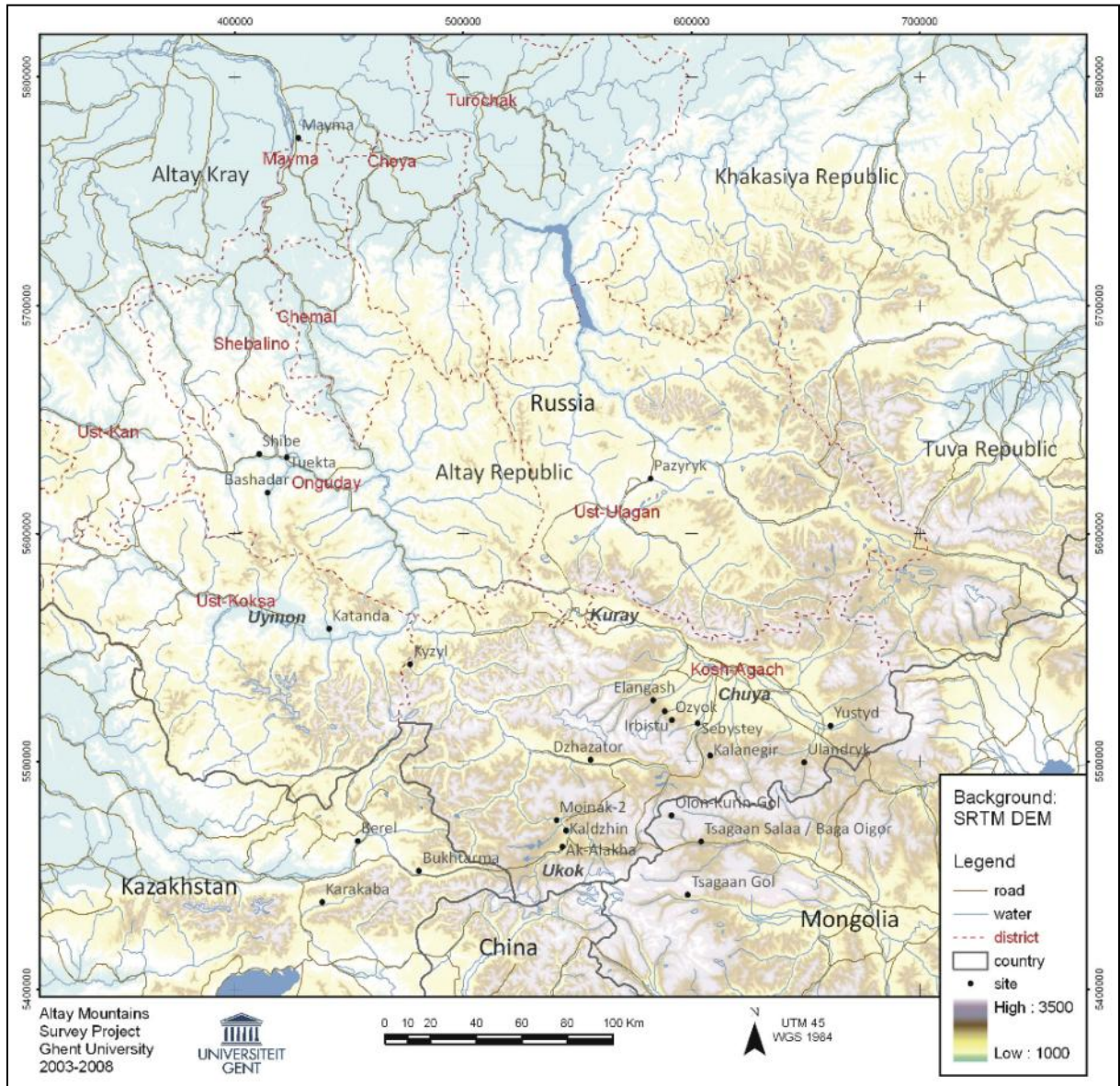


Figuur 2: Republiek Altai (rood) in de Russische Federatie (groen)

Bron: Plets *et al.*, (2012a)

2.2 Archeologische situering

Het Altai-gebergte kent een bijzondere archeologische rijkdom. Het wordt beschouwd als één van de belangrijkste archeologische streken ter wereld (Bourgeois *et al.*, 2007). Duizenden monumenten liggen over de steppes en plateaus verspreid. Het aantal archeologische monumenten is bijzonder hoog. Ze zijn afkomstig van verscheidene culturen, en dateren vanaf het vierde millennium vóór Christus tot heden (Plets *et al.*, 2011). Het landschap van de Altai is weinig verstoord waardoor het archeologische erfgoed uitzonderlijk goed bewaard is gebleven (Gheyle, 2009). Recente ontdekkingen, zoals die van de bevroren Scythische graven, die als UNESCO werelderfgoed worden beschouwd, hebben de Altai de laatste jaren tot een befaamde archeologische streek gemaakt (Goossens *et al.*, 2006).



Figuur 3: Overzicht van het Altai-gebergte en de Republiek Altai, met aanduiding van enkele belangrijke archeologische gebieden, waaronder de Yustyd-vallei

Bron: Gheyle (2009)

In de Russische Altai is de vallei van de Yustyd één van de meest opmerkelijke archeologische gebieden. Het is een open vallei, met een enorme concentratie aan monumenten op het lageregelegen rivierterras. Het heeft eindeloze vergezichten. Door deze uitstekende visibiliteit en door de schaarse en korte vegetatie, te wijten aan de stenige ondergrond, zijn de archeologische structuren zeer goed in het landschap zichtbaar. Zelfs kleine structuren, opgebouwd uit slechts enkele, laag boven de grond uitstekende stenen, zijn goed boven het grondoppervlak zichtbaar. De Yustyd-vallei bevat een enorme diversiteit aan

monumenttypes. Het is één van de meest complexe sites in het Altai-gebergte en vormt een fascinerend cultureel landschap (Gheyle, 2009).



Figuur 4: Uitzicht over de Yustyd-vallei

Bron: Elizabeth Belien

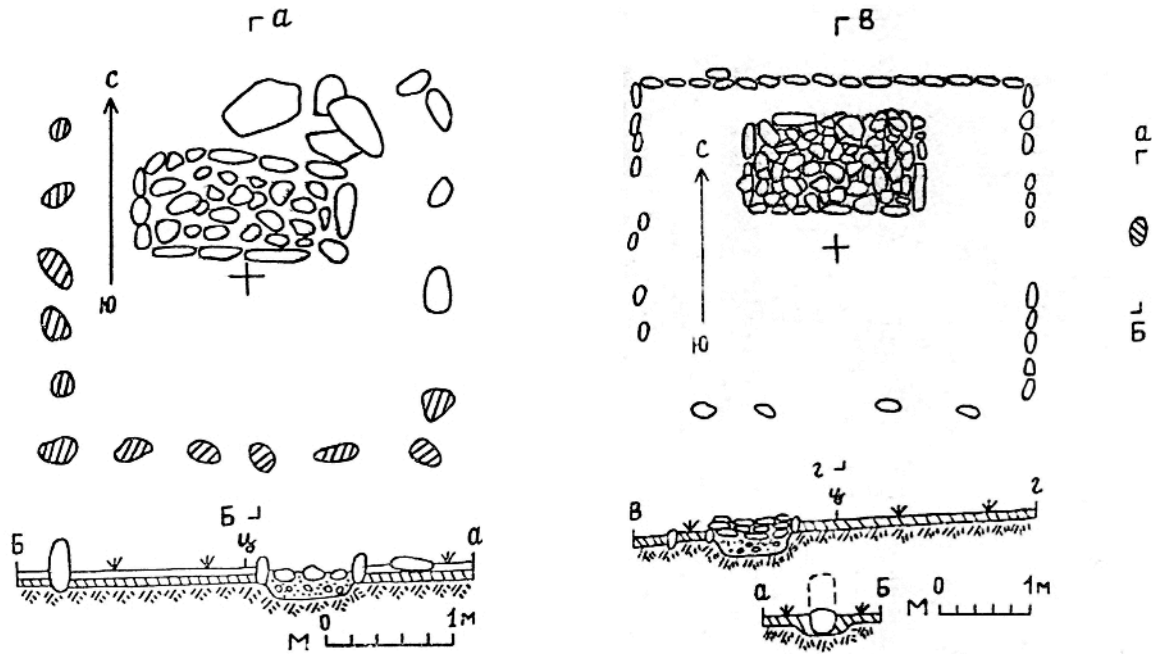
2.2.1 Dwellings

De monumenten die op deze expeditie werden opgegraven zijn zogenaamde *dwellings*, zo genoemd omdat hun structuur doet denken aan die van een huis (Jacobson-Tepfer, 2008). Dit type monument is goed vertegenwoordigd in de Altai⁴, en in de vallei van Yustyd komt hiervan een buitengewoon groot aantal voor (Gheyle, 2009). Op de linker oever van de rivier vindt men er niet minder dan 494, en ook enkele honderden op de rechter oever (Slyusarenko *et al.*, 2007).

⁴ Ze komen ondermeer voor in de Altai Republiek, maar ook in Tuva en Mongolië (Gheyle, 2009).

De ouderdom van deze monumenten was vóór de opgravingen in 2011 nog ongekend. OSL-datering⁵ van stalen die toen werden genomen moet hier in de toekomst meer duidelijkheid over brengen. Meestal werden de *dwelling*s toegeschreven aan de Bronstijd. De parallele distributie van dit monumenttype met de andere types uit de Bronstijd of Vroege IJzertijd in Yustyd zou kunnen wijzen op een gelijktijdigheid hiermee. Bovendien lijkt de structuur van de *dwelling*s sterk op de voorstellingen van eigenlijke woonplaatsen die vaak op rotskunst uit de Late Bronstijd worden gevonden. Het is dus mogelijk dat ze ook uit deze periode dateren (Gheyle, 2009). Ook de functie van de monumenten is onzeker. Het zou kunnen dat ze verwijzen naar de woonplaats van de doden. Ze kunnen gezien worden als een soort virtuele begraafplaatsen, die de dood van een persoon gedenken en die persoon voorzien van een huis in het hiernamaals. De eigenlijke begraafplaats van de lichamen van de mensen voor wie de *dwelling*s bedoeld waren blijft tot op vandaag een mysterie (Jacobson-Tepfer, 2008). Deze hypothese wordt ondersteund doordat de *dwelling*s steeds worden gevonden in de nabijheid van graftomben. Hoewel het zelf geen graven zijn kunnen ze dus wel een funeraire functie gehad hebben (Gheyle, 2009).

⁵ OSL (optisch gestimuleerde luminescentie) is een absolute en robuuste dateringsmethode, met een groot dynamisch bereik (van 10^0 jaar tot meer dan 10^5 jaar oud) (Dimitri Vandenberghe, persoonlijke mededeling, 15 mei 2012).



Figuur 5: Twee schetsen van *dwellings* uit Irbistu (Kosh-Agash district), opgegraven door S. Surazakov in 1979

Bron: Surazakov, 1988

Figuur 5 toont twee voorbeelden van *dwellings*. Ze zijn geometrisch structuren die bestaan uit grote (groter dan gemiddeld), nauwkeurig geplaatste stenen. Het zijn meestal rechthoekige patronen, die oost-west zijn georiënteerd. De buitenste rand of 'muur' wordt gevormd door een enkele of dubbele rij stenen. De muren zijn steeds georiënteerd naar de vier hoofdwindrichtingen. Aan de korte oost- en westzijden bevindt zich een ingang. Vaak wordt de binnenruimte in de lengte in drie gelijke delen of 'kamers' verdeeld door twee enkele rijen stenen die parallel lopen met de noord- en zuidzijden. Er is ook steeds een rechthoekig platform van stenen aanwezig dat zich meestal in het noorden, maar ook in het centrum of aan de zuidzijde van de *dwelling* kan bevinden (Gheyle, 2009). Hieronder, of vlak erlangs, bevindt zich een ondiepe kuil. Tijdens de opgravingen in 2011 werd in dergelijke kuilen houtskool en een stukje bot gevonden. Verder leverden ze geen artefacten op.



Figuur 6: KA-771-006 en KA-771-016, twee *dwellings* van het simpele type

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie. Foto: Eigen onderzoek, juli 2011

Deze driedelige *dwelling* is het meest voorkomende type. Er bestaan echter nog verschillende soorten. Soms is de *dwelling* niet in kamers onderverdeeld. Beide sites uit dit onderzoek, KA-771-016 en KA-771-006, zijn van dit simpele type (zie figuur 6). Het platform bevindt zich aan de noordzijde van de structuur. Verder komen ook ronde en zelfs driehoekige *dwellings* voor. In andere gevallen komen rijen opeenvolgende *dwellings* in een lange lijn voor. De *dwelling* KA-771-006 maakt deel uit van zulk een noord-zuid gerichte rij. Andere rijen zijn als het ware in een laddervorm aan elkaar gebouwd en hebben een gemeenschappelijke muur tussen twee aangrenzende *dwellings*. Het platform is soms ook met de oostelijke kant van de *dwelling* verbonden door een lijn stenen; het hangt dan als het ware aan de steenlijn, die eindigt in een hoopje stenen in het oosten (Gheyle, 2009). Vaak wordt aan de oostelijke uitgang van een *dwelling* een eindje verderop nog een grote rechtopstaande steen gevonden (Jacobson-Tepfer, 2008). Vaak komen samen met *dwellings* ook steenrijen voor. De functie van deze rijen is onzeker (Gheyle, 2009). Ze zouden kunnen wijzen op de reis van de doden aan het einde van het leven. Ze zijn eveneens naar het oosten gericht (<http://mongolianaltai.uoregon.edu/>, 21 maart 2012.).

2.3 Bedreigingen

Het archeologisch erfgoed van het Altai-gebergte is zeer rijk en ondanks het feit dat vele structuren bijzonder goed bewaard zijn gebleven, bestaan er toch enkele specifieke bedreigingen voor de unieke archeologie van dit landschap. De nauwkeurige documentatie en het archeologisch beheer van deze streek is daarom van het grootste belang. De UGent neemt deze taak reeds jarenlang ter harte, vanuit de overtuiging dat *remote sensing* en archeologische technieken kunnen bijdragen tot een beter begrip en beheer van het erfgoed in

deze streek. Tijdens vorige expedities hebben de UGent en GASU reeds veel onderzoekswerk verricht, dat zeker kan bijdragen tot het behoud en de bescherming van de waardevolle structuren en landschappen. De expedities waren tot nu toe vooral gericht op inventarisering en survey van het archeologische erfgoed. Alle monumenten werden nauwkeurig in kaart gebracht en in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) geïmplementeerd. Er werden ook enkele opgravingen uitgevoerd, zoals tijdens de campagne van juli 2011. Op basis van deze expedities werd een databank aangelegd van archeologische monumenten in de Altai (*Altai Archaeological Inventory* of Altari). Deze databank is van rechtstreeks belang voor de bescherming en het behoud van het archeologisch erfgoed (Goossens *et al.*, 2006). De bedreigingen voor het gebied zijn van natuurlijke en antropogene aard (Gheyle, 2009).

2.3.1 Natuurlijke bedreigingen

In het landschap zijn vandaag nog steeds vele kleine monumenten zichtbaar die bestaan uit slechts een klein aantal stenen. Dit komt door de specifieke geografische context van hun ligging, waar weinig sedimentatie en erosie optreden. Er bestaan echter een aantal kleinschalige, lokale, geomorfologische processen die deze oppervlaktestructuren kunnen beschadigen. Één hiervan wordt gevormd door de actieve seizoenale riviersystemen. De overstromingsgebieden van de rivieren, en dus de rivierbeddingen, verplaatsen zich jaarlijks en kunnen hevige erosie en instorting van de rivierterrassen veroorzaken. Dit werd ook in de Yustyd-vallei duidelijk geobserveerd. Veel archeologische sites bevinden zich juist op de randen van deze terrassen, en worden hierdoor langzaamaan ondermijnd. Een tweede geomorfologisch proces, dat in de Yustyd echter niet zo sterk actief is, is de accumulatie van puin aan de voet van de heuvels. Hierdoor kunnen sites bedolven worden onder afzettingen en verloren gaan. Ook *gullies*, die als drainagesysteem gevormd worden in tijden van hevige regenval of smeltwater, kunnen puin afzetten. Bodembewegingen veroorzaakt door gletsjers en landverschuivingen, zoals tijdens de aardbeving in de Chuya-steppe in 2003, kunnen eveneens monumenten bedreigen (Gheyle, 2009).

Nog een bedreiging, die ook in de Chuya-steppe, en dus in Yustyd, van belang is, is bioturbatie. Kleine gravende dieren, zoals de *collared pika* hamster en de *suslik* grondeekhoorn, kunnen grote schade berokkenen aan de monumenten tijdens het graven van onderaardse gangen en het bouwen van hun nesten. Zij doen dit net het liefst onder de

oppervlaktestenen van de monumenten, waardoor die kunnen instorten, omvallen of inzakken. Ook de schaarse vegetatie verkiest de nabijheid van de archeologische structuren en vestigt zich hier graag bovenop. De grove steenhopen bieden hen bescherming tegen de sterke wind en in de winter tegen de vrieskou. De voorgenoemde bioturbatie kan deze vegetatiegroei in de hand werken, door de bodem te verrijken met organisch materiaal (Gheyle, 2009).

Vegetatie kan aanzienlijke schade aanrichten. Het veroorzaakt verschuiving en afbraak van de stenen en de structuren door wortelgroei. Sterke vegetatie kan de monumenten onttrekken aan het zicht (Gheyle, 2009). In Yustyd vormt dit geen problemen, aangezien er slechts één boom staat in heel de vallei en er voor de rest slechts weinig, schrale vegetatie voorkomt. Er groeien echter wel veel kleine kruiden en mossen met een zeer sterk, dicht wortelnet. Dit werd geobserveerd tijdens het afgraven van de bovenste bodemlaag voor de archeologische opgraving. De bodem was erg hard en de dichte wortels zorgden ervoor dat de vegetatie moeilijk te verwijderen was.

Een laatste natuurlijke bedreiging in de Altai is het gevolg van de huidige klimaatverandering. Dit is vooral belangrijk voor de vele bevroren Scythische grafheuvels, die onder impuls van onder meer de UGent de aandacht trokken van UNESCO. Er werd reeds een project uitgevoerd om de bescherming van de graven te initialiseren. Ze bevinden zich aan de rand van het permafrostgebied, waar de permafrost onstabiel, discontinu, en sporadisch is. De graven en hun inhoud zijn bijzonder goed in de bevroren bodems bewaard gebleven. Alle organische materialen, inclusief de lichamen, zijn vrijwel intact bewaard (Bourgeois & Gheyle, 2005; Gheyle, 2009). Deze gebieden zullen bij een opwarming het sterkst worden aangetast. De verdwijning van permafrost in het Altai-gebergte werd voorspeld voor het midden van deze eeuw. De bodems zijn zeer gevoelig voor klimaatverandering en de situatie van de graven is dus zeer kwetsbaar. Het is dus van uitzonderlijk belang dat zij goed gedocumenteerd worden vooraleer ze verloren gaan (Bourgeois *et al.*, 2007; Gheyle, 2009).

2.3.2 *Antropogene bedreigingen*

Archeologische monumenten, en vooral grafheuvels, zijn aantrekkelijke doelwitten voor diefstal. Ook ‘professionele’ opgravingen kunnen veel kwaad aanrichten, indien de monumenten nadien niet zorgvuldig heropgebouwd worden. Dat is in dit gebied vaak niet

gebeurd, omdat het veel tijd in beslag neemt. Ook in de vallei van de Yustyd zijn er overblijfselen van grafheuvels en monumenten die nu niet veel meer zijn dan troosteloze rijen putten met de stenen er willekeurig in en rondom gegooid (Gheyle, 2009).

Een zeer actuele bedreiging voor de Altai is het toenemende toerisme. Het gebied dat hierdoor wordt beïnvloed dringt steeds dieper in de tot hiertoe ongerepte berggebieden. De expansie van de toeristische sector biedt economische voordelen voor de streek, maar vormt een gevaar voor het cultureel erfgoed, dat erg beschadigd wordt door toeristen en illegale verkopers van rotskunst. De toeristen springen oneerbiedig met het erfgoed om, veelal door een gebrek aan informatie omtrent de waarde van de monumenten (Bourgeois *et al.*, 2007; Gheyle, 2009).

Een ander actueel en verreikend dreigement is de industriële expansie en met name de door GAZPROM geplande gaspijpleiding van Siberië naar China, die recht door het Altai-gebergte zal lopen. De meest geschikte route voor deze leiding doorkruist het gebied dat ook voor de vroegere bevolking van het gebergte het meest geschikt was voor de bouw van hun monumenten (Plets *et al.*, 2011). De verstoring zal niet te onderschatten zijn. De enorme leidingen zullen boven de grond lopen en daarnaast komt nog een dienstweg. Er zal dus een grote strook doorheen het landschap getrokken worden, wat zowel het zicht als de natuur en de archeologie zal aantasten.

Een probleem dat in Yustyd veel voorkomt is dat van de autosporen. Er zijn geen aangelegde wegen. Op veel plaatsen rijden de auto's dwars door en over monumenten zoals *dwellings* en grafheuvels heen, zoals te zien is in figuur 7. De sporen hiervan zijn blijvend en van veraf zichtbaar. Bovendien worden ze steeds breder doordat chauffeurs tijdens natte periodes de oude sporen ontwijken en parallel ermee rijden. Ook in het geval van de beide sites KA-771-006 en KA-771-016 liep de weg dwars doorheen de structuur. Dit maakte het zeer moeilijk om te graven, doordat de, normaal toch al harde, bodem extra hard en gecompacteerd was. Bovendien waren sommige stenen daardoor reeds verdwenen.



Figuur 7: Onaangelegde wegen vormen een bedreiging voor archeologische structuren

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie, juli 2011

Een deel van het Altai-gebergte werd reeds als UNESCO natuurerfgoed opgenomen onder de naam ‘*The Golden Mountains of Altay*’. Het is echter belangrijk dat het cultureel erfgoed mee in deze parken wordt geïncorporeerd, daar de natuurlijke en culturele landschappen in de Altai zeer nauw met elkaar verbonden zijn (Goossens *et al.*, 2006; Plets *et al.*, 2011).

3. BASISBEGRIPPEN VAN DE FOTOGRAMMETRIE

Atkinson (2001) definieert de fotogrammetrie, of metrische fotografie, als “the science, and art, of determining the size and shape of objects as a consequence of analysing images recorded on film or electronic media”. Fotogrammetrie omvat dus een wetenschap, waarbij de wetten van de wiskunde, natuurkunde en scheikunde een rol spelen en kennis hierover belangrijk is. Maar fotogrammetrie is ook een kunst. Een goed resultaat wordt alleen bekomen aan de hand van goede beelden. Een kennis van de fotografie en videografie is dus essentieel.

Goossens (2007) omschrijft de fotogrammetrie als “de toegepaste wetenschap die tot doel heeft de vorm, afmetingen en de plaats in de ruimte van een object te bestuderen en te bepalen, door middel van fotografische beelden van het object”. Linder (2009) spreekt over “the science of measuring in photos”, zoals de naam zelf reeds aangeeft. Antrop & De Maeyer (2008) noemen fotogrammetrie “de technieken die toelaten metingen te verrichten op foto’s en digitale beelden”. Het zijn technieken die gebruikt worden om geometrische informatie te verkrijgen over objecten of gebieden voorgesteld op foto’s (Linder, 2009). Dit gebeurt door metingen uit te voeren op de foto’s van het object, in plaats van rechtstreeks op het object of het terrein zelf (Atkinson, 2001, De Maeyer & Van de Weghe, 2007). De fotogrammetrie behoort dan ook tot het domein van de teledetectie of *remote sensing*.

Men onderscheidt twee types fotogrammetrie. Ze verschillen naargelang de plaats en wijze van opname van de beelden en de schaal ervan (De Maeyer & Van de Weghe, 2007; Goossens, 2007). Een eerste type is de luchtfotogrammetrie, waarbij de foto’s worden genomen vanuit een vliegtuig of satelliet. Het tweede type, dat in deze studie werd gebruikt, is de terrestrische fotogrammetrie. Hier worden de foto’s genomen van op het aardoppervlak of vanuit een opnamepunt dat hieraan verbonden is, zoals een gebouw of een stelling (Goossens, 2007). De fotogrammetrist staat dicht bij de objecten en kan interageren met de omgeving die hij opneemt. De camera staat dicht bij het objectief, en er kunnen beelden genomen worden van overal rond en eventueel zelfs binnenin het object (Atkinson, 2001). Omdat de afstand tussen de camera en het object klein is, in tegenstelling tot de luchtfotografie, worden de foto’s op grotere schaal genomen (De Maeyer & van de Weghe, 2007).

3.1 Geschiedenis van de fotogrammetrie

Men onderscheidt drie fasen in de ontwikkeling van de fotogrammetrie (De Maeyer & Van de Weghe, 2008; Linder, 2009).

In de eerste decennia van de twintigste eeuw kende men een **analoge** fotogrammetrie. De fotogrammetrische processen werden uitgevoerd op een pure optisch-mechanische wijze. Hiervoor waren grote en dure instrumenten nodig. Deze ingewikkelde apparatuur vergde een grote vakkennis en ervaring, wat het beroep van professionele fotogrammetrische operator deed ontstaan (De Maeyer & Van de Weghe, 2008; Linder, 2009).

De opkomst van de computer bracht een verschuiving teweeg van de analoge naar de **analytische** fotogrammetrie. Hierbij werd gebruik gemaakt van ingewikkelde algoritmen en stelsels van vergelijkingen, waarvan de formules en parameters berekend en opgeslagen werden in de computer. De gegevens werden dus elektronisch verwerkt. Veel van de meest tijdrovende operaties bleven echter in handen van de operator. Er was nog steeds nood aan mechanisch en optisch gereedschap, maar dit was aanzienlijk kleiner, goedkoper en gemakkelijker om mee om te gaan dan in de analoge fotogrammetrie (De Maeyer & Van de Weghe, 2008; Linder, 2009).

De snel toenemende kracht en opslagcapaciteit van computers leidde in recente decennia tot een derde fase, die van de **digitale** fotogrammetrie. Berekeningen kunnen steeds sneller en juister worden uitgevoerd en de meeste operaties zijn nu grotendeels geautomatiseerd. Hoewel soms nog met traditionele camera's en foto-afdrukken op film of papier wordt gewerkt, worden nu vooral digitale foto's gebruikt. Deze worden rechtstreeks met de computer verwerkt. De computer krijgt een centrale rol in het proces en de verwerking kan vrijwel in *realtime* gebeuren. Digitale beeldverwerking laat toe dat het fotogrammetrisch proces veel sneller en goedkoper kan verlopen, bijvoorbeeld omdat er geen films meer moeten ontwikkeld worden. Door het gebruik van digitale beelden heeft men ook niet meer te maken met vervormingen van de foto's zoals uitzetting of krimp te wijten aan temperatuur of vochtigheid. Men kan digitale beelden ook gemakkelijk en onbeperkt reproduceren, zonder dat de beelden hierbij aan kwaliteit verliezen. Ook de kwaliteitsaspecten, zoals contrast en helderheid van de beelden, kunnen gemakkelijker aangepast en verbeterd worden dan bij de

conventionele fotografie. Bovendien heeft men minder problemen met de apparatuur (Goossens & Devriendt, 2007; De Maeyer & Van de Weghe, 2008; Linder, 2009).

De fotogrammetrie is in de loop van de tijd geëvolueerd van een optisch-mechanische techniek tot een volledig digitale *workflow*. Het verwerkingsproces is hierdoor aanzienlijk eenvoudiger geworden. Bovendien zijn digitale camera's met een hoge technische standaard en een goede geometrische resolutie tegenwoordig aan lage prijzen beschikbaar (De Maeyer & Van de Weghe, 2008; Linder, 2009). Het is vandaag dan ook steeds gemakkelijker voor niet-specialisten om aan fotogrammetrie te doen.

3.2 Fotogrammetrisch principe

Het verschijnsel waarbij de positie van een voorwerp lijkt te veranderen wanneer men het vanaf verschillende posities bekijkt, heet parallax (De Maeyer & Van de Weghe, 2007). De wereld die we zien, wordt door elk van onze ogen onder een verschillende hoek waargenomen. Dit hoekverschil wekt een indruk van reliëf (Goossens, 2007). In onze hersenen worden de twee beelden met andere invalshoek opnieuw gecombineerd. Objecten met verschillende parallax worden geïnterpreteerd als objecten met een verschillende diepte. Op deze manier wordt een ruimtelijke indruk gecreëerd en kunnen we afstanden inschatten. Deze mogelijkheid om diepte voor te stellen door beelden van het linker- en rechteroog te combineren is het principe van de stereovisie (De Maeyer & Van de Weghe, 2007; Linder, 2009). Dit principe wordt in de fotogrammetrie gebruikt. Hier wordt driedimensionale informatie verkregen aan de hand van stereoscopische beelden. Deze beelden worden vanuit een verschillende positie genomen, zodat eenzelfde object telkens onder een verschillende hoek wordt waargenomen. Twee dergelijke overlappende foto's, noemt men een stereopaar. De parallaxverschillen die hierdoor ontstaan kunnen gebruikt worden om de hoogte te berekenen van eender welk punt dat op beide foto's voorkomt. Stereoscopische beelden laten dus te een driedimensionaal model van een landschap te realiseren (Antrop & De Maeyer, 2008; Linder, 2009). Er bestaat een inverse relatie tussen parallax en nabijheid. Een groot parallaxverschil wekt een indruk van nabijheid en dus een hoog reliëf. Een klein parallaxverschil impliceert een verafgelegen object en dus een lage elevatie (Mikhail *et al.*, 2001).

De fotogrammetrie berekent dus voor elk punt dat op tenminste twee beelden voorkomt, de driedimensionale coördinaten (Linder, 2009). Zo wordt de geometrische relatie tussen het

beeld en het object zoals het bestond op het moment van opname achterhaald en vastgelegd (Mikhail *et al.*, 2001). Als de hoogteverschillen tussen verschillende punten in het overlappende deel van een stereopaar bepaald worden ten opzichte van enkele grondcontrolepunten waarvan de absolute hoogte gekend is, dan kan men de absolute hoogtes van al deze punten bepalen (De Maeyer & Van de Weghe, 2007). Zo bekomt men niet alleen de relatieve ligging van alle punten in de ruimte maar ook de absolute ligging ten opzichte van een cartografisch coördinatenstelsel. De coördinaten van de grondcontrolepunten kunnen in een relatief of absoluut assenstelsel bepaald worden met de klassieke topografische methoden (Goossens, 2007).

3.3 Schaal

De schaal van de foto's is belangrijk, daar deze mee de zichtbaarheid en interpreteerbaarheid van de objecten op de foto bepaalt. De schaal varieert doorheen eenzelfde foto, naargelang de hoogte van de objecten op het terrein. Als de hoogte op het terrein toeneemt, zal ook de fotoschaal toenemen. Wanneer de hoogte van de terreinobjecten lager is, zal ook de schaal op de foto afnemen. Ter vereenvoudiging wordt daarom meestal gewerkt met een gemiddelde fotoschaal (De Maeyer & Van de Weghe, 2007). De gemiddelde fotoschaal bedraagt:

$$\text{Fotoschaal} = S = 1 / SF = f / H$$

waarbij f de focale lengte of focusafstand is, en H de gemiddelde hoogte boven het terrein waarop de foto getrokken werd. SF is de schaalfactor (Goossens, 2007).

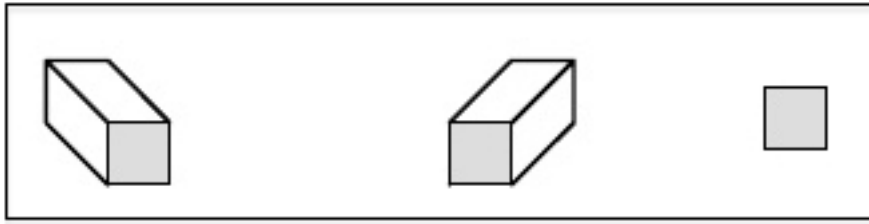
3.4 Projectie

Fotografische beelden geven een misleidende voorstelling van de werkelijkheid, omdat ze alle worden gekarakteriseerd door beeldvervalsingen (Barceló *et al.*, 2003; Goossens *et al.*, 2006). Daarom kunnen ze nooit gebruikt worden als kaart. Onbewerkte foto's zijn gebaseerd op een perspectieve projectie. De lichtstralen van het beeld gaan door één enkel punt, het perspectief centrum, voordat ze het beeldvlak snijden. De driedimensionale punten in de objectruimte worden via de perspectieve projectie op een tweedimensionaal beeldvlak geprojecteerd. Punten met eenzelfde horizontale locatie maar een verschillende hoogte, zoals de onder- en bovenkant van een gebouw, zullen hierdoor op verschillende locaties op de foto afgebeeld worden. Er treedt dus een beeldverplaatsing op (Mikhail *et al.*, 2001). De fouten

nemen toe naarmate men verder verwijderd is van het projectiecentrum (Atkinson, 2001). De grootte van deze verplaatsing tussen de onder- en bovenkant van het object is gerelateerd aan de hoogte van het object en de afstand ervan tot aan het principaal punt. Hoe groter de reliëfverschillen, hoe sterker ook de beeldverplaatsing. Aan de hand van de opnamehoogte, de beeldverplaatsing en de radiale afstand van het principaal punt tot aan de top van het object, kan de hoogte van een object op de foto worden ingeschat (Mikhail *et al.*, 2001).

De geometrie verschilt dus doorheen het beeld. In een digitaal beeld hebben de pixels echter een vaste grootte. Dichtbij het perspectief centrum zullen eenzelfde aantal pixels een veel kleiner gebied bedekken dan aan de randen van het beeld. De resolutie is dus niet overal dezelfde (Goossens *et al.*, 2006). Ook de schaal zal doorheen de foto verschillen, volgens de verschillende hoogtes van punten op het terrein en de afstanden van de objecten ten opzichte van het principaal punt van de camera (Mikhail *et al.*, 2001; Barceló *et al.*, 2003; Goossens *et al.*, 2006). Naast de beeldverplaatsing door hoogteverschillen, kan ook *tilt* (zie 3.5.2.2) vervormingen veroorzaken (Mikhail *et al.*, 2001).

Op een kaart dienen alle punten op hun planimetrisch correcte positie te worden voorgesteld (Mikhail *et al.*, 2001). Een beeld kan nooit gebruikt worden als een fotokaart zonder dat het eerst gecorrigeerd wordt. Geografische technieken en fotogrammetrie worden gebruikt om de vervormingen te corrigeren. Het eindproduct van deze restitutie zijn orthofoto's (Goossens *et al.*, 2006). Deze zijn gebaseerd op een orthografische projectie. De projectiestralen worden loodrecht ten opzichte van een referentieoppervlak geprojecteerd, waardoor alle punten op hun correcte positie afgebeeld worden. De hoeken van een gebouw, bijvoorbeeld, hebben slechts één enkele juiste planimetrische positie op een kaart of in een orthografische projectie, terwijl dezelfde hoeken in een perspectieve projectie verschillende voorstellingen hebben en verplaatst worden ten opzichte van hun correcte positie (zie figuur 8). In een orthografische projectie zal een verandering in hoogte van een punt de projectie niet beïnvloeden, waardoor de schaal doorheen het beeld constant blijft (Mikhail *et al.*, 2001).



Figuur 8: Voorstelling van een object in perspectieve projectie (linker- en rechterbeeld) en in orthografische projectie

Bron: Linder, 2009

3.5 Het fotogrammetrisch proces

Het fotogrammetrisch verwerkingsproces bestaat uit twee stappen. In de eerste stap worden de foto's genomen en metingen gedaan. Dit is de dataverwerving. De tweede stap omvat de dataverwerking of fotogrammetrische restitutie. Hierbij worden de gegevens verwerkt tot een metrische voorstelling van het object. In deze stap wordt eigenlijk de opnamesituatie op een verkleinde schaal gereconstrueerd. De producten hiervan kunnen dan uiteindelijk in een GIS worden geïmporteerd en als kaart worden voorgesteld (De Maeyer & van de Weghe, 2007; Goossens, 2007).

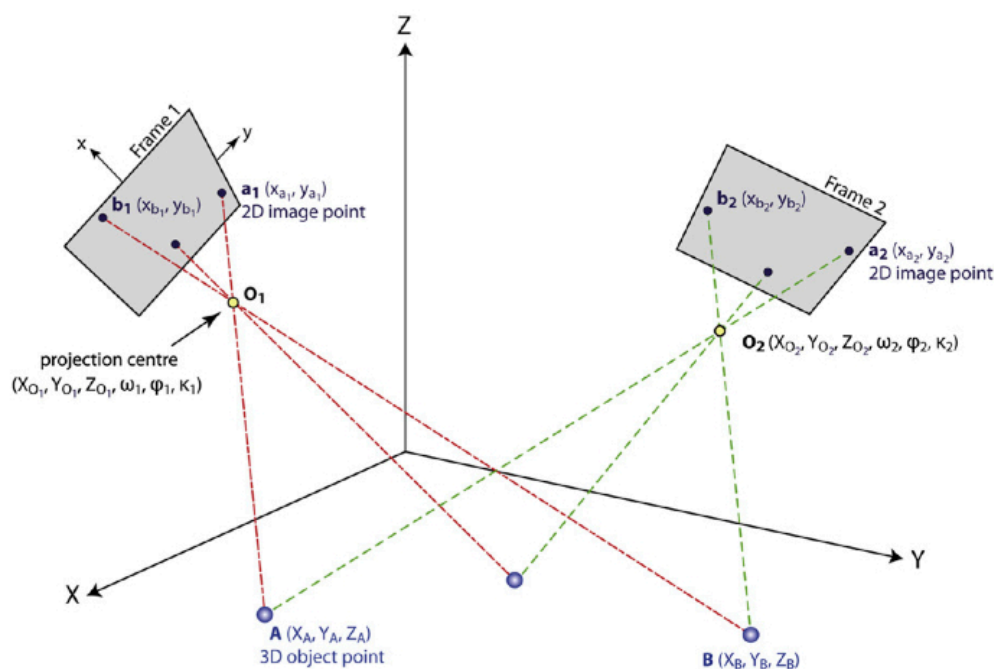
3.5.1 Dataverwerving

Het is belangrijk dat de foto's met voldoende overlap worden genomen. De overlapping bedraagt in de praktijk 60 tot 80%. De minimale overlapping bedraagt 50%, maar men rekent gewoonlijk een zekere veiligheidsmarge in om hiaten te voorkomen. Deze overlapping zorgt ervoor dat de nodige grondcontrolepunten op beide foto's voorkomen. De stereografische restitutie kan slechts uitgevoerd worden op punten die op beide foto's staan afgebeeld (De Maeyer & van de Weghe, 2007; Goossens, 2007; Linder, 2009).

Een tweede aspect waarmee men bij de data-acquisitie rekening moet houden is de verticaliteit van de opname. Een perfect verticaal beeld wordt bekomen als de as van de camera tijdens de opname exact verticaal staat. Dit is in de praktijk erg moeilijk en er zullen steeds kleine afwijkingen zijn. Lichte afwijkingen ten opzichte van de verticaliteit leveren tijdens de restitutie echter weinig moeilijkheden op. Verder ontstaan er ook fouten afkomstig van de gebruikte camera en is het nemen van een perfecte fotografische opname onmogelijk (De Maeyer & Van de Weghe, 2007; Goossens, 2007).

3.5.2 Fotogrammetrische restitutie

De voorstelling van een punt op een opname definieert een perspectieve straal. Deze straal verbindt het ruimtelijk objectpunt met het perspectief centrum en met de projectie van het punt op het beeld. Een beeld is dus eigenlijk een bundel stralen die samenkomen in het perspectief centrum en die een ongekende positie en oriëntering hebben in de ruimte. De voorstelling van hetzelfde punt op een tweede foto levert een tweede, homologe perspectieve straal. Deze stralenbundels leveren een ruimtelijk model dat gevormd wordt door de verzameling van de snijpunten van alle homologe stralen⁶. De restitutie bestaat uit drie delen. Tijdens de **interne oriëntatie** worden de stralenbundels gereconstrueerd. In de externe oriëntatie worden de stralenbundels uit de interne oriëntatie gepositioneerd en georiënteerd ten opzichte van de objectruimte. Dit omvat twee stappen: de relatieve oriëntatie en de absolute oriëntatie. De **relatieve oriëntatie** omvat het bepalen van de relatieve positie van de beide stralenbundels van de verschillende beelden ten opzichte van elkaar. Tijdens de **absolute oriëntatie**, tenslotte, wordt de absolute positie van de beide stralenbundels bepaald. Hierbij is het inmeten van grondcontrolepunten belangrijk (Mikhail *et al.*, 2001; Arias *et al.*, 2005; Goossens, 2007).



Figuur 9: Projectie van driedimensionale objectpunten op tweedimensionale beelden

Bron: Verhoeven *et al.*, 2012b

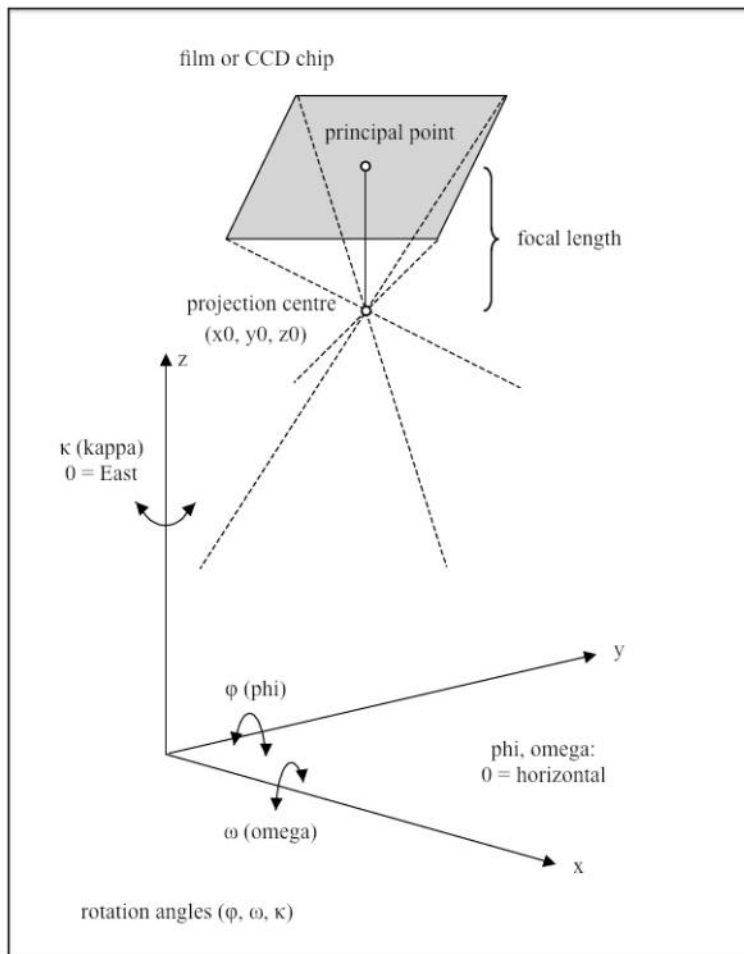
⁶ Uit de intersectie van twee homologe stralen van eenzelfde punt, kan dit punt in 3D gereconstrueerd worden. Dit proces heet triangulatie (Pollefeys & Van Gool, 2002).

3.5.2.1 Interne oriëntatie

In deze stap wordt de geometrische positie van de foto bepaald ten opzichte van de camera op het moment van de opname. De elementen van de oriëntatie worden door de camera bepaald (Goossens, 2007). Hiervoor zijn drie camerakarakteristieken vereist: de focale lengte van de lens, de locatie van het principaal punt in het beeldvlak en de lensvervorming (Mikhail *et al.*, 2001). De interne oriëntatie hoeft enkel te gebeuren bij het gebruik van metrische camera's.

3.5.2.2 Externe oriëntatie

Tijdens de externe oriëntatie worden de externe oriëntatieparameters, namelijk de coördinaten van het projectiecentrum en de oriëntatie van de optische as, berekend. Als de foto's genomen worden vanaf een platform dat niet stabiel is tijdens de opname, dan zijn er drie rotaties van dit platform mogelijk. De rotaties veroorzaken vervormingen, of *tilt*, van het beeld. We onderscheiden drie rotatiehoeken, die worden bepaald door de richting van de optische as van de camera ten opzichte van de x-, y-, en z-assen, respectievelijk ω -tilt (*roll rotation*), φ -tilt (*pitch rotation*) en κ -tilt (*crab rotation*). Deze worden voorgesteld op figuur 10. De *pitch rotation* bepaalt het hoekverschil tussen de stereo-opnames. Deze vervormingen worden tijdens de fotogrammetrische restitutie weggewerkt. Zijn al deze rotatieparameters gelijk aan nul, dan staat de optische as loodrecht op het xy-vlak (Atkinson, 2001; De Maeyer & van de Weghe, 2007; Goossens, 2007).



Figuur 10: Focuslengte, projectiecentrum en rotatiehoeken

Bron: Linder, 2009

3.5.2.3 Relatieve oriëntatie

In deze stap worden de foto's van elk stereokoppel ten opzichte van elkaar georiënteerd. De corresponderende stralen van de twee stralenbundels van de twee foto's moeten elkaar snijden en bevinden zich dan in dezelfde onderlinge positie als tijdens de opname. Hierdoor verkrijgt men driedimensionaal zicht. In de praktijk zal een perfecte relatieve oriëntatie nooit behaald worden. De relatieve oriëntatie zal trachten de snijding van de overeenkomstige stralen zo goed mogelijk te benaderen. Voor de relatieve oriëntatie dient men per stralenbundel zes parameters te definiëren; de drie coördinaten van het projectiecentrum (x , y , en z) en drie rotatieparameters (ω , ϕ en κ). Dit levert vijf vergelijkingen: drie rotatieveranderingen en twee positieveranderingen. De positieveranderingen in de x -richting worden niet berekend, daar deze alleen een invloed hebben op de schaal en niet op de snijding van de stralen. Wanneer de

y-parallax voor alle corresponderende stralen nul is, snijden de stralen elkaar en zijn de stralenbundels relatief georiënteerd (Goossens, 2007).

3.5.2.4 Absolute oriëntatie

Deze stap omvat het transformeren van de coördinaten van het stereokoppel naar absolute terreincoördinaten. Hierdoor wordt het koppel in een absoluut coördinaatsysteem geplaatst. Dit gebeurt aan de hand van grondcontrolepunten (GCP's), die met een totaalstation worden ingemeten. Hiervoor zijn minstens zes grondcontrolepunten nodig, die zich moeten bevinden in de overlappende zone tussen de twee foto's en die zo homogeen mogelijk verspreid liggen in x, y en z. Meestal worden meer dan zes GCP's gebruikt, om de betrouwbaarheid van de transformatie te verhogen. Aan de hand van deze punten worden zeven transformatieparameters berekend: één schaalfactor, drie translatieparameters en drie rotatieparameters. Hiermee kan voor elk punt van het model de juiste absolute positie binnen een terrestrisch coördinaatsysteem bepaald worden (Goossens, 2007).

3.6 Fotogrammetrische eindproducten

De producten van de fotogrammetrische restitutie zijn DEM's, orthofoto's en contourkaarten.

3.6.1 DEM

Een digitaal hoogtemodel of *digital elevation model* (DEM) is een gebiedsdekkende, digitale weergave van het terrein, die gevormd wordt door een groot aantal driedimensionale puntcoördinaten. Deze dataset wordt verkregen door interpolatie uitgaande van de grondcontrolepunten. De kwaliteit van het model hangt af van de locatie, dichtheid en distributie van deze punten. Uitgaande van DEM's worden orthofoto's gecreëerd (Linder, 2009; Smith *et al.*, 2009).

3.6.2 Orthofoto

Een orthofoto, de orthogonale afbeelding van een oppervlak of object, heeft geen vervormingen meer. Het wordt bekomen door een herberekening van alle pixels in functie van de juist georiënteerde beelden en een DEM dat de hoogte van het terrein weergeeft (De

Maeyer & van de Weghe, 2007; Linder, 2009). Het perspectieve aspect is uit de foto verwijderd en het beeld heeft een constante schaal. Voor een digitaal beeld betekent dit dat de pixels over het volledige beeld eenzelfde gebied voorstellen en een regelmatig raster vormen. Over het volledige beeld vormen de objecten nu betrouwbare afbeeldingen van de ware objecten. Ze kunnen opgemeten worden. De foto vormt een ware kaart: alle punten liggen op hun correcte cartografische positie (Goossens *et al.*, 2006). De nauwkeurigheid van de orthofoto hangt in grote mate af van de nauwkeurigheid van het DEM (Linder, 2009).

Een orthofoto verschaft extra informatie die een kaart niet biedt, doordat de objecten voorgesteld worden zoals op een fotografische voorstelling (Tack *et al.*, 2005). De orthofoto bevat nog steeds alle eigenschappen van een fotobeeld en beschikt dus over een extra dimensie ten opzichte van een gewone kaart. Eens gecorrigeerd bevatten de beelden zowel geometrische data (grootte, vorm en locatie van objecten) als visuele eigenschappen (textuur en compositie) (Barceló *et al.*, 2003). Een orthofoto is dus eigenlijk een voorstelling waarin de geometrische nauwkeurigheid van een meting gecombineerd is met de visuele eigenschappen van een foto. Door deze fotorealistische representatie kunnen orthofoto's bijzonder behulpzaam zijn bij de interpretatie van elementen en het herkennen van objecten en details (Mikhail *et al.*, 2001). Kleur- en helderheidscontrasten, grootte, vorm, schaduwwerking en contextuele informatie kunnen aanwijzingen leveren voor de objectherkenning (Aber *et al.*, 2010). De toestand van de objecten kan geïnterpreteerd worden, zonder dat de absolute eigenschappen en metingen daarbij beïnvloed worden door de interpretatie van de gebruiker (Tack *et al.*, 2005).

De orthofoto's kunnen in een GIS worden ingevoerd en als basis dienen voor verdere bewerkingen, zoals de productie van contourkaarten (Mikhail *et al.*, 2001). Deze producten hebben de karakteristieken van echt cartografisch materiaal. Interpretaties en tekeningen uitgaande van de orthobeelden zijn geometrisch correct. Ze stellen de werkelijkheid voor, in tegenstelling tot onbewerkte foto's (Goossens *et al.*, 2006).

3.6.3 Contourkaarten

Contourkaarten zijn kaarten die de hoogteligging van een terrein voorstellen door middel van isohypsen. Dit zijn lijnen die punten met gelijke hoogte met elkaar verbinden. De lijnen

worden getrokken om een bepaald interval, dat door de producent gekozen wordt in functie van de schaal en de aard van het reliëf in het gebied (Mikhail *et al.*, 2001; De Maeyer, 2009).

3.7 GCP'S

Grondcontrolepunten (GCP's) zijn van groot belang voor de absolute oriëntatie. Het zijn punten waarvan de terreincoördinaten gekend zijn. Deze worden ingemeten met behulp van de klassieke topografische methoden en GPS-meting. De nauwkeurigheid van de topografische meting bepaalt mee de uiteindelijke nauwkeurigheid van de restitutie. GCP's zijn duidelijk gemerkte of goed herkenbare punten op het terrein, die ook op de foto's duidelijk te herkennen zijn (Goossens, 2007; Linder 2009).

Er kan gewerkt worden met twee soorten GCP's: natuurlijke of gesignaliseerde. Natuurlijke GCP's zijn karakteristieke terreinobjecten, bijvoorbeeld de hoekpunten van een steen, die duidelijk en exact identificeerbaar zijn op het beeld. Vaak wordt echter gewerkt met gesignaliseerde punten. Dit zijn bijvoorbeeld kruisjes of cirkelvormige plaatjes die vóór het nemen van de foto's op het terrein worden geplaatst. De signalen zijn symmetrisch en contrasteren met de natuurlijke kleuren en vormen van de achtergrondomgeving. De punten zijn welomlijnd en het meetmerk moet er op een eenduidige manier op geplaatst kunnen worden (Goossens, 2007; Linder, 2009).



Figuur 11: Voorbeeld van een gesignaliseerd grondcontrolepunt

Bron: Plets *et al.*, 2012b

De zeven vereiste parameters voor de absolute oriëntatie kunnen bekomen worden aan de hand van minimaal twee planimetrische en drie hoogtecontrolepunten per stereopaar. Dit betekent dat er per beeld minstens drie GCP's vereist zijn, twee waarvan de volledige x-, y- en z-coördinaten bepaald worden en één extra hoogtecontrolepunt. Deze punten moeten goed verspreid liggen, zowel doorheen het gebied als in de hoogte. Met extra GCP's kunnen de

transformatieparameters echter nauwkeuriger bepaald worden. Voor een nauwkeurige restitutie is het belangrijk om voldoende GCP's op te meten. De hoogste nauwkeurigheid zal bekomen worden in gebieden die omringd zijn door GCP's. Het is ook aangeraden om waar het kan dezelfde punten te gebruiken in naburige stereoparen (Goossens, 2007; Linder, 2009).

3.7.1 Principe van GPS-meting

Het Global Positioning System (GPS) is een positioneringssysteem waarmee aan de hand van satellieten en een GPS-ontvanger op het terrein de x-, y- en z-coördinaten van een locatie kunnen bepaald worden. Het GPS-systeem wordt ter beschikking gesteld door het Department of Defence van de Verenigde Staten, en is, mits men over de juiste apparatuur beschikt, overal ter wereld en op elk ogenblik vrij en voor iedereen beschikbaar. Het systeem bestaat uit een aantal GPS-satellieten die in een baan om de aarde wentelen. Deze satellieten zenden radiosignalen uit met informatie over hun positie en het tijdstip van uitzenden van het signaal. Deze positioneringsinformatie kan door GPS-ontvangers op aarde worden ontvangen. De afstanden tot elk van de bereikbare satellieten worden berekend door de tijd te meten die een signaal nodig heeft om vanuit de satelliet de ontvanger te bereiken. Wanneer men over de positie van, en de afstand tot minstens vier⁷ satellieten beschikt, dan kan hieruit de positie van de GPS-gebruiker op aarde ondubbelzinnig bepaald worden (Bao-Yen Tsui, 2000; De Wulf, 2007).

In het kader van eerdere survey-campagnes in het Altai-gebergte werden door de UGent een aantal verschillende GPS-apparaten voor positiebepaling uitgetest en werden de nauwkeurigheden en praktische karakteristieken ervan vergeleken. Er werd nagegaan welk systeem het best geschikt was voor archeologische doeleinden en kartering. De C-Nav bleek

⁷ De meetkundige plaats van alle punten die zich op een bepaalde afstand van een satelliet bevinden, wordt gedefinieerd door een bol met die satelliet als middelpunt en die afstand als straal. De locatie van een punt in een driedimensionale ruimte wordt ondubbelzinnig bepaald door de intersectie van drie sferen. De doorsnede hiervan levert twee punten, waarvan één kan worden verworpen omdat het zich ver boven het aardoppervlak bevindt. In praktijk moeten er steeds minstens vier afstanden bepaald worden, om te corrigeren voor de systematische klokfout die elke tijdsintervalberekening bevat, doordat de klok van de ontvanger niet gesynchroniseerd is met de atoomklokken van de satelliet (De Wulf, 2007).

een optimaal systeem voor het inmeten van de absolute coördinaten van GCP's (Goossens *et al.*, 2006).

Het C-Nav systeem werd ontworpen door C&C Technologies Inc.. Het is een differentieel GPS-systeem (DGPS)⁸. Het C-Nav systeem is gebaseerd op een combinatie van de Real Time GYPSY technologie, die werd ontwikkeld door het Jet Propulsion Laboratory van de NASA en het StarFire netwerk van NavCom Technology Inc.. Het systeem gebruikt een globaal netwerk van referentiestations die correctiefactoren voor satellietdata berekenen. Die correctie-informatie wordt wereldwijd in *realtime* via geostationaire communicatiesatellieten uitgezonden naar alle GPS-ontvangers die met StarFire zijn uitgerust. Deze ontvangen de correcties en passen ze toe op hun eigen observaties en afstandmetingen. Door NavCom Technology Inc. wordt hiervoor relatief goedkope, hoogwaardige en compacte dubbele frequentie GPS-ontvangstapparatuur geproduceerd. Zo wordt een betrouwbaar signaal verdeeld dat toelaat om wereldwijd positiemetingen uit te voeren met uitzonderlijk goede nauwkeurigheid: de fout bedraagt nog slechts ongeveer 10 cm (Roscoe-Hudson & Sharp, 2001; <http://www.cnavgnss.com/>, 27 maart 2012).

⁸ Dit wil zeggen dat met twee ontvangers wordt gewerkt, waarna de verschillen tussen beide posities worden berekend. Hierdoor kunnen gemeenschappelijke fouten worden gecorrigeerd, wat een enorme verbetering van de nauwkeurigheid oplevert (De Wulf, 2007).

4. FOTOMODELLERING

Recent zijn er een aantal nieuwe fotomodellerings technieken beschikbaar geworden. Deze maken intensief gebruik van de verwerkingscapaciteit van computers en hebben zich samen met steeds betere computerapparatuur snel ontwikkeld (Richards, 1998). De technieken en algoritmen zijn uiteenlopend, maar steunen eveneens op de principes van de fotogrammetrie. Het doel is ook hier de reconstructie van een opgenomen tafereel op een kleinere schaal. De eindproducten zijn eveneens 3D-modellen en orthofoto's.

4.1 Computer Vision

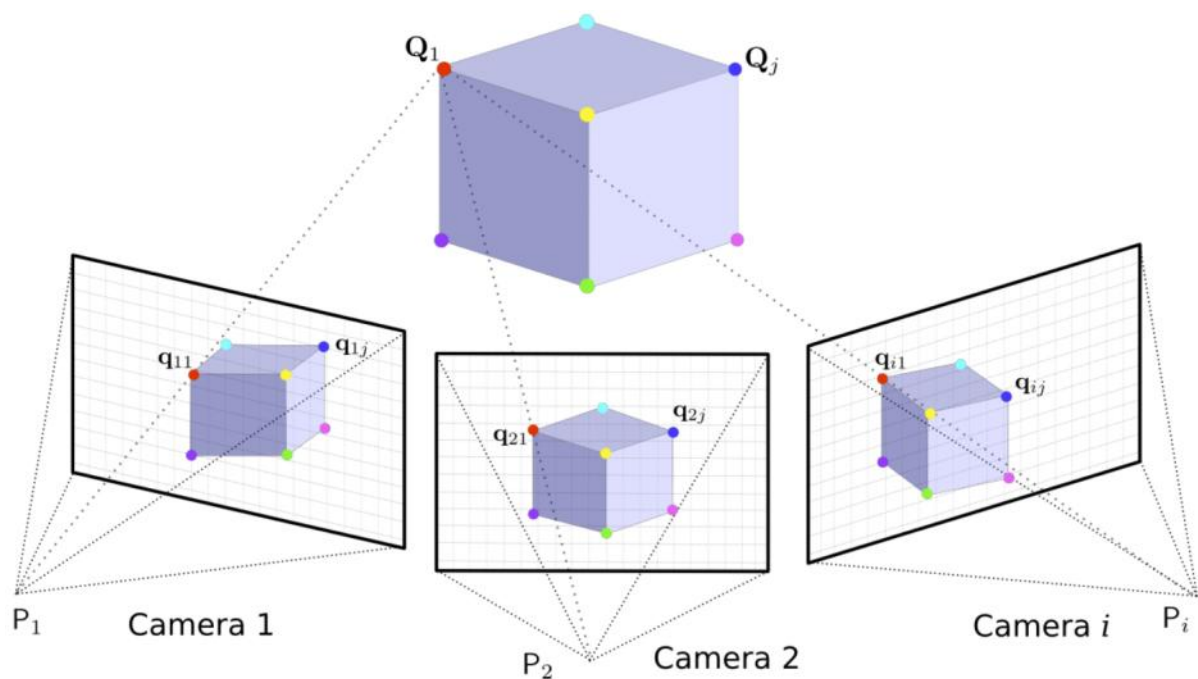
Één van de disciplines die zich bezighoudt met 3D-modellering is de *computer vision*. Dit was één van de eerste toepassingen van de artificiële intelligentie⁹. In *computer vision* gebruikt de computer beelden van een tafereel of object om handelingen uit te voeren die normaal door de mens zouden gedaan worden, zoals objectherkenning of navigatie doorheen het tafereel (Mikhail *et al.*, 2001). *Computer vision* heeft nauwe banden met de fotogrammetrie en wordt omschreven als de wetenschap die mathematische technieken ontwikkelt om ruimtelijke en structurele informatie, zoals de driedimensionale vorm en uitzicht van objecten, uit beelden te reconstrueren (Szeliski, 2010). Vanuit de *computer vision* ontwikkelden zich innovatieve algoritmen en technieken voor de extractie van 3D informatie uit foto's op een simpele en flexibele manier. Pakketten zoals PhotoScan bieden de laatste jaren een alternatief voor de standaard fotogrammetrische workflow, die veelal niet door archeologen wordt gebruikt bij gebrek aan expertise en apparatuur (Doneus *et al.*, 2011).

4.1.1 Structure from Motion

Nieuwe softwarepakketten, waaronder ook PhotoScan (zie 6.3), gebruiken het *Structure from Motion* (SfM) algoritme. Zoals de naam aangeeft laat dit algoritme toe de relaties tussen verschillende beelden te berekenen en hieruit zowel de structuur van het tafereel als de

⁹ Artificiële intelligentie verwijst naar het vermogen van een computer om taken uit te voeren die normaal door mensen worden uitgevoerd (Mikhail *et al.*, 2001).

bewegingen van de camera op te vragen (Pollefeys *et al.*, 2004). Wanneer men zich doorheen een omgeving beweegt, verkrijgt men visueel een goede inschatting van de richting van deze beweging en van de structuur van de omgeving. De inschatting van bewegingen en structuren gebeurt in feite simultaan. Het SfM-algoritme schenkt machines en computers dezelfde inschattingcapaciteiten (Pollefeys & Van Gool, 2002). De techniek werd ontwikkeld binnen de *computer vision*, maar wordt thans in een grote verscheidenheid aan toepassingen gebruikt (Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven *et al.*, 2012a).



Figuur 12: Structure from Motion

Bron: Plets *et al.*, 2012b

SfM laat toe aan de hand van een reeks overlappende tweedimensionale beelden van een tafereel, genomen met een camera die om het tafereel heen beweegt, de opnameposities en bewegingen van de camera en de driedimensionale geometrie van het tafereel te achterhalen (Szeliski, 2010). Dit gebeurt door op elk beeld een aantal overeenkomstige beeldkenmerken (geometrische gelijkenissen zoals objectranden of andere specifieke details) op te sporen en vervolgens de positie en dus de beweging van deze punten doorheen de fotoreeks te volgen (zie figuur 12). Dit levert een reeks potentiële overeenkomsten waarmee de locaties van deze herkenningspunten berekend kunnen worden. Ook de positie en oriëntatie van de camera op het moment van opname wordt op deze manier achterhaald (Ullman, 1979). Een beeldpunt dat op twee foto's voorkomt kan namelijk alleen in 3D gereconstrueerd worden als de

geometrie van de projectie gekend is. Deze omvat de interne calibratieparameters van de camera (focale lengte, locatie van het principaal punt en lensdistortiecoëfficiënten) en de cameraposities (locatie van het projectiecentrum en de beeldoriëntatie gedefinieerd door de zes externe oriëntatieparameters) op het moment van de opname. Deze kenmerken worden aan de hand van de SfM algoritmen bekomen (Robertson & Cipolla, 2009; Szeliski, 2010; Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven *et al.*, 2012a, 2012b).

5. DATA-ACQUISITIE

De eerste stap in het praktische onderzoek omvat het terreinwerk. Dit werd uitgevoerd tijdens een archeologische expeditie naar de Yustyd-vallei in juli 2011. Het doel van de expeditie was de opgraving van twee naast elkaar gelegen *dwellings*, KA-771-016 en KA-771-006 (zie figuur 6). Beide sites werden tweemaal opgenomen, namelijk gemeten en gefotografeerd, een eerste keer voordat de opgraving begon en een tweede keer nadat de bovenste bodemlaag verwijderd was. Na het verwijderen van de grasmat en bovenste bodemlaag kwamen nieuwe stenen aan de oppervlakte. De sites werden nog duidelijker zichtbaar. Alleen de gegevens met betrekking tot de tweede opname van de sites werden uiteindelijk fotogrammetrisch verwerkt, omdat de archeologische structuren voorafgaand aan de opgravingen nog niet volledig zichtbaar waren.

De expeditie werd grondig voorbereid en gepland, aangezien men niet zomaar kon teruggaan indien zou blijken dat gegevens ontbraken of onnauwkeurig werden ingemeten. Er werd rekening gehouden met de nodige specificaties voor een goed eindproduct en met de specifieke omstandigheden van het terrein en het beschikbare materiaal. De opnamemethode werd daarom voorafgaand aan de expeditie uitgetest. Dit liet toe na te gaan of al het nodige materiaal aanwezig was en of de opnametechniek technisch haalbaar zou zijn. Er werd bijvoorbeeld getest hoeveel stereoparen er ongeveer van elke opgraving zouden moeten genomen worden om volledige bedekking en voldoende overlap tussen de beelden te verzekeren. Er werd ook nagegaan met welke camera-instellingen best gewerkt zou worden, om voldoende bedekking en ruimtelijke resolutie te garanderen.

Deze test liet ook toe in te schatten hoeveel tijd er zou moeten voorzien worden voor het nemen van de foto's en het inmeten van coördinaten.

5.1 Fotografische opname

Allereerst moest de site op de juiste manier gefotografeerd worden. De site werd denkbeeldig ingedeeld in stereokoppels, met elk voldoende overlap. Op basis hiervan werd berekend hoeveel foto's er getrokken moesten worden en van waaruit deze best genomen werden.

Vooraf werd ook besloten met welke toestelinstellingen er zou worden gefotografeerd. In dit onderzoek werd gewerkt met een Canon Eos 5D fotoestel. Dit is een niet-metrische camera. De foto's werden getrokken met een lens van 20 mm. Hoe breder de lenshoek, hoe groter de beeldverplaatsing te wijten aan het centrale perspectief en hoe lager de ruimtelijke resolutie. Daar de afstanden tussen de camera en de site relatief klein waren, was een bredere lenshoek vereist, om een voldoende groot gezichtsveld te bekomen. De sluitertijd bedroeg 1/500 en het diafragma 11. Hoe korter de sluitertijd, hoe scherper het beeld zal zijn. Hierdoor komt minder licht binnen op de lens, waardoor een groter diafragma nodig is. Hoe groter het diafragma echter, hoe groter de randvervormingen op het beeld. Voor terrestrische opnames heeft het statief meestal een grotere stabiliteit, wat ervoor zorgt dat met een langere belichtingstijd en een kleiner diafragma kan gewerkt worden, hetgeen een resultaat levert met minder vervormingen en minder ruis (Goossens, 2007). In dit onderzoek was het statief echter weinig stabiel, waardoor andere instellingen nodig waren. De keuze van de optimale camera-instellingen is steeds een afweging tussen verschillende factoren.

Het fotoestel werd gemonteerd aan het uiteinde van een ongeveer vijf meter lange staaf en verbonden met een *rugged* computer voor bediening. Het statief bestond uit vijf aaneengesloten onderdelen van elk een meter lang, een pin en een koppelstuk voor de camera. Dit bracht het totaal op ongeveer 5,25 meter, maar aangezien het statief iets schuin werd gehouden was de eigenlijke opnamehoogte iets lager. Het geheel werd zodanig omhoog gehouden dat het fotoestel zo verticaal mogelijk bleef (zie figuur 13). Door zijn gewicht en doordat er steeds een sterke wind stond, was het statief moeilijk recht en stil te houden. Het vormde dus een weinig stabiel platform. Er werd getracht de camera voor elke foto op ongeveer dezelfde hoogte en hoek te houden. Omdat deze methode van foto-opname vooraf werd uitgetest, kon de uitvoering op het terrein vlot verlopen. De beide onderzochte sites zijn goed bereikbaar. Men kan er volledig omheen lopen, wat de foto-opnames vergemakkelijkte.



Figuur 13: Fotografische opname

Bron: UGent: Vakgroep Aarcheologie. Foto's: Birger Stichelbaut, juli 2011

Optimale condities voor het nemen van de foto's kwamen voor wanneer er geen neerslag was maar wel bewolking om harde slagschaduw te vermijden. Tijdens het veldwerk voor dit onderzoek was het echter zeer mooi weer. Daar de opgraving moest verdergaan kon niet steeds gewacht worden tot de weersomstandigheden veranderden. Daarom moesten sommige foto's noodzakelijkerwijs getrokken worden onder felle zon, wat resulteert in schaduwen op de foto. Ook de schaduw van het statief en van de persoon die hem droeg staan soms op de foto afgebeeld. Dit kon moeilijkheden veroorzaken bij de verdere verwerking en was ook visueel storend.

Van elke site werden een dertigtal foto's genomen, wat ruim voldoende was voor een gebiedsdekkende weergave.

5.2 Topografische opname

Het was nodig om van een aantal punten de coördinaten te kennen, zodat deze tijdens de verwerking aan de foto's konden gekoppeld worden opdat voor elk punt de correcte coördinaten zouden bekomen worden. Hiervoor moesten een aantal grondcontrolepunten ingemeten worden die ook op de foto's goed zichtbaar zijn. Er werden in totaal dertig GCP's per site ingemeten, wat meer is dan het vereiste minimumaantal. Dit werd gedaan om een

hogere nauwkeurigheid te verzekeren. Bovendien zouden sommige punten tijdens de verwerking niet bruikbaar blijken te zijn omdat ze een te grote fout vertoonden of niet op beide foto's goed zichtbaar waren. Bij de opmeting van een afgelegen site zoals deze in Yustyd is het belangrijk grondig te werk te gaan, omdat men niet zomaar kan teruggaan om ontbrekende informatie aan te vullen of nieuwe opnames te maken.

Vooraleer de foto's genomen werden, werden in het loopvlak van elke site dertig gesignaliseerde grondcontrolepunten geplaatst. Deze bestonden uit een sticker die bovenop een nagel werd vastgemaakt en waarop in het midden een zwart-wit kruis stond. De nagels werden op verschillende dieptes in de grond geslagen om een variatie aan hoogtes te bekomen. Deze gesignaliseerde GCP's konden nauwkeuriger ingemeten worden dan natuurlijke punten en zijn ook beter op de foto's zichtbaar. Elk punt kreeg een nummer (van 1001 tot 1030 voor KA-771-016 en van 2001 tot 2030 voor KA-771-006), dat op de stickers werd geschreven. De ligging van de punten doorheen de site en hun nummering werd voor de meting snel geschetst. Deze schetsen dienden later als hulpmiddel bij de verwerking (zie 6.2.4).



Figuur 14: GCP's en hun spreiding doorheen de site

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie, juli 2011

5.2.1 Totaalstation

De punten werden ingemeten met een Pentax ATS-105 totaalstation, dat meet naar een prisma dat zo loodrecht mogelijk op de nagels wordt gehouden (zie figuur 15). De meetnauwkeurigheid van het gebruikte totaalstation bedraagt $\pm 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$. De

coördinaten werden ingemeten in een lokaal referentiesysteem, waarvan een aantal punten gematerialiseerd werden met houten pinnen en ook werden ingemeten. De houten staafjes werden diep en stevig in de grond geslagen aan de hoeken rondom en tussen de twee sites in en bleven daar gedurende de volledige expeditie staan. De oorsprong van het lokaal stelsel lag tussen de twee sites in. Ook met het totaalstation en prisma waren de sites goed bereikbaar. Ze lagen echter op een helling, waardoor de loodrechte opstelling van het toestel soms moeizaam verliep. De punten werden in doorslag gemeten¹⁰, wat de nauwkeurigheid verhoogt.



Figuur 15: Topografische opname: totaalstation en C-Nav

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie, juli 2011

5.2.2 C-NAV

De gematerialiseerde houten punten, waaronder het oorsprongspunt van het lokale grid, werden ook ingemeten met een C-Nav GPS-toestel. Dit toestel meet coördinaten op in het absoluut wereldreferentiesysteem WGS84. Het C-Nav toestel moest eerst voldoende tijd krijgen om te initialiseren. Tijdens deze initialisatie werden steeds accuratere positie-inschattingen verkregen. Na ongeveer twintig minuten daalde de altimetrische nauwkeurigheid onder 1 m, wat voldoende was om met de metingen te starten. Tabel 1 geeft

¹⁰ Meting in doorslag, of de techniek van de dubbele omkering, laat toe de fout te elimineren die resulteert uit het niet loodrecht staan van de secundaire as van het totaalstation ten opzichte van de primaire as. De techniek bestaat erin de kijker van het toestel na een eerste meting te draaien over 200 gon – 2 z (waarin z de zenitale afstand is) rond de secundaire as en vervolgens de alhidade (het bovenste gedeelte van het toestel, dat de topografische kijker bevat) over 200 gon te draaien rond de primaire as. Hierna wordt opnieuw op het punt gemikt en wordt het een tweede maal ingemeten. Door het gemiddelde van beide metingen als resultaat te nemen wordt de fout geëlimineerd (Muls & De Wulf, 2008).

de met C-Nav ingemeten puntcoördinaten. R2 is het oorsprongspunt van het lokale grid. Na de GPS-meting waren zowel de lokale als de absolute coördinaten van de gemeten punten gekend en konden deze aan elkaar gekoppeld worden. Deze werkwijze liet toe om elk punt in het lokale grid in het absolute referentiesysteem te plaatsen.

Tabel 1: GPS-punten, ingemeten met C-Nav

Punt nr	Easting (m)	Northing (m)	Punthoogte (m)
R1	666911,160	5517618,050	2148,841
R2	666905,410	5517609,940	2149,052
R3	666902,370	5517580,060	2148,521
R4	666925,010	5517608,900	2148,838
R5	666887,670	5517613,710	2148,528

Bron: Eigen verwerking

6. DATAVERWERKING

Dit hoofdstuk bespreekt de verwerking van de data die verzameld werden tijdens de expeditie. Uit de overvloed aan foto's werden de meest geschikte stereoparen geselecteerd voor verwerking. KA-771-016 werd verwerkt aan de hand van vier stereokoppels. KA-771-006 vergde zes koppels om een gebiedsdekkend eindproduct te bekomen.

6.1 Octopus

Vooraleer de met het totaalstation opgemeten coördinaten konden gebruikt worden voor de fotogrammetrische restitutie, moesten ze eerst een transformatie ondergaan. De coördinaten werden opgemeten in een lokaal grid. Enkele punten werden echter ook met het C-Nav GPS-toestel ingemeten, zodat hiervan ook de WGS84-coördinaten gekend zijn. Aan de hand hiervan werden alle andere punten omgezet van het lokaal stelsel naar dit absolute coördinaatsysteem. Voor deze verwerking werd het topografisch rekenpakket Octopus Topo gebruikt, dat ontwikkeld werd door ITnG bvba. Dit programma berekent automatisch in welke kijkerstand er werd gemeten. Voor punten die meerdere malen werden opgemeten, zoals bij doorslagmetingen het geval is, berekent het programma het gemiddelde en controleert de afwijkingen ten opzichte hiervan. Octopus transformeerde alle punten naar absolute coördinaten (<http://www.itng.be/>, 14 februari 2012) en berekende de nauwkeurigheid van elke omrekening. Als output leverde Octopus voor elke site een bestand waarin alle punten met hun puntnummer en hun WGS84-coördinaten in x, y en z staan opgetekend. Er werd ook een .dxf-bestand geëxporteerd. Wanneer dit bestand in AutoCAD geopend wordt, kunnen de punten gevisualiseerd worden. Zo kon worden nagegaan of ze relatief ten opzichte van elkaar in de juiste positie lagen. Dit werd gedaan ter controle van de coördinaten. Nadat alle coördinaten op bovenstaande manier waren getransformeerd naar het absoluut coördinatenstelsel, konden zij gebruikt worden in het fotogrammetrisch proces. Het bestand met de coördinaten van KA-771-016 heet 110713D1, het bestand met de coördinaten van KA-771-006 heet 110716D2. Deze namen verwijzen naar de datum van opname. De punten en hun coördinaten vindt men in bijlage 2.

6.2 VirtuoZo

VirtuoZo NT 3.3.0 is een geavanceerd fotogrammetrisch softwarepakket, ontwikkeld door het Chinese bedrijf Supresoft Inc, voor de verwerking van stereokoppels tot DEM's, orthofoto's en contourkaarten. De foto's worden telkens per stereokoppel verwerkt. De processen in VirtuoZo zijn grotendeels geautomatiseerd. De automatische herkenning van homologe punten bij bijvoorbeeld de relatieve oriëntatie is zeer tijdbesparend. Goossens en Devriendt (2007) omschrijven deze puntherkenning als 'geassisteerd automatisch', waarmee wordt bedoeld dat de resultaten die door de computer worden gegenereerd, toch best nog visueel door de gebruiker worden gecontroleerd. De absolute oriëntatie moet nog volledig manueel worden uitgevoerd. Voor de verwerking van elk stereokoppel uit dit onderzoek werd dus een semi-automatisch fotogrammetrisch proces doorlopen. De opeenvolgende stappen van dit proces worden in de volgende paragrafen beschreven. Deze omvatten het importeren en aanmaken van enkele basisbestanden, de interne, relatieve en absolute oriëntaties, de epipolaire *resampling*, de *image matching* en tenslotte het aanmaken van de eindproducten.

6.2.1 Importeren en aanmaken van enkele basisbestanden

Voor het verwerkingsproces begon, werd voor het stereokoppel een *block* en een *model* aangemaakt. Hierin werden enkele parameters ingesteld en werd aangeduid welke foto's en welke *Pass Points file* door de software moest worden gebruikt. Deze *Pass Points file* bevat de coördinaten van de GCP's die berekend werden in Octopus. De foto's moesten eerst via VirtuoZo van het .tiff-formaat naar het .vz-formaat worden omgezet, zodat ze in VirtuoZo konden worden gebruikt. De naamgeving van de stereokoppels gebeurde naar analogie met de naamgeving van de coördinaatbestanden.

Één van de parameters die bij het aanmaken van een *block* wordt ingesteld, is de *Orthoimage Ground Spacing Distance* (GSD). Deze is gerelateerd aan de pixelgrootte. Ze bepaalt mee de resolutie¹¹ van de uiteindelijke orthofoto. In dit onderzoek werd ze ingesteld op 0,035 cm¹².

¹¹ De resolutie is een maat voor het vermogen van een systeem om twee aanliggende objecten van elkaar te onderscheiden (Atkinson, 2001).

Dit houdt in dat om de 0,035 cm een punt voor de orthofoto werd berekend. In feite wordt de resolutie van een digitaal beeld mee bepaald door externe factoren zoals atmosferische condities en bewegingen van het platform, waardoor de resolutie in de praktijk vaak iets lager ligt dan door de GSD wordt aangegeven (Mikhail *et al.*, 2001). Volgens Aber *et al.* (2010) is voor een duidelijke identificatie en herkenning van terreinobjecten op een beeld, een GSD vereist die ongeveer 3 tot 5 maal kleiner is dan de objectgrootte. De DEM *spacing* werd voor dit onderzoek ingesteld op 1 cm, dit wil zeggen dat om de cm een punt voor het DEM werd berekend. De keuze van DEM *spacing* en GSD was een afweging tussen een zo hoog mogelijke resolutie van de eindproducten en de grootte en handelbaarheid van de dataset. Ook de schaalfactor van de foto's werd berekend en ingesteld op 250¹³. De beeldoverlapping werd eveneens ingeschat en werd bij de *model setup* ingesteld op 80%.

6.2.2 Interne oriëntatie

De foto's werden getrokken met een niet-metrische camera, en zijn dus zelf ook niet-metrisch. Er kon dus geen interne oriëntatie plaatsvinden daat dat alleen mogelijk is wanneer de foto's genomen zijn met een metrische camera (Goossens & Devriendt, 2007).

6.2.3 Relatieve oriëntatie

De relatieve oriëntatie verloopt in VirtuoZo in principe volledig automatisch. Met behulp van de *automatic* functie, wordt gezocht naar homologe punten op beide foto's. Dit proces heet *image matching*; de correlaties tussen grijswaarden (*area based matching*) of vormkenmerken (*feature based matching*) van de twee beelden worden berekend (Atkinson, 2001; Goossens & Devriendt, 2007). Het aantal punten dat door VirtuoZo automatisch wordt gegenereerd varieert per stereokoppel. Normaal streeft men naar een aantal tussen de 60 en 200 punten (Goossens & Devriendt, 2007). De gebruiker kan ook zelf punten bijvoegen. Indien de software te weinig punten vindt, kan men eerst manueel een aantal overeenkomstige, duidelijk

¹² De grootte van de originele beelden bedraagt 4368 x 2912 pixels. De breedte en hoogte van de beelden bedragen respectievelijk 147,93 cm en 98,63 cm. Dit komt neer op ongeveer 29,53 pixels per cm. De pixelgrootte bedraagt dan ongeveer 0,035 cm.

¹³ Zie 3.3: Schaalfactor = SF = H / f = 5000 mm / 20 mm = 250. De schaal bedraagt 1 / 250.

herkenbare punten op de foto's aanduiden. Als men hierna de *automatic* functie nogmaals probeert, levert deze soms een groter aantal punten, omdat de functie kan uitgaan van de zelf aangeduide punten. Het *match*-proces verloopt in feite niet volledig automatisch, omdat men steeds de punten moet nakijken. De correlatiemethode leidt namelijk niet altijd tot een ondubbelzinnige oplossing en soms worden punten fout *gematcht* (Goossens en Devriendt, 2007).

In dit onderzoek verliep de relatieve oriëntatie soms moeizaam. Schaduwen op de beelden van KA-771-016 en de homogeniteit van het terrein, dat voornamelijk uit gras en zand bestaat, zorgden ervoor dat de *automatic* functie soms maar heel weinig punten genereerde. Voor veel van de stereokoppels uit deze studie moest het merendeel van de punten dus manueel aangeduid worden. Er werden steeds ongeveer 200 of meer punten aangeduid. Ter controle werden de punten één voor één nagekeken. Slecht overeenkomende punten en punten die niet binnen het af te beelden object gelegen zijn, werden verwijderd. Er werden eveneens residuwaarden berekend voor de beeld-*matching*. Hiermee kon de kwaliteit van de berekening worden nagegaan.

Na de punt-*matching* werd door VirtuoZo de grootte van de rotatieparameters rond de opname-as berekend, zodat hiervoor gecorrigeerd kon worden.

6.2.4 Absolute oriëntatie

Tijdens de absolute oriëntatie werden de grondcontrolepunten met gekende terreincoördinaten zo nauwkeurig mogelijk op beide beelden aangeduid. VirtuoZo heeft minstens zes GCP's nodig om de absolute oriëntatie te kunnen uitvoeren. In dit geval waren er steeds meer punten in het overlappende fotobeeld aanwezig en werden deze allemaal aangeduid. Hoe meer punten, hoe nauwkeuriger de absolute oriëntatie kan worden berekend en hoe beter de uitkomst. De absolute GCP's werden ingevoerd door de overeenkomstige posities aan te duiden op dezelfde wijze als de homologe punten werden aangeduid in de relatieve oriëntatie. Daarna werd aan het punt dezelfde naam gegeven als het overeenkomstige GCP, zoals die ook in het coördinaatbestand stond opgetekend. Op deze manier werden de punten gekoppeld aan de coördinaten met dezelfde puntnaam in de *Pass Points file*. De correcte ligging en benaming van de punten op de beelden kon aan de hand van de terrein schetsen worden

nagegaan. Deze vormden een belangrijk hulpmiddel, daar de nummering van de punten op de foto's niet overal even goed zichtbaar was.

De absolute oriëntatie verloopt volledig manueel. Er bestaat tot nu toe nog geen algoritme om dit proces te automatiseren. Na de aanduiding van zes punten verschenen er blauwe cirkeltjes op het scherm, op de plaatsen waarvan VirtuoZo voorspelde dat de overige GCP's gelegen zouden moeten zijn. In dit onderzoek was deze benadering meestal correct, wat een extra controle bood dat de oriëntatie juist verliep. De juistheid van de voorspelling hangt immers af van de nauwkeurigheid van de aangeduide GCP's.

In de *stereo mode* werden de punten nagekeken. Ze kunnen hier gezien worden in driedimensionaal zicht, door het opzetten van een 3D-bril. Op deze manier kan de gebruiker nakijken of de punten een juiste 3D-visie genereren en niet 'zweven' boven het oppervlak.

De nauwkeurigheid van de absolute oriëntatie wordt weergegeven door de *Root Mean Square Error* (RMSE) tussen de GCP's op de foto's en de werkelijkheid zoals ingemeten op het terrein. Voor elk punt en voor het totale model werden de fouten op de x-, y- en z-coördinaten nagekeken. Aangezien er werd gewerkt met een overvloed aan punten, kon het model zo goed mogelijk verbeterd worden. Door het verwijderen van sommige, foutieve punten, konden de fouten verminderen. Een kleine fout is echter geen garantie voor een goed eindproduct. De keuze en combinatie van de GCP's is even belangrijk. Een optimaal model wordt niet altijd bekomen door de punten met de grootste fout te verwijderen. Er moet rekening worden gehouden met de effecten van de punten op de totale fout. Punten kunnen worden verwijderd en terug toegevoegd om een resultaat te bekomen met een zo klein mogelijke totale fout. Zo werd voor alle stereokoppels van KA-771-006 bijvoorbeeld steeds punt 2017 verwijderd. Het stickertje van dit punt was van de nagel afgewaaid, en aanduiden van de bovenkant van de nagel als GCP leverde steeds een significante fout. Er werd getracht de fout in x, y, xy en z¹⁴ met zoveel mogelijk GCP's zo klein mogelijk te houden. Dit gebeurde door na te gaan welke van de GCP's de totale fout op het model het meest vergrootten en deze te verwijderen. Er werd voor elk stereokoppel getracht de fout op z kleiner te houden dan 1 cm en de fouten op x en y kleiner dan 0,5 cm (zie tabel 2). Er werden steeds meer dan zes punten behouden.

¹⁴ De fout op z is de altimetrische fout. De fouten op x en y zijn de planimetrische fouten, respectievelijk in de x- en y-richting. De fout op xy is de totale planimetrische fout.

Tabel 2: Nauwkeurigheden van de absolute oriëntatie

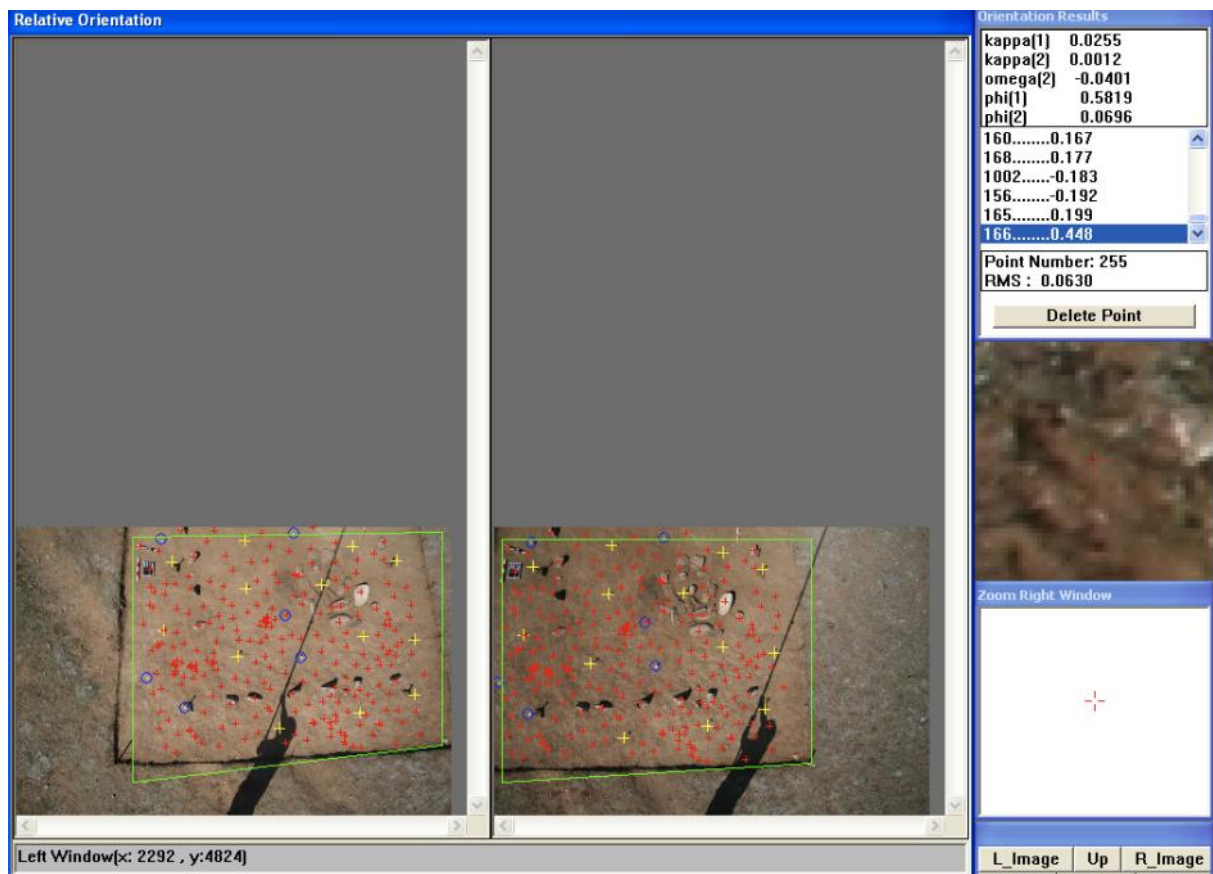
Stereokoppel	Aantal punten	dX (mm)	dY (mm)	dX/Y (mm)	dZ (mm)
110713D1koppel1	15	1,92984	6,43927	6,72224	9,92725
110713D1koppel2	19	4,44116	5,30787	6,92079	9,84790
110713D1koppel3	15	2,25069	5,04555	5,52478	9,75443
110713D1koppel4	13	3,26025	4,01768	5,17407	9,39162
110716D2koppel1	13	2,65489	5,73368	6,31851	9,38904
110716D2koppel2	13	3,39937	4,19014	5,39564	8,49207
110716D2koppel3	10	5,73378	5,58838	8,00664	8,97337
110716D2koppel4	9	2,64951	3,95701	4,76213	9,87797
110716D2koppel5	10	4,43958	3,30788	5,53642	5,27890
110716D2koppel6	12	3,40667	2,61361	4,29376	9,08110

Bron: Eigen onderzoek

De basisregel luidt dat de fout kleiner moet zijn dan de helft van de *Ground Spacing Distance* (Goossens, 2006, 2007). In deze studie kon dit echter niet gerealiseerd worden. De fout is steeds groter dan de GSD. Hoewel dit theoretisch niet correct is, was het in dit geval geoorloofd om volgende redenen. Ten eerste is de resolutie op de originele beelden veel kleiner dan de fout. De beelden hebben een fijne resolutie en het zou zonde zijn om hier in de orthofoto geen gebruik van te maken, aangezien het de kwaliteit en de duidelijkheid van de visualisatie ten goede komt. Ten tweede zit er ook een relatief grote fout op de coördinaatmetingen zelf. Het bleek immers zeer moeilijk om een nauwkeurige meting uit te voeren wanneer het prisma recht gehouden moest worden op een dun nageltje en in het midden van een sticker. Ook de exacte aanduiding van de GCP's werd door het gebruik van dunne nageltjes bemoeilijkt.

De homologe punten uit de relatieve oriëntatie worden in VirtuoZo aangeduid door kleine rode kruisjes op de overeenkomstige plaatsen op de beelden. De absolute grondcontrolepunten worden aangeduid door grote gele kruisjes. Door het programma

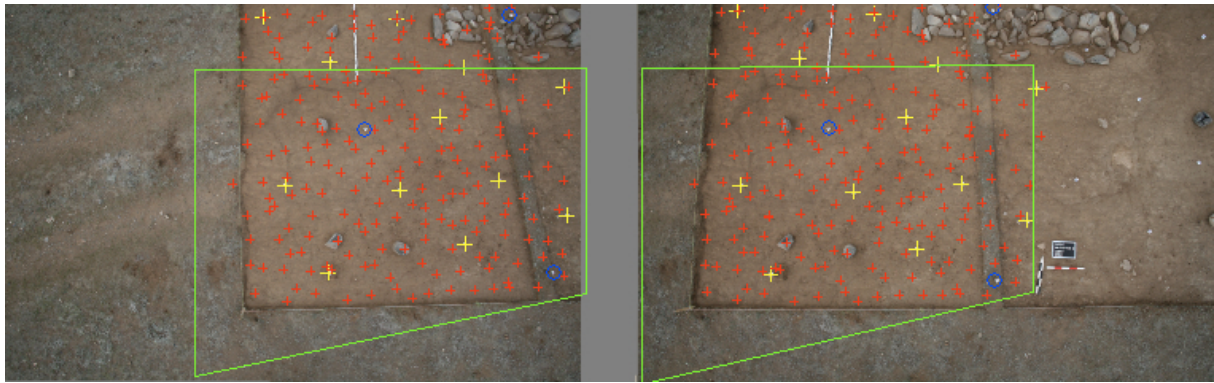
voorspelde posities voor GCP's die (nog) niet waren aangeduid worden omringd door een blauw cirkeltje, zoals te zien is in figuur 16.



Figuur 16: Voorbeeld van de relatieve (rode kruisjes) en absolute (gele kruisjes) oriëntatie in VirtuoZo

Bron: Eigen verwerking

Vervolgens werd de restitutiezone aangeduid. Deze omvat het deel van de foto's waarvan een eindproduct zal worden gegenereerd en dat verder verwerkt zal worden. Met de functie *define area* werd een kader omheen het gewenste deel van de foto's getrokken. Het kader werd zo getrokken dat het zo goed mogelijk rond de gewenste zone paste, en zo weinig mogelijk overtollige achtergrondinformatie bevatte. Vegetatie en lucht bijvoorbeeld zijn irrelevant en kunnen het beeld verstoren. Het kader, dat in feite rechthoekig zou moeten zijn, werd soms in lichte of sterkere mate scheef getrokken ten gevolge van fouten bij de oriëntatie. Deze fouten veroorzaakten een schaalverloop tussen de uiteinden van de foto's, die het kader aanzienlijk kunnen uittrekken. Dit was bijvoorbeeld het geval wanneer de foto's te schuin ten opzichte van elkaar waren genomen, zoals te zien is in figuur 17. Het kader wordt in het groen voorgesteld.



Figuur 17: Scheeftrekken van de restitutiezone (groen omkaderd)

Bron: Eigen verwerking

De tot hiertoe doorlopen stappen zijn vergelijkbaar met deze van het klassieke fotogrammetrische proces, zij het in een geautomatiseerde versie. De volgende processen, *epipolaire resampling* en *image matching*, zijn typerend voor de digitale fotogrammetrie (Goossens & Devriendt, 2007). Ze verlopen volledig automatisch en werden samen aangeduid in een *batch*. Zo werden alle verwerkingen achtereenvolgens uitgevoerd, zonder dat steeds elk volgend proces moest worden opgestart.

6.2.5 Epipolaire resampling

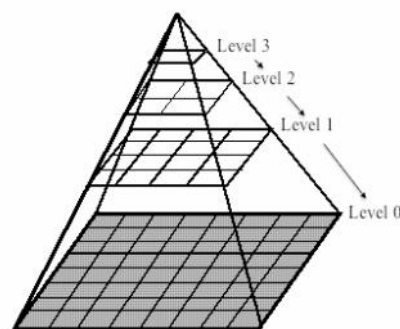
Tijdens de *epipolaire resampling* wordt de *y*-parallax uit de foto's verwijderd. Dit gebeurt door beeldnormalisatie. Zo worden epipolaire beelden bekomen, afbeeldingen waarin alleen de hoogtecomponent (= *x*-parallax) onopgelost blijft (Mikhail *et al.*, 2001; Goossens & Devriendt, 2007).

6.2.6 Image matching

Tijdens deze stap wordt de *x*-parallax berekend en gecorrigeerd. De *x*-parallax geeft de hoogte weer boven een referentieniveau of datum en kan voor elk punt in het stereomodel berekend worden.

Voor de generatie van een DEM heeft men de locatie en hoogte nodig van een groot aantal homologe punten op de foto's. Deze worden bekomen door *image matching*. De locatie van

deze punten werd reeds bekomen tijdens de relatieve oriëntatie en de normalisatie. Tijdens de *image matching* worden nu hoogtewaarden aan de punten uit de epipolaire beelden toegekend. Dit gebeurt volgens hetzelfde algoritme dat eerder bij de relatieve oriëntatie werd gebruikt (zie 6.2.3). Er wordt gezocht naar overeenkomsten tussen de beide foto's. Het proces steunt op het principe van de beeldpiramide. De *matching* wordt doorlopen op vier resolutieniveaus. Eerst wordt *geresampled* en *gematched* op een grove resolutie. Elk niveau wordt deze verfijnd om tot steeds betere benaderingen te komen (Goossens & Devriendt, 2007).



Figuur 18: Principe van hiërarchische *image matching*

Bron: naar Goossens en Devriendt, 2007

De procedure verliep volledig automatisch. Er was dus geen mogelijkheid voor de gebruiker om in dit proces in te grijpen en verbeteringen aan te brengen. Dit wil zeggen dat de mogelijkheid bestaat dat er veel fouten optreden. Een gebruiker kan immers nog steeds nauwkeuriger manueel tekens positioneren dan eender welk algoritme. Het is daarom nodig dat het algoritme aanzienlijk meer punten berekent dan een gebruiker zou doen, zodat fouten kunnen worden opgespoord. Dit kan alleen door met grote overvloedigheid te werken. Deze vele berekende punten, of *pegs*, zijn homologe punten die als basis zullen dienen voor de generatie van een DEM (Goossens & Devriendt, 2007).

Door eerst de beeldnormalisatie uit te voeren kan het *matching*-proces efficiënter en vlotter verlopen. Kent men immers voor een gegeven punt op een beeld de epipolaire lijn¹⁵, dan staat

¹⁵ De afstand tussen het projectiecentrum en een object wordt op het linkerbeeld van een stereopaar als een punt gezien, omdat het overeenstemt met het projectiecentrum van de camera. Op het rechterbeeld van het stereopaar wordt die afstand echter gezien als een lijn in het beeldvlak. Deze lijn heet een epipolaire lijn. Op dezelfde

vast dat het corresponderende punt van het ander beeld op de corresponderende epipolaire lijn zal liggen. De *matching* wordt herleid tot een ééndimensionaal probleem waarbij langs epipolaire lijnen *gematcht* wordt, in plaats van een tweedimensionale zoektocht doorheen het volledige beeld (Mikhail *et al.*, 2001; Goossens & Devriendt, 2007).

In het foutenrapport kan men de kwaliteit van de *image matching* nagaan. Per niveau wordt hierin aangegeven hoeveel procent van de beelden *gematched* kon worden. Voor dit onderzoek staan de percentages weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Beeld-*matching* op het fijnste niveau

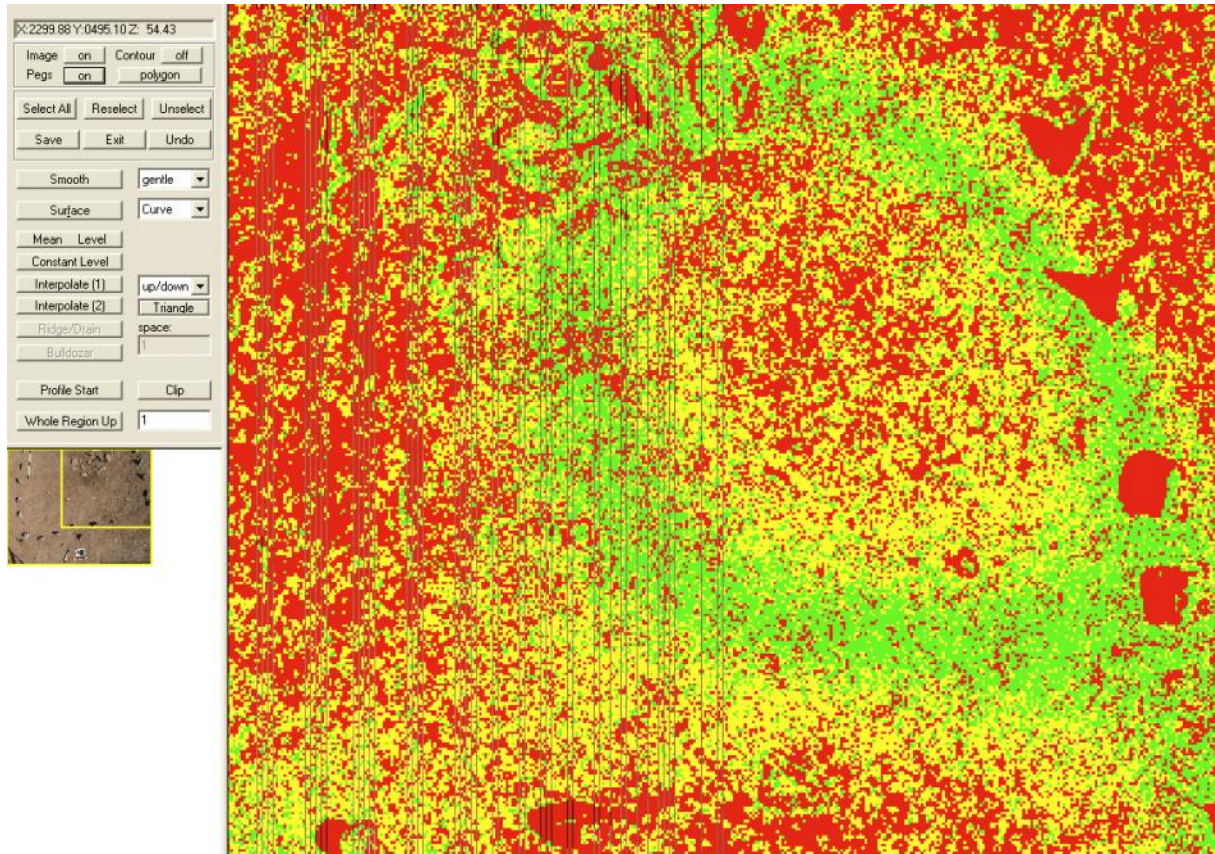
Stereokoppel	Beeldmatching (%)
110713D1koppel1	64,7
110713D1koppel2	58,6
110713D1koppel3	69,3
110713D1koppel4	51,6
110716D2koppel1	56,9
110716D2koppel2	49,1
110716D2koppel3	69,1
110716D2koppel4	58,2
110716D2koppel5	68,5
110716D2koppel6	55,9

Bron: Eigen onderzoek

In de *match edit* kunnen de *pegs* gevisualiseerd worden. Rode *pegs* wijzen op een slechte beeld-*matching*, groene op een goede. Figuur 19 geeft een voorbeeld van punt-*matching* voorgesteld door *pegs*. Het is duidelijk dat er meer goede *matching* optrad in de zone rondom

manier wordt een punt op het rechterbeeld gezien als een lijn op het linkerbeeld. Een epipolaire lijn is dus een lijn met gemeenschappelijke punten. Epipolaire lijnen kunnen bepaald worden na de relatieve oriëntatie van de foto's (Atkinson, 2001; Mikhail *et al.*, 2001).

het platform. De stenen leverden duidelijk herkenbare en onderscheidbare *match*-punten. De zandige delen zijn meer homogeen, en het algoritme had hier meer moeite met het vinden van homologe punten.



Figuur 19: Goede en slechte beeld-*matching*, geïllustreerd aan de hand van *pegs*

Bron: Eigen onderzoek

Eens voor de nodige punten een locatie en een hoogte bepaald was, konden deze omgerekend worden naar coördinaten in een wereldcoördinaatsysteem. Dit gebeurt volgens de relatie tussen fotocoördinaten uit de beeldruimte en wereldcoördinaten in de voorwerpsruimte die reeds bepaald werd uit de absolute oriëntatie (zie 6.2.4). Voor elk punt wordt nu de verplaatsingsvector berekend. In de praktijk wordt dit slechts om een bepaald interval gedaan en wordt daarbinnen geïnterpoleerd (Goossens & Devriendt, 2007).

6.2.7 Eindproducten

Als uiteindelijke eindproducten levert VirtuoZo digitale hoogtemodellen, orthofotoplans, en contourkaarten, die automatisch worden gegenereerd. De eerste twee worden hieronder besproken. De contourkaarten vallen niet binnen het kader van dit onderzoek. De eindproducten vormen de visualisatie van de fotogrammetrische processen die hierboven werden uitgevoerd. Ook de fouten worden mee gevisualiseerd en kunnen op deze producten worden opgespoord. Indien nodig kan dan de oriëntatie of de beeld-*matching* worden aangepast en verbeterd en kan het fotogrammetrische proces opnieuw worden doorlopen, om een beter resultaat te bekomen (zie 6.2.8. en 6.2.9). Samen met de producten wordt ook een foutenrapport gegenereerd.

6.2.7.1 Digitaal hoogtemodel

Digital Elevation Models zijn digitale, driedimensionale, geometrisch correcte voorstellingen die het reliëf op het aardoppervlak weergeven. Ze worden opgebouwd vanuit berekeningen op het stereomodel aan de hand van de homologe punten uit de vorige stap en interpolatie tussen deze punten. De DEM's zijn gebaseerd op een regelmatig puntenraster. Aan deze regelmatig gespreide punten worden hoogtewaarden toegekend. Vanuit een onregelmatig hoogtemodel wordt dus een regelmatig grid geïnterpoleerd¹⁶. De afstand tussen de punten wordt door de gebruiker bepaald door het instellen van de DEM *spacing*. Ze werd in dit onderzoek steeds ingesteld op 1 cm. Hoe fijner deze waarde wordt ingesteld, hoe nauwkeuriger het gegenereerde hoogtemodel zal zijn. De betrouwbaarheid waarmee het aardoppervlak kan worden voorgesteld, wordt bepaald door de DEM *spacing* en de verticale nauwkeurigheid van de hoogtebepaling (Mikhail *et al.*, 2001; Goossens & Devriendt, 2007).

Voor de interpolatie, die altijd een zekere onzekerheid heeft, zijn een groot aantal homologe punten op het stereopaar nodig. Deze werden bekomen door de *image matching* uit de vorige stap (zie 6.2.6). De z-waarde in het DEM is een variabele in functie van x en y. Dit wil zeggen dat er voor elke planimetrische locatie precies één en slechts één hoogtewaarde uit het

¹⁶ Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen digitale terrein modellen (DTM's) en DEM's. DTM's zijn gebaseerd op een onregelmatige distributie, DEM's volgen een regelmatig grid. In feite worden in VirtuoZo dus DEM's geïnterpoleerd uitgaande van een DTM van willekeurige homologe punten (Goossens & Devriendt, 2007).

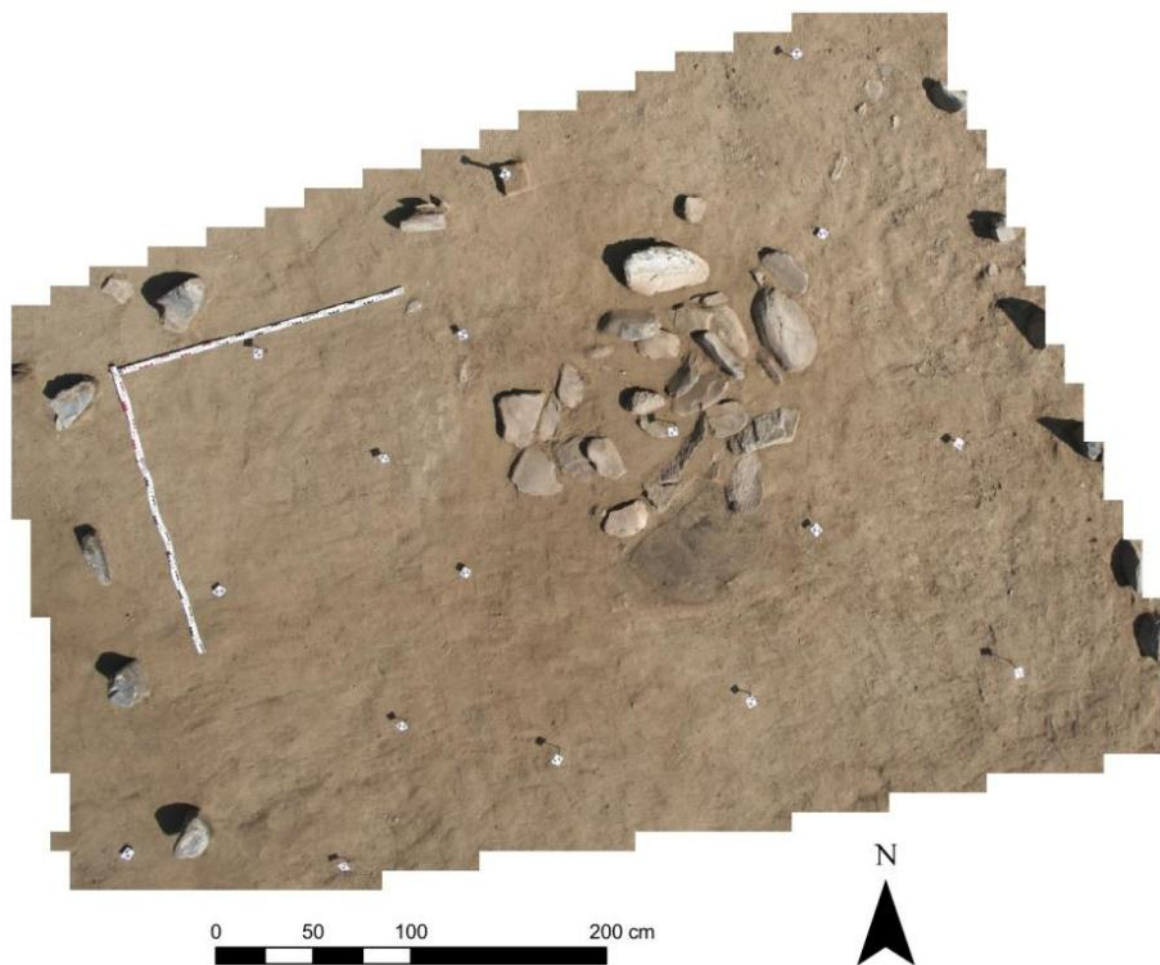
model kan worden afgelezen (Mikhail *et al.*, 2001; Goossens & Devriendt, 2007).

Het DEM dient als basisproduct voor alle andere producten. De hoogte-informatie die het DEM bevat maakt het mogelijk de beelden te herberekenen en levert VirtuoZo de nodige informatie om alle beeldvervormingen te corrigeren. Zo kan uit een DEM een orthofoto afgeleid worden.

6.2.7.2 Orthofoto

De allerlaatste stap in VirtuoZo bestaat uit de creatie van de uiteindelijke orthofoto. Figuur 20 geeft hiervan een voorbeeld. De hoogte-informatie die uit een DEM kan worden afgeleid wordt gebruikt om de hoogte-effecten uit de perspectieve projectie te verwijderen. Dit gebeurt door middel van een herprojectering. De pixels voor de orthofoto worden berekend aan de hand van de originele pixels en de verplaatsingsvector. De pixels uit het uitgangsbild worden op het DEM geprojecteerd, waar hun ruimtelijke objectcoördinaten worden bepaald. Daarna worden deze ruimtelijke objectpunten op het orthobild geprojecteerd. De pixels van het orthobild worden uiteindelijk bepaald door interpolatie tussen de geprojecteerde punten (Mikhail *et al.*, 2001). Tijdens de rectificatie worden de schaal en vervormingen van het originele beeld dus aangepast om exact samen te vallen met de op het veld ingemeten coördinaten (Barceló *et al.*, 2003).

Hoe nauwkeuriger het DEM en de berekende beeldverplaatsingsvectoren, hoe beter en nauwkeuriger ook de orthofoto. Heeft een punt een foutieve hoogtewaarde in het DEM, dan zal het ook op de orthofoto een foutieve hoogte hebben en niet op de juiste planimetrische plaats staan afgebeeld (Goossens & Devriendt, 2007).



Figuur 20: Voorbeeld van een orthofoto, 110713D1koppell

Bron: Eigen verwerking

De orthofoto's van beide sites werden uitgelezen in het .tiff-formaat. Samen met de beelden werd een .tfw-bestand aangemaakt. Dit is een *tiff world file* en bevat zes georefereringsparameters. Deze zijn:

- x-schaalfactor (in feite de GSD)
- rotatiefactor in x
- rotatiefactor in y,
- translatiefactor in x ten opzichte van [1,1]
- translatie in y ten opzichte van [1,1]

Dit zijn dus de schaal-, rotatie- en translatieparameters die vereist zijn voor de georeferentie van het .tiff-beeld (zie 3.5.2.4). De rotatieparameters zijn in dit onderzoek beide 0: de beelden werden niet gedraaid. [1,1] is het midden van de linkerbovenpixel van het beeld. De laatste

twee parameters zijn dus in feite de Easting en Northing van het midden van de linkerbovenpixel (De Maeyer, 2010). Alle orthofoto's vindt men in bijlage 8.

6.2.7.3 Foutenrapport

Samen met de eindproducten genereerde VirtuoZo ook per stereokoppel een foutenrapport. Ze staan in bijlage 3. Hierin kan het succes en de nauwkeurigheid van de opeenvolgende stappen van het fotogrammetrisch proces worden nagegaan. Voor deze studie staan alle eenheden in centimeter, in plaats van in meter, omdat de coördinaten in de *Pass Points file* voor de verwerking naar centimeters werden omgezet. De eerste drie (voor x en y) of vier (voor z) cijfers van de coördinaten werden weggelaten. Deze aanpassing werd gedaan omdat VirtuoZo aanvankelijk moeite had met de grootte van de getallen. De kleine hoogteverschillen op de site werden gevisualiseerd als zeer grote pieken. Na het exporteren van de eindproducten werden in de .tfw-bestanden de nodige cijfers terug ingevoegd, om een correcte georeferering te bekomen.

Daar er geen interne oriëntatie werd uitgevoerd, wordt hierover geen informatie geleverd. Ook omtrent de relatieve oriëntatie levert het rapport geen gegevens. De informatie omtrent de absolute oriëntatie en de *image matching* werd reeds aangehaald in 6.2.4 en 6.2.6.

De rapporten bevatten verder ook een onderdeel *residuals of check points from DEM*. Hierin wordt voor elk grondcontrolepunt de afwijking van de z-waarde uit het DEM ten opzichte van de ingemeten coördinaten van dat punt gegeven. Vervolgens worden er foutenintervallen weergegeven en staat er opgetekend hoeveel GCP's er zich in elk interval bevinden. Tabel 4 geeft deze aantallen weer. Bevindt een punt zich in het eerste interval, dan wil dit zeggen dat de afwijking van de z-waarde in het DEM ten opzichte van die van het GCP maximaal vijf centimeter bedraagt, met andere woorden, er bestaat een maximale hoogteafwijking van vijf centimeter tussen dat punt in het DEM en de werkelijke, ingemeten coördinaat van het GCP.

Tabel 4: Aantal punten per fouteninterval

Stereokoppel	dz <= 5 cm	5 < dz <= 10 cm	10 < dz <= 20 cm	20 < dz <= 30 cm
110713D1koppel1	9	4	4	1
110713D1koppel2	10	6	3	2
110713D1koppel3	12	2	5	0
110713D1koppel4	7	3	5	2
110716D2koppel1	7	4	1	0
110716D2koppel2	9	1	3	0
110716D2koppel3	6	2	3	1
110716D2koppel4	4	1	2	0
110716D2koppel5	7	0	1	0
110716D2koppel6	6	2	0	1

Bron: Eigen onderzoek

Deze fouten dienen ter controle van het DEM. Fouten kunnen optreden door plotse hoogteverschillen en stereoschaduw (zie 6.2.9). Afwijkingen kunnen ook voortkomen uit de interpolatie vanuit het DTM naar het DEM. In deze studie werden ze waarschijnlijk veroorzaakt door het meten op nagels. Daar deze zeer smal en moeilijk aan te duiden zijn, treden gemakkelijk fouten op. De nagels staken in veel gevallen ook relatief hoog boven het oppervlak uit. Er kunnen dus aanzienlijke hoogtefouten optreden wanneer een foutief punt uit het DEM wordt gekoppeld aan een GCP.

Tenslotte staat er ook informatie opgetekend omtrent de orthofoto's. Dit zijn dezelfde parameters als in de .tfw-bestanden aangevuld met de coördinaten van de hoekpunten van de orthofoto.

6.2.8 Visualisatie

In VirtuoZo kan men de eindproducten in stereozicht bekijken. Met de functie *drape* werd de orthofoto over het digitaal hoogtemodel gedrapeerd. Dit levert een nauwkeurige 3D-

visualisatie van het studiegebied. Om de beelden van een gebied te kunnen zien met dezelfde ruimtelijke impressie als in de werkelijkheid, moet ervoor gezorgd worden dat het linkerbeeld alleen wordt waargenomen door het linkeroog en het rechterbeeld alleen door het rechteroog. Dit wordt gerealiseerd aan de hand van een bril met gepolariseerde glazen en infraroodemitter. Licht is een trilling die zich in een bepaalde richting voortbeweegt. Door middel van polarisatiefilters worden de beelden gepolariseerd zodat de beelden trillen in een tegenovergestelde richting. De infraroodemitter, die bovenop de computer wordt gezet, zorgt ervoor dat het linker en het rechterbeeld simultaan worden afgebeeld. De bril bevat een afwisselende sluiters. Het linkerbeeld wordt gezien terwijl het rechterbeeld geblokkeerd is door het verschil in polarisatie-richting tussen de twee beelden. Hoewel de beelden dus niet tegelijk worden gezien, gebeurt de afwisseling zodanig snel (bij 120 Hz ziet elk oog het overeenkomstig beeld 60 keer per seconde) dat het lijkt alsof men ze simultaan waarneemt. Zo wordt de natuurlijke waarneming nagebootst en wordt de perceptie van diepte gevormd (Linder, 2001; De Maeyer & Van de Weghe, 2007; Goossens & Devriendt, 2007). Het model kon met de 3D-bril langs alle kanten in stereovisie bekeken worden.

6.2.9 Redactie

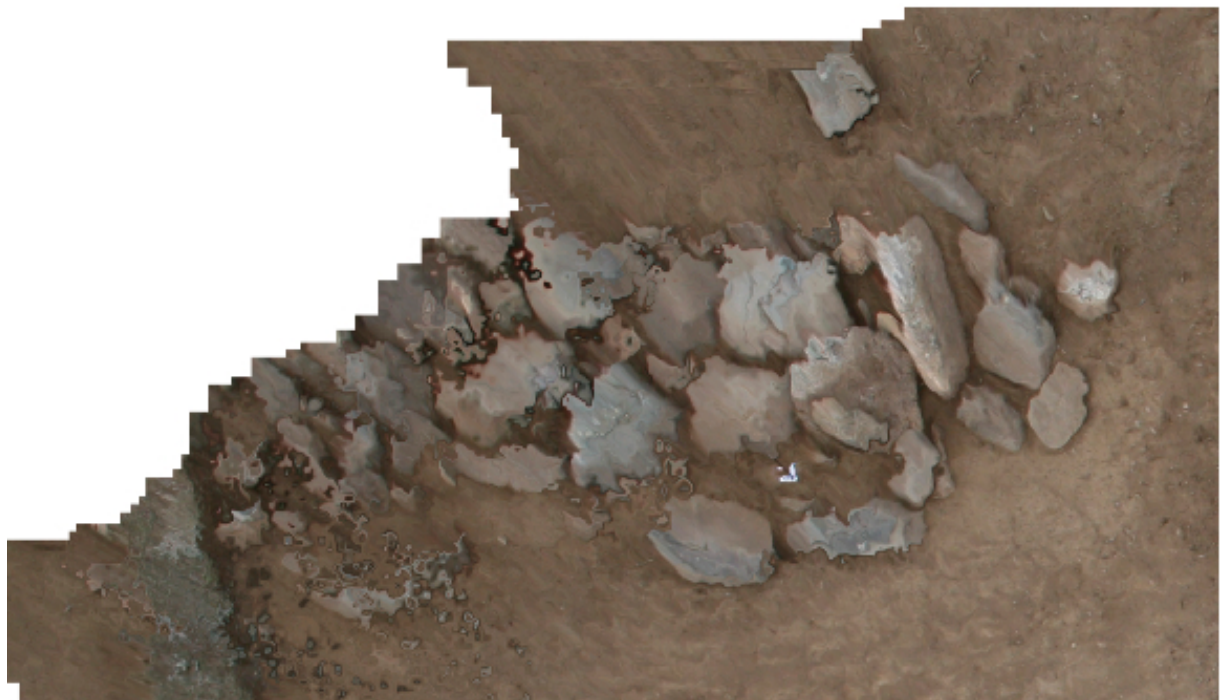
De visuele inspectie van de orthofoto en het 3D-beeld is van belang voor het opsporen van fouten en abnormaliteiten in het model. In de *prepare for match* en *match edit* menu's is interactie mogelijk ter verbetering van de resultaten.

DEM's zijn discrete weergaven van het continue aardoppervlak. Plotse steile hoogteveranderingen, zoals kliffen en muren, kunnen niet op een goede manier voorgesteld worden. Interpolatie tussen punten aan weerszijden van de klif zal misleidend zijn, aangezien hellingen op het aardoppervlak in werkelijkheid niet altijd geleidelijk verlopen. VirtuoZo zal de helling echter wel geleidelijk weergeven. Om deze problemen te verminderen kan men breeklijnen aanduiden die significante discontinuïteiten in het topografisch oppervlak aangeven. Voor interpolatie van de hoogten zullen in de nabijheid van deze breeklijnen alleen punten gebruikt worden die aan dezelfde kant van de breeklijn liggen (Mikhail *et al.*, 2001).

De stereokoppels kunnen ook geredigeerd worden om onregelmatigheden in de modellen weg te werken. Dit kan bijvoorbeeld door met de *smooth* functie pieken en overgangen af te

ronden, of door overbodige vlakken plat te leggen op een bepaald niveau (bijvoorbeeld op het 0-niveau of op een gemiddelde hoogte). In deze stukken worden dan geen hoogteverschillen weergegeven, wat de verwerking van de andere delen van de foto ten goede kan komen. Door onregelmatigheden en afwijkingen weg te werken kan men de belangrijke structuren duidelijk laten uitkomen.

Een belangrijk probleem is het optreden van stereoschaduw of oclusiezones. Deze worden veroorzaakt door het reliëf van het terrein of object en de perspectieve projectie van de foto. De beeldverplaatsing van een object kan ertoe leiden dat het achtergelegen gebied afgeschermd wordt en niet op de foto zichtbaar is. In zo een oclusiegebied is geen beeldinformatie beschikbaar en kunnen geen homologe punten gevonden worden. Dit kan leiden tot hiaten in de orthofoto. De hoogte van de gebieden wordt geïnterpoleerd uitgaande van de omliggende waarden, maar geeft dus niet het ware oppervlak weer. Dit veroorzaakt ruis of *blurring* op de orthofoto (Tack *et al.*, 2005; Linder, 2009).



Figuur 21: *Blurring* en hiaten, 110716D2koppel3

Bron: Eigen verwerking

In deze studie kwamen geen zeer grote of steile hellingsverschillen voor. De stereokoppels van KA-771-016 bevatten echter wel veel schaduwen. De grootste vervormingen komen voor aan

de randen van de beelden, waar de vervormingen te wijten aan de perspectieve projectie het grootst (zie 3.4) en ook het moeilijkst te corrigeren zijn. Vooral koppels 1 en 3 van KA-771-006 vertonen een aanzienlijke *blurring* van het steenplatform (zie figuur 21 en figuur 22). Dit komt doordat het platform hier aan de rand van de beelden gelegen is. De beelden bevatten geen informatie over de achterzijde van de stenen, wat resulteert in blurring en vervormingen.



Figuur 22: *Blurring* en vervormingen van het stenen platform, 110716D2koppell

Bron: Eigen verwerking

Er bestaat geen eenvoudige procedure voor het lokaliseren en oplossen van fouten. De gebruiker moet alle factoren van de instrumentatie, de opnamecondities en de gebruikte parameters en algoritmen in acht nemen en aan de hand van deze informatie zelf trachten de probleempunten te identificeren (Atkinson, 2001). Na redactie moeten de laatste stappen van het verwerkingsproces opnieuw doorlopen worden. Dit kan de eindproducten soms aanzienlijk verbeteren. Bij een aantal stereokoppels kwamen vervormingen van de meetlat voor (het witte voorwerp in figuur 22) en werden breeklijnen aangebracht. Er werden ook enkele gebieden platgelegd om pieken en dalen in het 3D-model te voorkomen. Deze acties losten de problemen echter niet op. De vervormingen zijn echter niet groot genoeg om een storend effect te hebben op het eindresultaat.

6.2.10 Orthofotomozaïek

Om tot complete aaneensluitende orthofoto's van de volledige sites te komen, moeten de foto's nog samengevoegd worden. Elk stereopaar werd in VirtuoZo immers individueel verwerkt. Dit gebeurt door alle foto's in ArcGIS, een GIS softwarepakket ontwikkeld door ESRI, aan elkaar te zetten.

Na inladen in het programma werden de overtollige zones van de orthofoto's, de witte randen, verwijderd. De stukken werden transparant gemaakt. Hierna pasten de beelden mooi aan elkaar. Zo kan een orthofotomozaïek gegenereerd worden. Dit is een product waarin een reeks opeenvolgende individuele orthofoto's samengevoegd zijn om één doorlopend beeld te vormen. Het geheel kan als kaart gebruikt worden (Mikhail *et al.*, 2001). Figuur 23 geeft het voorbeeld van KA-771-016. Er werd geprobeerd om de foto's met de functie *mosaic to new raster* aan elkaar te zetten. Dit bleek na herhaalde pogingen niet mogelijk. Ook nadat de randen met behulp van Photoshop of AutoCAD doorzichtig waren gemaakt, lukte dit nog niet. Het beeld bestaat dus nog uit vier losse beelden die tezamen worden gevisualiseerd. Daarom zijn ook de randen en overgangen tussen de foto's nog duidelijk zichtbaar. Bij een ware mozaïek zouden deze in elkaar overlopen door middel van de functie *blend*. Omdat de foto's noodgedwongen moesten opgenomen worden onder felle zon, zijn er veel schaduwen op het beeld aanwezig. De visuele storing blijft echter beperkt doordat de schaduwen niet over de stenen van de structuur heen lopen.

Hoewel de mozaïeken in deze studie geen geheel vormen, konden hiermee toch verdere bewerkingen, zoals digitalisatie van de stenen, uitgevoerd worden. Doordat de beelden niet met elkaar zijn vermengd door het aaneen zetten van de foto's, blijft het beeld scherper. Aaneen zetten zou de kwaliteit misschien hebben verlaagd, wat vooral ongewenst zou zijn op die plaatsen waar aan de rand van een beeld belangrijke stenen voorkomen. Soms had eenzelfde steen op verschillende foto's een heel ander uitzicht. Tijdens digitalisatie was het mogelijk per steen het minst vervormde beeld te selecteren, wat de uiteindelijke nauwkeurigheid van de gedigitaliseerde archeologische plannen misschien ten goede kwam.



Figuur 23: Orthofotomozaïek van KA-771-016

Bron: Eigen verwerking

6.3 PhotoScan

De PhotoScan software werd in 2010 uitgebracht door de Russische producent AgiSoft LLC. PhotoScan Pro is een softwarepakket voor de productie van professionele 3D-modellen uitgaande van een reeks foto's. Het steunt hiervoor op de nieuwste 3D constructietechnologieën en de principes van de *computer vision*. In PhotoScan worden *Structure from Motion* (zie 4.1.1) algoritmen aangevuld met *stereo-matching* algoritmen. De foto's kunnen genomen worden door eender welk standaard of professioneel digitaal fototoestel en vanuit eender welke positie, zolang het onderwerpobject op minstens twee foto's zichtbaar is (Agisoft LLC, 2011).

De verschillende processen zijn volledig geautomatiseerd. Alleen het plaatsen van de *markers* en het invoeren van de coördinaten van de grondcontrolepunten moeten nog manueel worden

uitgevoerd. Dit heeft als voordeel dat het pakket zeer gebruiksvriendelijk en efficiënt verloopt. Het is echter een *black box*-systeem, en de gebruiker heeft geen enkel zicht of controle over wat er gedurende de verwerking gebeurt.

Het eindproduct van de fotografische verwerking met PhotoScan is een getextureerd 3D-model. Er kunnen ook orthofoto's worden gegenereerd. De verschillende stadia in de productie van orthofoto's en 3D-modellen worden in de volgende hoofdstukken beschreven. Het doorlopen van het volledige verwerkingsproces kan een aantal uren duren. PhotoScan laat toe de tussentijdse data en resultaten na elk stadium van het proces te exporteren en op te slaan (Agisoft LLC, 2011).

De eerste stap in de verwerking is het invoeren van de nodige foto's en coördinaten. De volgende drie stappen, *align photos*, *build geometry* en *build texture*, worden apart besproken. Ze werden echter allemaal samen uitgevoerd, door middel van een *batch* waarin de nodige bewerkingen werden aangeduid. Hoewel de gebruiker per stap een groot aantal inputparameters kan instellen, is de reconstructie zelf een pijnloos driestappenproces. Het is in elk stadium mogelijk om in te grijpen en individuele foto's aan of uit te klikken of delen van beelden te maskeren (Verhoeven, 2011).

6.3.1 Invoer van foto's en coördinaten

De nodige foto's werden in het programma ingeladen. Hoewel de PhotoScan software kan omgaan met een zeer groot aantal foto's, werden hier slechts evenveel, en exact dezelfde foto's gebruikt als voor de verwerking in VirtuoZo. Dit gebeurde om een zo objectief mogelijke vergelijking tussen de beide pakketten te maken. Om tot de uiteindelijke orthofoto te komen, moesten de modellen ook gedefinieerd kunnen worden in het absoluut coördinaatsysteem. Hiervoor werden dertig *markers* toegevoegd. Deze werden zo nauwkeurig mogelijk op elke foto op de plaats van de grondcontrolepunten gepositioneerd. Dit is in feite het enige proces dat in PhotoScan nog manueel moet gebeuren. Vervolgens werden de punten aan hun overeenkomstige coördinaten gekoppeld, door in het *Ground Control* menu de coördinaten in te voeren. Het referentiesysteem werd ingesteld door bij *World Geodetic System* als datum 1984 aan te duiden, en WGS84 als coördinaatsysteem. De Altai Republiek

bevindt zich in het wereldwijde UTM-systeem¹⁷ in de 45ste zone van het Noordelijk Halfrond. Deze absolute georeferentie, en de bijhorende geometrische correcties, zijn uiteraard noodzakelijk vooraleer op de beelden correcte metingen kunnen worden uitgevoerd (Verhoeven *et al.*, 2012a).



Figuur 24: Plaatsen van *markers*

Bron: Eigen verwerking

Een andere manier om de producten geschikt te maken voor metingen, zou zijn door na productie van het model tussen twee punten een gekende referentieafstand in te geven. Op deze manier wordt het model niet gegeorefereerd in een absoluut coördinaatsysteem, maar wordt het wel herschaald, zodat er metrische informatie uit afgeleid kan worden (Verhoeven, 2011; Plets *et al.*, 2012a).

¹⁷ *Universal Transverse Mercator*, een universeel projectiesysteem (De Maeyer & Van de Weghe, 2007).

Het manueel aanduiden van de *markers* en het ingeven van de x-, y- en z-coördinaten van elk punt vormde het meest arbeidsintensieve gedeelte van de verwerking.

6.3.2 Image Alignment

Na het invoeren van de foto's en coördinaten kon de eigenlijke verwerking beginnen. De eerste stap hierbij is het uitlijnen van de foto's. Dit gebeurt tijdens de *image alignment*. Hier worden homologe punten op de foto's gezocht en wordt via het SfM algoritme voor elke foto de camerapositie tijdens het moment van opname achterhaald. Zo worden alle foto's relatief georiënteerd en wordt een driedimensionale puntenwolk opgebouwd die de geometrische structuur van het onderzochte object of gebied in een lokaal referentiekader voorstelt (Szeliski, 2011). PhotoScan maakt gebruik van een algoritme om initiele benaderende cameraposities te berekenen. Deze worden daarna verfijnd door een *bundle-block adjustment*¹⁸ (Verhoeven *et al.*, 2012a).

In deze stap worden ook de interne calibratieparameters (focale lengte, locatie van het principaal punt en vervormingscoëfficiënten) bekomen. Deze set cameraposities wordt verder in de verwerking gebruikt voor de constructie van het 3D-model. De resultaten van de *alignment* (zie figuur 25) werden visueel onderzocht. Hierbij kunnen indien nodig fout gepositioneerde foto's worden verwijderd (AgiSoft LLC, 2011; Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven, 2011).

¹⁸ *Bundle-block adjustment* is een fotogrammetrische methode waarbij een hele reeks overlappende beelden tegelijkertijd worden georiënteerd. De oriëntaties hoeven niet meer voor elk stereokoppel afzonderlijk te gebeuren. De stralenbundels van alle foto's worden tegelijkertijd gecorrigeerd (Aber *et al.*, 2010).



Figuur 25: Resultaat van de *alignment*: een driedimensionale puntenwolk

Bron: Eigen verwerking

In het *Align Photos* menu werden enkele parameters ingesteld. De nauwkeurigheid werd voor deze studie op het hoogst gezet. Hoe hoger de nauwkeurighedsinstelling, hoe nauwkeuriger de inschatting van de cameraposities.

Het *alignment*-proces kan versneld worden door een *pair preselection* methode te selecteren. Tijdens het proces wordt veel tijd besteed aan het *matchen* van kenmerken op de foto's. In de preselectie wordt een subset van fotokoppels die *gematched* moeten worden geselecteerd. De *preselection* werd bij deze studie ingesteld op *Generic*. Dit houdt in dat overlappende fotoparen geselecteerd werden door de foto's eerst te *matchen* op basis van lagere nauwkeurighedsinstellingen. Een tweede mogelijke preslectiemethode, die in deze studie niet werd gebruikt, is de *Ground Control* modus. Hierin worden de overlappende fotoparen

geselecteerd op basis van gemeten cameralocaties indien deze voorhanden zijn (AgiSoft LLC, 2011).

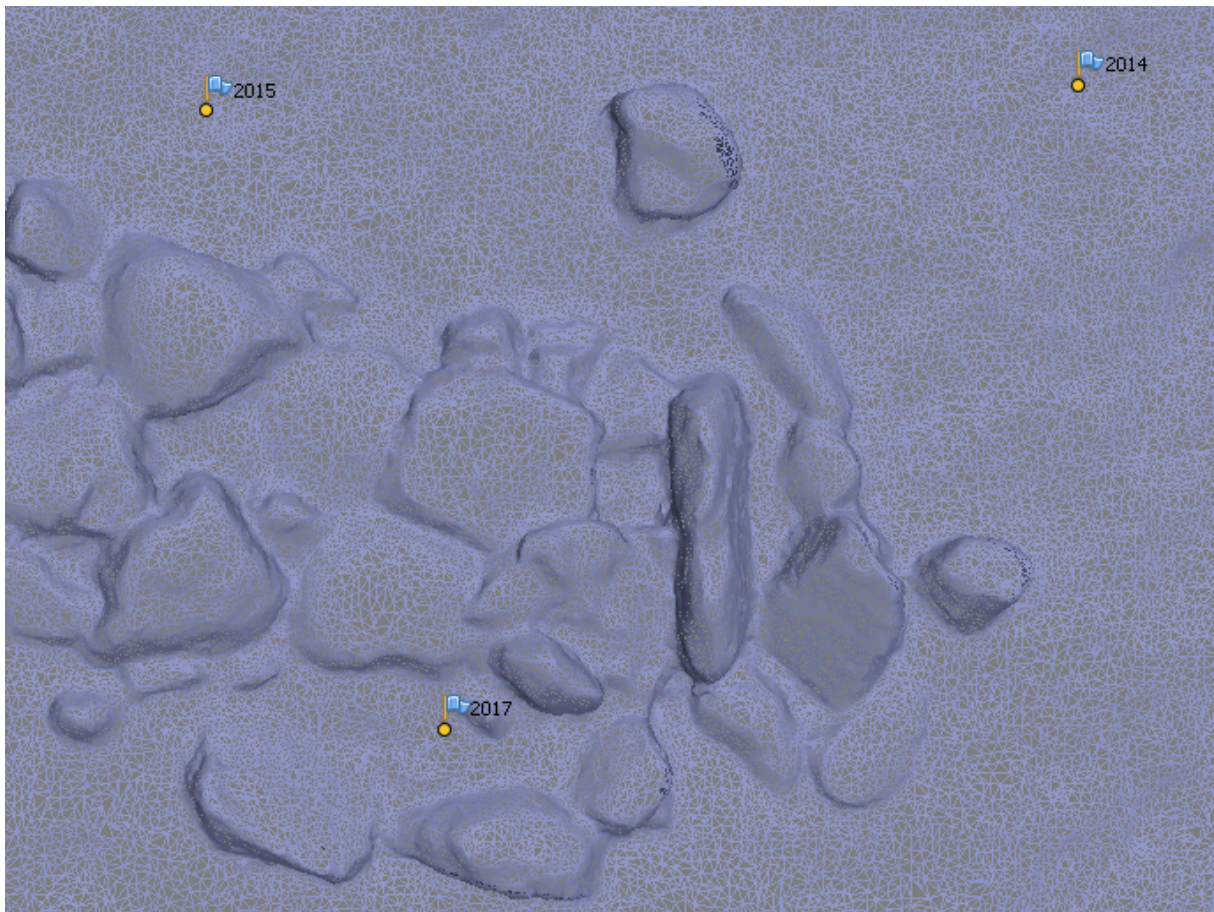
6.3.3 Building model geometry

De tweede stap van de verwerking omvat de opbouw van de modelgeometrie of de oppervlaktereconstructie. Dit gebeurt aan de hand van stereo-reconstructie algoritmen. Deze maken het mogelijk om vanuit de berekende puntenwolken nauwkeurige en gedetailleerde driedimensionale oppervlaktemodellen op te bouwen. Er wordt een paarsgewijze berekening van de diepte (de afstand van de camera tot het objectoppervlak) uitgevoerd voor nagenoeg elke pixelwaarde. Alle pixels worden gebruikt, wat een correcte verwerking van fijne details toelaat (Seitz *et al.*, 2006; Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven 2011). De samenvoeging van de resulterende individuele dieptekaarten van alle beelden levert een 3D-model, dat vervolgens wordt benaderd door een triangulaire mesh¹⁹. Op basis van de beelden en de ingeschatte cameraposities uit de vorige stap wordt zo een driedimensionaal netwerk opgebouwd die het objectoppervlak voorstelt (AgiSoft LLC, 2011; Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven, 2011; Verhoeven *et al.*, 2012a). Figuur 26 toont een detail van de *mesh* van KA-771-006.

Voor deze reconstructiestap beschikt PhotoScan over verschillende stereo-*matching* algoritmes en instellingen. Een juiste keuze levert een optimaal resultaat voor een gegeven dataset. In deze studie werd gekozen voor het objecttype *Arbitrary*. Dit kan gebruikt worden voor de modellering van eender welk object. Er worden geen veronderstellingen gemaakt over het object. Het wordt onder meer gebruikt voor gesloten objecten zoals gebouwen. Er werd niet geopteerd voor het *Height field* type, dat optimaal is voor de modellering van vlakke oppervlakken en luchtfotografie. *Height field* geeft het resultaat vanuit een bovenaanzicht, en kan problemen veroorzaken bij de modellering van overhangende en rechtopstaande objecten (AgiSoft LLC, 2011; Verhoeven, 2011). In dit onderzoek is de modellering van de stenen van belang, en niet van het volledige landschap.

¹⁹ Een *mesh* is een alternatieve voorstellingsvorm voor een digitaal hoogtemodel. Het is opgebouwd uit een onregelmatig grid van punten, waarvan de x-, y- en z-coördinaten gekend zijn. In een triangulaire *mesh* of *triangular irregular network* (TIN) wordt het terreinoppervlak voorgesteld door een netwerk van aaneensluitende, onregelmatige driehoeken (Mikhail *et al.*, 2001; Antrop & De Maeyer, 2008).

De *geometry type* werd op *Smooth* ingesteld. Dit is de aanbevolen instelling voor het genereren van orthofoto's. *Sharp* levert nauwkeurigere reconstructies, maar er wordt niet aan *hole filling* gedaan. Het *Smooth* geometrietype levert waterdichte reconstructies met weinig of geen gaten aan het oppervlak. Met deze methode kunnen grote oppervlakken worden gegenereerd, die achteraf eventueel kunnen aangepast worden door de *selection* en *cropping* tools. De *mesh* kan eventueel ook in een ander programma worden geredigeerd (AgiSoft LLC, 2011).



Figuur 26: Detail van de triangulaire *mesh* van KA-771-006

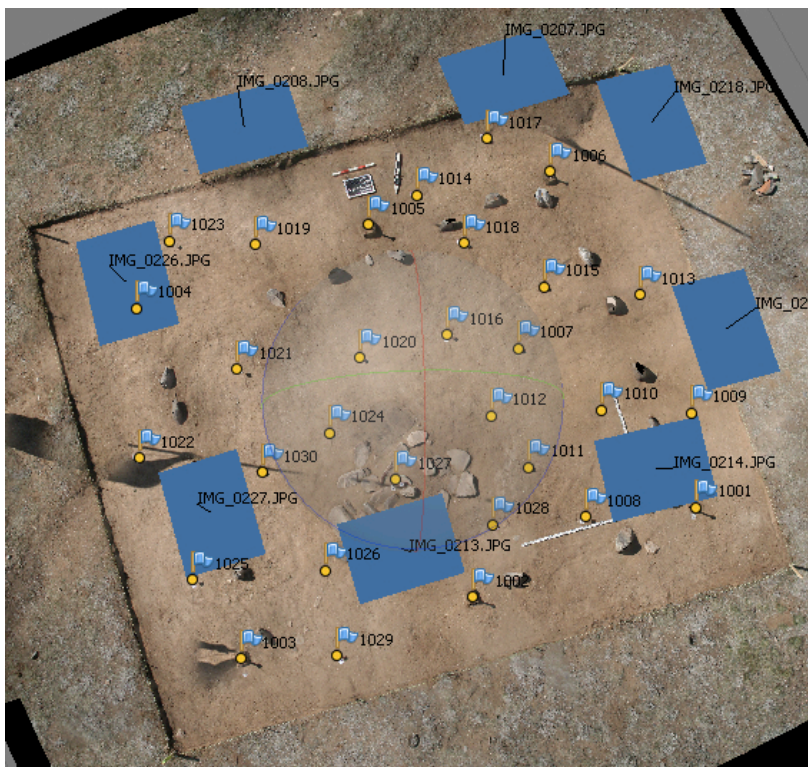
Bron: Eigen verwerking

De kwaliteit van de verwerking werd ingesteld op de hoogste stand (*ultra-high*). Hiermee kan de meest gedetailleerde en nauwkeurige geometrie verkregen worden. Het vergt echter ook de langste verwerkingstijd. Daarom werd het model eerst getest op een lagere kwaliteit, om de toepasbaarheid van de gekozen methode in te schatten. De *face count* werd ingesteld op 2 000 000. Dit bepaalt het aantal *faces* of vlakken die voor de opbouw van de *mesh* gebruikt

worden. PhotoScan berekent steeds eerst de *mesh* met het maximum aantal *faces*, en voert daarna een generalisatie uit tot aan de ingestelde *face count*. Daarom kan deze evengoed meteen hoog ingesteld worden, de verwerkingstijd neemt hierdoor niet toe en de kwaliteit van de *mesh* is beter. Dankzij de calibratieparameters uit de *image alignment* (zie 6.3.2) worden de lensdistorties door PhotoScan verwijderd en worden dus altijd onvervormde foto's gebruikt (AgiSoft LLC, 2011; Verhoeven, 2011).

6.3.4 Building model texture

De laatste stap in het verwerkingsproces omvat de textuurophou. Hierin wordt de *mesh* een textuur gegeven, gebaseerd op één of een combinatie van verschillende geselecteerde foto's. Deze wordt gebruikt voor de productie van de orthofoto (AgiSoft LLC, 2011; Verhoeven, 2011). Figuur 27 geeft hiervan een voorbeeld.



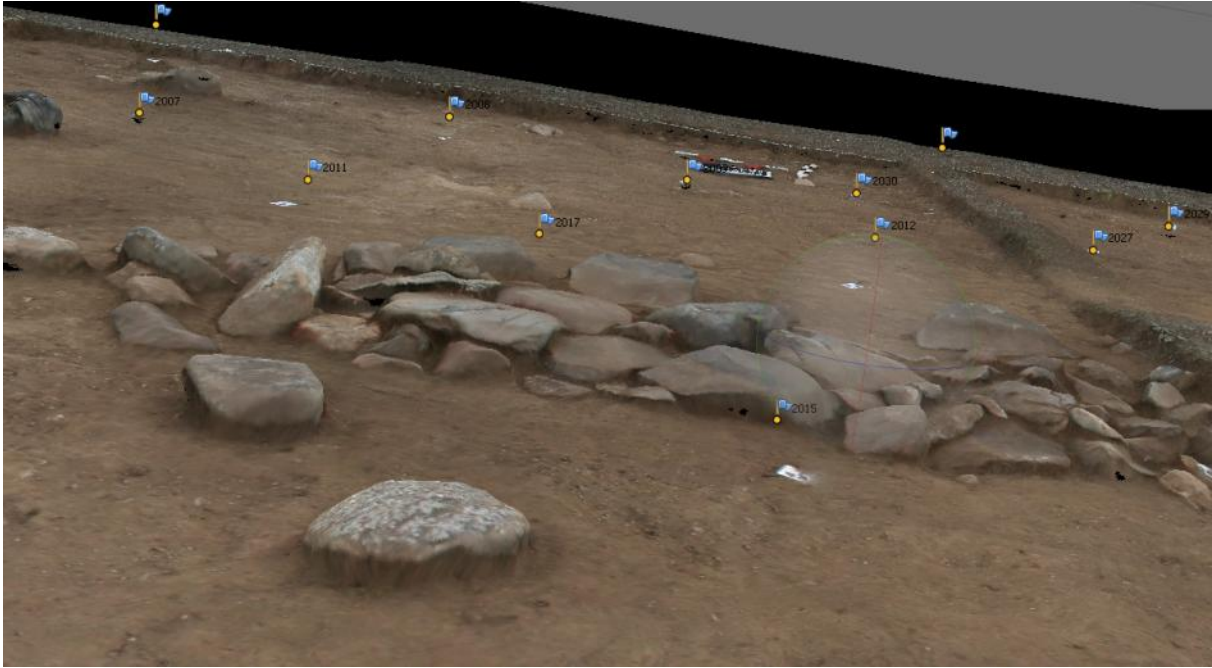
Figuur 27: Model van KA-771-016 met textuur. De blauwe vlakken stellen de opnameposities van de verschillende foto's voor.

Bron: Eigen verwerking

De belangrijkste instelling voor deze stap is de *mapping mode*. Keuze van de juiste *mapping* methode levert een optimale visuele kwaliteit van het uiteindelijke model. Hier werd opnieuw gekozen voor *Generic*, waarbij geen veronderstellingen worden gemaakt omtrent de aard van het onderwerp. *Generic* creëert een zo uniform mogelijke textuur. Er is ook een *Orthophoto* modus, die gebruik maakt van de orthografische projectie, wat minder goede resultaten geeft voor verticale oppervlakken zoals muren. Verder bestaat er ook een *Adaptive orthophoto* modus, die de oppervlakte verdeelt in horizontale en verticale delen. Op de horizontale vlakken wordt de orthografische projectie toegepast; voor de verticale vlakken wordt de *Generic* modus gebruikt. De *Generic* modus is het beste geschikt voor rechtopstaande objecten, zoals de stenen in de sites in de Yustyd-vallei, die het belangrijkste onderdeel van de foto zijn (AgiSoft LLC; Verhoeven, 2011).

Om de textuur te bekomen werden alle foto's die voorhanden waren gebruikt. Hoe de pixelwaarden van de verschillende foto's gecombineerd worden tot de uiteindelijke textuur wordt bepaald door de *blending mode*. Er werd gekozen voor *Mosaic*. Deze levert een betere kwaliteit van de orthofoto's dan de *Average* mode (waar de gemiddelde waarde van de pixels uit alle individuele foto's wordt gebruikt), op voorwaarde dat de beelddetails niet vermengd worden tussen overlappende foto's, maar dat de meest geschikte foto wordt gebruikt (AgiSoft LLC, 2011).

Tenslotte werden de *Atlas height* en *Atlas width* ingesteld op 10 000. Deze parameters bepalen het aantal pixels die de uiteindelijke textuur van de orthofoto bevat in de lengte en in de breedte (AgiSoft LLC, 2011; Verhoeven, 2011).



Figuur 28: Close-up van een getextureerd model

Bron: Eigen verwerking

Figuur 28 toont een deel van het getextureerde model van site KA-771-006. Omdat de foto's van bovenaf genomen werden, is er geen informatie beschikbaar omtrent de textuur van de zijkant van de stenen. PhotoScan tracht deze gaten op te vullen aan de hand van informatie uit de omliggende gebieden.

Op het uiteindelijke model lijken de GCP's soms naast de stickertjes te zweven. Wanneer de *blending mode* echter op *Average* werd ingesteld en het model zo gevisualiseerd werd, werd duidelijk dat de GCP's zich in feite in het midden van alle stickers van de verschillende foto's bevinden (zie figuur 29). Al naargelang de opnamehoek van de foto, lijken de nagels in een andere richting te leunen en worden de stickers op een andere plaats afgebeeld. In het gerectificeerde model bevinden de GCP's zich echter op hun planimetrisch correcte positie, temidden van de stickers. De nagels worden vaak niet gevisualiseerd, omdat ze zich onder de stickers bevinden. PhotoScan kan ze niet in de textuur opnemen en daarom lijken de punten te zweven.



Figuur 29: “Zwevende” GCP's, temidden van de stickers

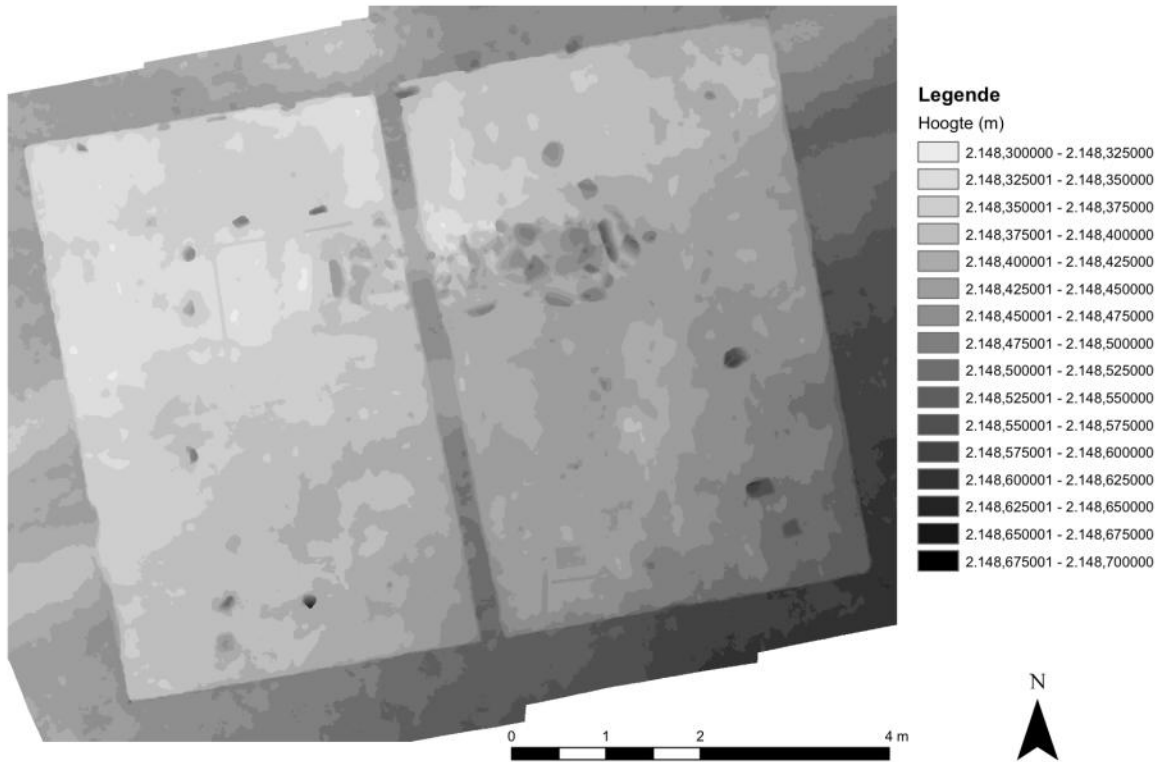
Bron: Eigen verwerking

6.3.5 Eindproducten

De verwerking met PhotoScan leverde als eindproducten opnieuw DEM's en orthofoto's. Deze konden na het doorlopen van de genoemde stappen worden geëxporteerd.

De DEM's kunnen in ArcGIS worden ingeladen en gevisualiseerd, bijvoorbeeld aan de hand van een hoogtezona kaart (zie figuur 30).

PhotoScan DEM KA-771-006



Figuur 30: Hoogtezonekaart van het relief van site KA-771-006

Bron: Eigen verwerking

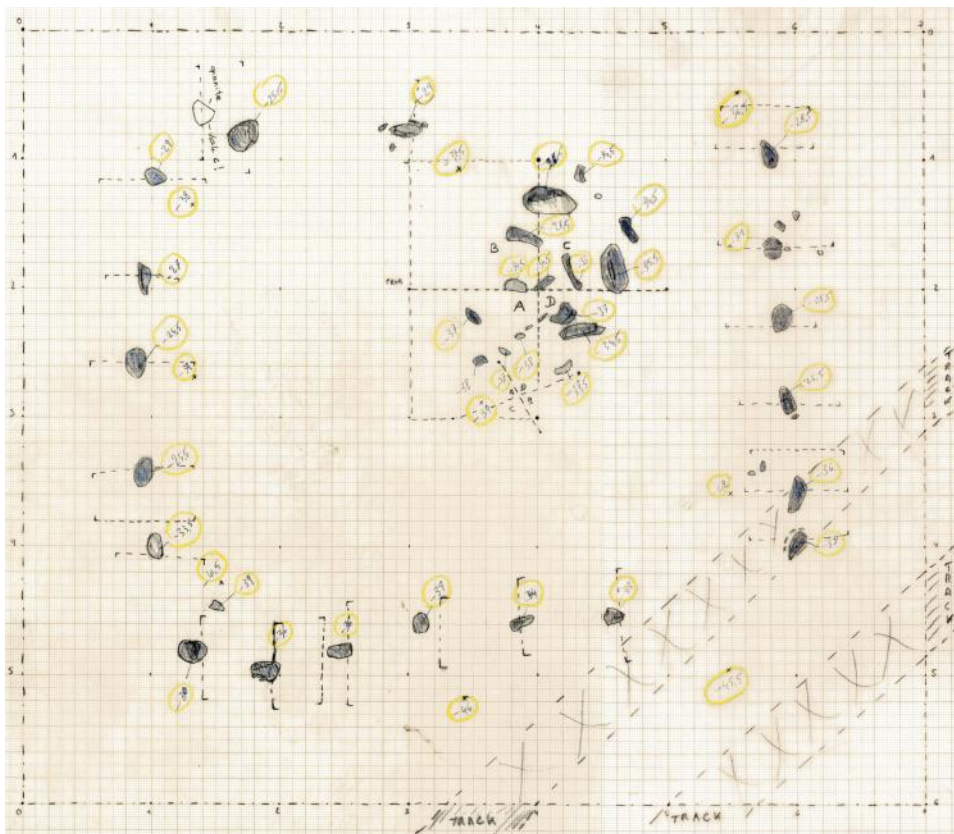
Ook de orthofoto's kunnen opnieuw in een GIS-omgeving worden geïmplementeerd, voor visualisatie of voor de productie van afgeleide producten zoals archeologische plannen. PhotoScan verwerkt alle beelden van een fotoreeks simultaan en het eindproduct is dus één volledig dekkende orthofoto van het gebied. De beelden moeten niet meer via een ander programma aan elkaar worden gezet.

In het *Ground Control* menu werden per grondcontrolepunt de afwijkingen tussen de ingevoerde en de door het programma voorspelde coördinaten in x, y en z en de totale afwijking nagegaan (zie bijlage 4). Dit is de enige kwantitatieve foutenbeoordeling die kan worden uitgevoerd. Verder kunnen de modellen enkel aan een visuele controle worden onderworpen.

6.4 ArcGIS

De verschillende visualisatiemethoden van de fotogrammetrie en beeldmodellering trachten ruwe data weer te geven in beelden die klaar zijn voor archeologische interpretatie. Orthofoto's kunnen beschouwd worden als gegeorefereerde lagen met geografische en archeologische informatie (Neubauer, 2001).

De meest gebruikte documenten bij de documentatie van opgravingen zijn archeologische plannen. Hierop worden de zichtbare structuren manueel door de archeoloog ingetekend (zie figuur 31). De orthofoto's zouden ter vervanging van deze tekeningen kunnen worden gebruikt. In een fotogrammetrisch of fotomodelleringsproces kunnen deze archeologische plannen echter ook digitaal worden verworven door middel van beeldinterpretatie²⁰.



Figuur 31: Manueel ingetekend siteplan KA-771-016

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie

²⁰ Foto- of beeldinterpretatie is de extractie van semantische informatie uit geregistreerde objecten door middel van een visuele beeldanalyse, ten behoeve van bijvoorbeeld de archeologie (De Maeyer & Van de Weghe, 2007).

Als laatste verwerking in dit onderzoek, werden digitale plannen gegenereerd met behulp van GIS-technologie en op basis van de gerestitueerde orthofoto's uit VirtuoZo en PhotoScan. Dit gebeurde door digitalisatie van de omtrek van interessante objecten in ArcGIS, met de orthofoto als achtergrond, zoals in figuur 32 en figuur 33. Zo werden plannen gegenereerd waarop de belangrijkste contouren van de site staan afgebeeld. De objectherkenning is mogelijk dankzij het fotorealistische karakter van de orthobeelden. Welke structuren deel uitmaken van de archeologische site, en dus ingetekend moeten worden, en welke niet, wordt door de gebruiker bepaald. Daarom wordt deze laatste fase in het proces best uitgevoerd door een archeoloog, die beschikt over de nodige vakkennis om uit de veelheid aan informatie gekende structuren te identificeren en de relevantie van de elementen in te schatten.



Figuur 32: Digitalisatie van steencontouren in ArcGIS

Bron: Eigen verwerking

De digitale archeologische plannen zijn daarenboven automatisch gegeoreferereerd, doordat vooraf in ArcGIS het juiste projectiesysteem, UTM zone 45N, werd gedefinieerd. Voor de bestanden uit VirtuoZo werd het projectiesysteem in ArcGIS aangepast naar centimeter (zie 6.2.7.3). De plannen kunnen meteen als cartografisch materiaal worden gebruikt en er kunnen correcte metingen op worden uitgevoerd. Hun nauwkeurigheid hangt af van de kwaliteit van de orthofotoplans en de digitalisatie.

De digitalisatie is een zeer eenvoudig proces dat snel kan worden uitgevoerd. Het bleek moeilijker voor KA-771-016 dan voor KA-771-006, omdat de schaduwen op de foto's van de

eerste site het moeilijk maakten om te zien waar de stenen eindigen, en omdat ook de orthofoto's in deze schaduwgebieden van minder goede kwaliteit zijn.

Uiteindelijk werden mooie, gegeorefereerde, digitale kaarten van de sites gegenereerd. Beide sites kunnen ook tezamen worden voorgesteld, op hun correcte onderlinge en absolute positie (zie bijlage 6). In deze thesis verwijst de benaming “digitale plannen” naar de kaarten die verkregen werden door fotogrammetrie en fotomodellering. Ze verschillen van gedigitaliseerde tekeningen, die slechts de digitale versie van de manuele plannen zijn.



Figuur 33: Digitale tekening van KA-771-016, op basis van de orthofoto uit PhotoScan

Bron: Eigen verwerking

7. DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden de voor- en nadelen van de twee onderzochte beeldverwerkingsprogramma's, VirtuoZo en PhotoScan, samengevat. De voordelen van een digitale werkwijze voor archeologische documentatie ten opzichte van de gangbare manuele methoden worden aangetoond en de toepasbaarheid van de softwarepakketten in het archeologisch onderzoek wordt geïllustreerd.

7.1 De softwarepakketten

Uit de toepassing van de softwarepakketten VirtuoZo en PhotoScan tijdens dit onderzoek blijkt dat elk pakket andere voordelen en toepassingsmogelijkheden heeft.

7.1.1 VirtuoZo

VirtuoZo bevat de mogelijkheid voor interactie en verbetering tijdens het verwerkingsproces. Tijdens elke bewerking is precies bekend wat er met de data gebeurt en kunnen mogelijke fouten geanticipeerd en ingeschat worden. De verschillende menu's laten bovendien manipulatie van de data ter verbetering van de eindproducten toe. Het vergt echter enige vertrouwdheid met de software en achtergrondkennis van de achterliggende processen om de fouten in te schatten en via *trial and error* problemen op te lossen. Bovendien kan de verwerking soms erg veel tijd in beslag nemen. De foto's moeten koppel per koppel verwerkt worden. Elke verwerking brengt potentieel specifieke moeilijkheden met zich mee en vergt een individuele opvolging en specifieke aanpassingen.

Er waren enkele nadelen verbonden aan de versie van het programma die voor deze studie werd gebruikt (versie 3.3.0, heden is reeds versie 3.7.5 beschikbaar). Deze versie heeft een ietwat verouderde interface. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om standaard functies als *pannen* en *zoomen* uit te voeren, en wanneer men de locatie van een punt lichtjes wil verplaatsen moet men hiervoor herhaaldelijk klikken in plaats van slechts één keer lang, of te slepen. Dit vermindert het gebruiksgemak aanzienlijk. Ook het nakijken van alle punten uit de oriëntatie is een vermoeiende opdracht, die echter wel als voordeel heeft dat de

nauwkeurigheid van de verwerking hierdoor nauw in de gaten kan worden gehouden. Het programma onthoudt de zelf aangeduide punten niet wanneer daarna de *automatic* functie wordt uitgevoerd. Men moet steeds weer opnieuw de punten nakijken en aanduiden. Daardoor moeten dezelfde bewerkingen vaak worden herhaald. Deze zaken verhogen de intensiviteit van het verwerkingsproces aanzienlijk. In nieuwere softwareversies moet dit gemakkelijk kunnen worden aangepast.

7.1.2 PhotoScan

PhotoScan beschikt over allerlei *tools* en functies die het gebruiksgemak bevorderen. *Markers* kunnen snel gepositioneerd worden en kunnen eenvoudig worden verplaatst door ze over het scherm naar een nieuwe locatie te slepen. Er kan tijdens de positionering gemakkelijk en snel op het beeld worden in- en uitgezoomd en bewogen. Het programma bleek tijdens dit onderzoek zeer gebruiksvriendelijk en vergde een minimum aan tijd en inspanning. De werkwijze is eenvoudig en de operaties ongecompliceerd.

Met PhotoScan kon tijdens het onderzoek de uitlijning van de foto's visueel worden nagegaan. Aangezien met een veelheid aan beelden kan worden gewerkt, kunnen problematische opnames gewoon uit de dataset worden verwijderd. Het is ook mogelijk om storende delen van de foto te maskeren en zo uit de verwerking te verwijderen. Bijvoorbeeld zeer homogene of reflecterende gebieden kunnen zo worden weggewerkt, zodat zij het verdere verloop van het proces niet verstoren.

Het programma heeft geen limiet op het aantal beelden dat gelijktijdig kan worden ingevoerd (Verhoeven, 2011). Het gehele proces moet dus slechts eenmaal worden doorlopen, met een volledig gebiedsdekkend model en orthofoto als output. Op dit eindproduct kunnen in PhotoScan zelf meteen metingen worden uitgevoerd. Het verwerkingsproces kan op elk moment gepauzeerd en opgeslaan worden, om er later aan verder te werken. Ook tijdens de verwerking is slechts een beperkte interactie van de gebruiker vereist (Doneus *et al.*, 2011).

Er is geen voorafgaande informatie vereist omtrent de tijd en locatie van de beeldopname of over het instrument waarmee de beelden werden genomen. De beelden kunnen genomen worden met eender welk toestel, in principe zelfs met een mobiele telefoon (dit zal uiteraard

geen goede kwaliteit leveren) en vanaf eender welk bewegend of stilstaand opnameplatform. De enige voorwaarde voor een goede reconstructie is dat het te reconstrueren tafereel zichtbaar moet zijn op minstens twee foto's (Verhoeven, 2011). Er zijn geen gecalibreerde cameras nodig, wat de procedure heel flexibel maakt. Het systeem kan werken met ongekennde camera-instellingen. Bovendien mogen de instellingen van de camera veranderen tijdens de opname, bijvoorbeeld door in of uit te zoomen (Pollefeys *et al.*, 2000; Verhoeven, 2011).

Dit brengt als voordeel mee dat foto's in verschillende lagen kunnen worden genomen en gebruikt. Een overzichtsmodel kan worden aangevuld door detailfoto's van belangrijke objecten, waardoor deze gedetailleerder en duidelijk gevisualiseerd zullen worden.

PhotoScan kent een groot aantal instellingen, die elk toelaten de modellen voor een bepaalde toepassing te optimaliseren. In deze studie werden niet alle mogelijkheden van het programma ten volle benut. Eender welke combinatie van foto's kan gebruikt worden voor de weergave van de textuur. Dit laat nieuwe gezichtspunten op een tafereel toe dan de originele luchtfoto perspectieven (Verhoeven *et al.*, 2012b). Een verdere studie en vergelijking van de verschillende instellingen en hun eindproducten zou verdere informatie schaffen omtrent de mogelijke toepassingen van dit systeem.

Bij PhotoScan zijn de eindproducten meteen gebruiksklaar en visueel zeer aantrekkelijk. Ze zijn ideaal voor diverse multimedia toepassingen, zoals animaties in musea of onderwijs.

7.2 Digitale programma's

Voor beide programma's is voldoende krachtige hardware nodig. Stereo-visualisatie met behulp van een 3D-bril in VirtuoZo (zie 6.2.8) was slechts mogelijk met een ouderwetse CRT-monitor. Om flikkeren van het beeld te vermijden moet de *refresh rate* van de monitor, het aantal keer per seconde dat de hardware al zijn pixels kan vernieuwen, minstens 120 Hz bedragen. Voor dit onderzoek waren nog geen moderne LCD *flatscreens* met deze *refresh rate* beschikbaar. Recente ontwikkelingen op het vlak van stereovisie met LCD-schermen kunnen deze bijkomende hardware-vereisten misschien verhelpen.

Voor beide programma's geldt dat een hogere nauwkeurigheid gepaard gaat met een langere verwerkingstijd. De totale verwerkingsduur ligt echter aanzienlijk lager bij PhotoScan, omdat het volledige model samen wordt verwerkt. Tijdens het onderzoek deed VirtuoZo er ongeveer even lang over om een stereokoppel te verwerken als PhotoScan om tot het volledige eindproduct te komen. Bovendien is de verwerking bij PhotoScan minder arbeidsintensief.

Bij vergelijking van de eindproducten (zie 7.3.2) blijkt dat de resultaten uit de fotogrammetrie en fotomodellering zeer dicht bij elkaar liggen en kleiner zijn dan de verschillen van beide met de manuele plannen. De zeer kleine onderlinge verschillen tussen de digitale plannen kunnen evenzeer te wijten zijn aan fouten tijdens de digitalisatie en beeldinterpretatie van schaduwen en vervormde stenen als aan fouten in de orthofoto's.

Uit de vergelijking van hun foutenrapporten blijkt ook dat de resultaten van VirtuoZo en PhotoScan zeer dicht bij elkaar liggen. Alleen de absolute oriëntaties konden tot op zekere hoogte met elkaar vergeleken worden. De twee pakketten zijn gebaseerd op andere algoritmen en verwerkingsprocedures, wat een stapsgewijze vergelijking tussen beide onmogelijk maakt. PhotoScan verschaft geen verdere informatie omtrent de andere stappen in het verwerkingsproces. Bovendien bevat PhotoScan minder instellingen en statistieken die toelaten de kwaliteit en nauwkeurigheid van de processen rechtstreeks na te gaan.

7.3 Digitale toepassingen in de archeologie

Deze studie bevestigt de voordelen van de digitale werkwijze waar andere auteurs reeds op wezen.

7.3.1 Voordelen bij data-acquisitie

Het eerste en grootste voordeel van de digitale data-acquisitie is dat een zeer grote hoeveelheid gegevens op korte tijd kan worden opgenomen. Mits een grondige voorbereiding, waarbij de methodologie getest wordt en wordt nagekeken dat al het noodzakelijke materiaal aanwezig is, kan de opname op het terrein zeer efficiënt verlopen. De data-collectie zelf neemt een minimum aan tijd in beslag. Voor de opname door middel van foto's moest in dit onderzoek slechts enkele keren om de site heen gelopen worden om een voldoende aantal

bruikbare foto's te bekomen. De foto's werden meteen op de computer gevisualiseerd en hun bruikbaarheid kon meteen geïnspecteerd worden.

Een tweede voordeel is dat digitale dataverwerking kan worden uitgevoerd met een minimum aan materiaal. In het onderzoek werd alleen een camera gebruikt, en een totaalstation voor de inmeting van enkele GCP's of controle-afstanden. Dit zorgt voor een grote mobiliteit in het veld.

Een derde voordeel ligt in het feit dat er geen aanraking met de monumenten noodzakelijk is. Daardoor zijn de methoden zeer voordelig voor de documentatie van kwetsbaar erfgoed (Plets *et al.*, 2012).

Een vierde voordeel van de digitale data-acquisitie is de hoge nauwkeurigheidsgraad. Hoewel een hoge geometrische nauwkeurigheid voor archeologische toepassingen meestal geen vereiste is, konden punten aan de hand van het totaalstation met relatief gemak tot op enkele millimeters correct ingemeten worden. Deze werkwijze neemt niet meer tijd in beslag dan het manueel inmeten van de site. Na het uitzetten van een basisnet en de correcte opstelling van het toestel kunnen de punten snel en accuraat ingemeten worden.

Een vijfde voordeel van de digitale werkwijze, is dat de aard en de hoeveelheid van de informatie die men uit de site afleidt pas achteraf hoeft te worden vastgelegd. Daardoor kan de informatie gebruikt worden voor eender welk doeleinde. Er kan altijd teruggegrepen worden naar de orthofoto's om eventueel ontbrekende informatie aan te vullen.

7.3.2 Voordelen van nauwkeurigheid

De intekening van archeologische plannen gebeurt meestal nog manueel. Over de opgraving wordt een raster gespannen en met behulp van eenvoudige lint- en vouwmeters worden dan de relevant geachte structuren op millimeterpapier ingetekend.

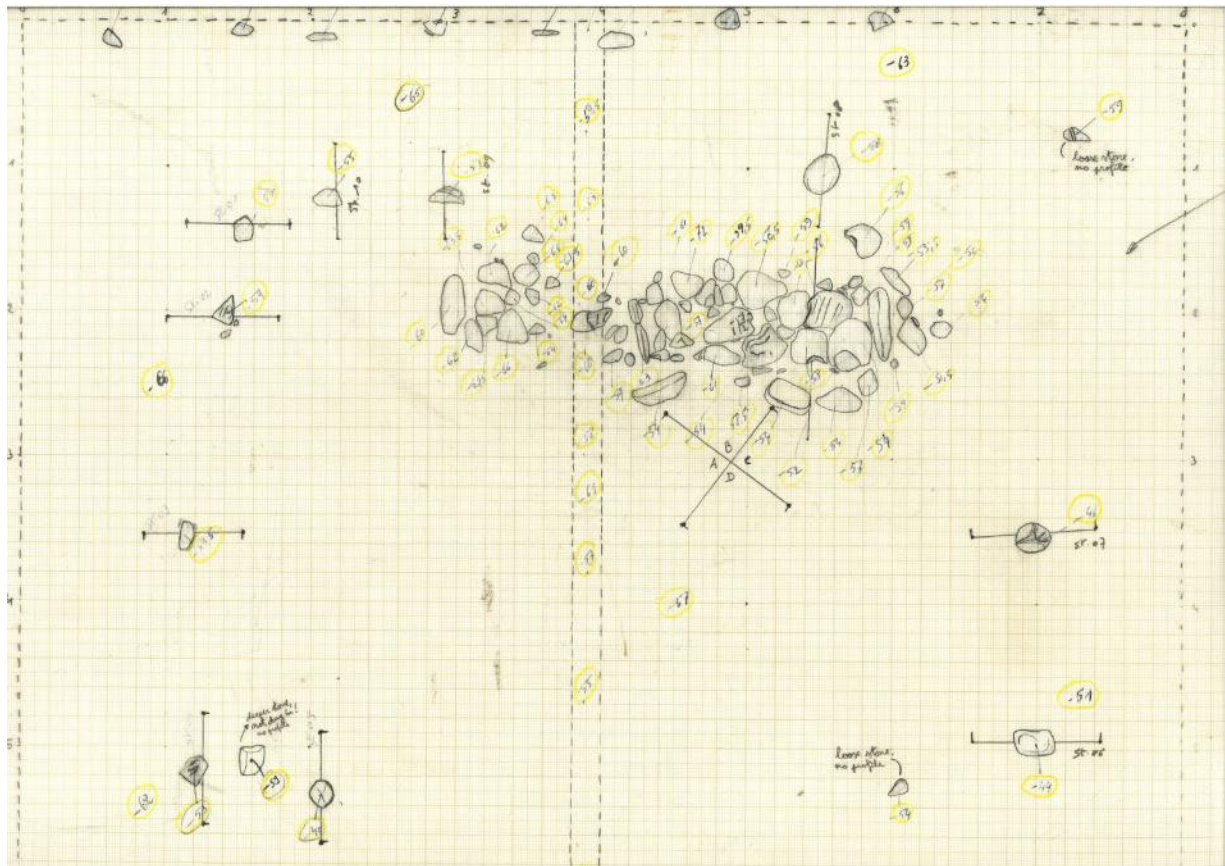


Figuur 34: Manuele registratiemethode

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie, juli 2011

Deze techniek laat op het vlak van nauwkeurigheid veel te wensen over. De nauwkeurigheid van de meetinstrumenten ligt op zich al niet erg hoog. Er treden gemakkelijk grote fouten op, door het schuin houden van de meter, ongewild stoten tegen het raster, of andere verschuivingen van de lintmeters of het raster door bijvoorbeeld sterke wind, zoals in Yustyd veel voorkwam. De nauwkeurigheid van de plannen kan gemakkelijk variëren tot een tiental centimeter.

Bovendien is de opname van de elementen volkomen subjectief en hangt ze sterk af van de achtergrondkennis en het waarnemingsvermogen van de tekenaar. Slechts enkele willekeurige punten worden op het terrein ingemeten. De vorm van de objecten en hun relatieve ligging ten opzichte van elkaar wordt nadien door de tekenaar ingeschat. Als deze bepaalde structuren over het hoofd ziet, of op het moment van opname niet als relevant beschouwt, gaat deze informatie onherroepelijk verloren. Ze zal niet opgenomen worden in nieuwe inzichten en theorieën. De plannen kunnen zeker niet als cartografisch correct materiaal beschouwd worden.



Figuur 35: Archeologisch opgravingsplan van KA-771-006, manuele intekening

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie

De informatie op de manuele plannen is niet continu en gelijkmatig over het plan verdeeld. Er worden slechts enkele, onregelmatige punten gemeten en wordt de rest relatief ten opzichte hiervan getekend. Van een steen worden bijvoorbeeld de hoekpunten ingemeten en worden daarna de contouren van de steen zo goed mogelijk nagetekend. Bij de digitale plannen gebeurt dit door de stenen te omlijnen aan de hand van een orthofoto. Deze ligt op de achtergrond en de contouren kunnen gemakkelijk gevolgd worden tijdens het digitaliseren. Wanneer men de achtergrond wegneemt blijft er een mooie lijntekening, waarop alle elementen hun correcte vorm hebben.

Hoewel de aanmaak van de digitale plannen en de selectie van de relevante elementen uiteindelijk ook op basis van subjectieve criteria gebeuren, zullen de metrische gegevens en de vorm en afmetingen van de objecten steeds nauwkeurig zijn. Bovendien hebben deze kaarten het grote voordeel dat ze meteen ook georeferereerd zijn. Doorheen het volledige plan is de informatie continu en gelijk geschaald. Dit levert een veel objectiever en

nauwkeuriger beeld van de structuur van de site. Dit is belangrijk omdat de plannen vaak het enige middel zijn waarop latere studies zich baseren.

De beste manier om de manuele methode met de digitale te vergelijken is door ze samen te visualiseren. Door de verschillende plannen over elkaar heen te leggen en de verschillen in de omtrek en ligging van de stenen te noteren, is een objectieve vergelijking mogelijk.

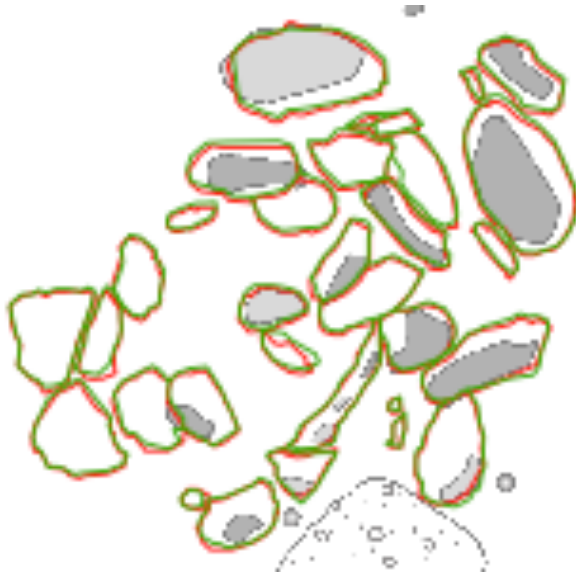
In ArcGIS werden digitale plannen getekend, zowel op basis van de orthofoto's uit VirtuoZo en deze uit PhotoScan. Door de vakgroep Archeologie werden de manuele tekeningen ingescand en werden op basis hiervan archeologische plannen gegenereerd. Deze werden in ArcGIS ingeladen en gegeoreferend. Daarna konden ze als basis dienen voor enkele vergelijkingskaarten, waarin de plannen uit PhotoScan en VirtuoZo als overlay over de resultaten van de traditionele methode werden gelegd. De plannen bevinden zich in bijlage 5.

Er werd een zekere verschuiving tussen de stenen waargenomen, hoewel deze verschuivingen niet van die aard zijn dat zij een probleem vormen voor de archeologie. Het is in feite opmerkelijk dat de nauwkeurigheid zo goed is. De stenen hebben op de manuele tekening soms een andere vorm en grootte dan op de orthofoto's. Dit is misschien niet relevant om een inzicht te krijgen in de simpele structuren van de dwellings, maar voor gedetailleerde en complexe structuren is dergelijke nauwkeurigheid belangrijker en allicht moeilijker te verwezenlijken.

De resultaten uit de fotogrammetrie en fotomodellering blijken zeer dicht bij elkaar te liggen en zijn kleiner dan de verschillen van beide met de tekening. De zeer kleine onderlinge verschillen tussen de digitale plannen kunnen evenzeer te wijten zijn aan fouten tijdens de digitalisatie en beeldinterpretatie van schaduwen en vervormde stenen als aan fouten in de orthofoto's.

Sommige kleine stenen werden op de manuele plannen ingetekend en niet op de digitale plannen uit VirtuoZo en PhotoScan. Dit komt doordat zij tijdens de digitalisatie, uitgevoerd door een niet-archeoloog, niet als belangrijk onderdeel van de structuren werden gezien. De interpretatie van de gebruiker kan steeds verschillende eindproducten leveren. De selectie van

de data is de taak van de archeoloog. Op de manuele plannen ontbreekt om onbekende redenen een groot deel van het platform van KA-771-016.



Figuur 36: Detail van het steenplatform van KA-771-016, op basis van manuele intekening (grijs), VirtuoZo (groen) en PhotoScan (rood)

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie. Eigen verwerking

Ook al zijn millimeternauwkeurigheden voor archeologische opgravingen in principe geen vereiste, een opgraving is een destructief proces en biedt slechts een eenmalige gelegenheid om informatie te bekomen (Doneus *et al.*, 2011). Fotogrammetrische en beeldmodelleringsmethoden leveren een hoge ruimtelijke nauwkeurigheid en grote densiteit aan informatie. Maar een wederzijdse verstandhouding en samenwerking tussen de fotogrammetrist en de archeoloog is onontbeerlijk, indien de fotogrammetrie de uitkomst van het archeologisch onderzoek wil verbeteren (Cooper & Robson, 1994). De fotogrammetrist kan de archeoloog niet vervangen daar slechts deze met kennis van zaken kan bepalen welke informatie relevant is.

7.4 Software voor archeologisch onderzoek

Uit dit onderzoek blijkt duidelijk dat PhotoScan een ideale software is voor toepassing in de archeologie. Het is een volautomatisch programma dat uitmunt door snelheid en gebruiksgemak voor niet-specialisten. Deze studie bevestigt de bevindingen van Plets *et al.* (2012) en Verhoeven *et al.* (2012a) dat ook niet-specialisten in het veld van de

fotogrammetrie en geodesie gemakkelijk met de software van PhotoScan overweg kunnen. Ook dit onderzoek toont aan dat de resultaten en eindproducten van PhotoScan meer dan volstaan voor de vereisten van archeologische toepassingen, zoals Verhoeven *et al.* (2012a, 2012b) en Doneus *et al.* (2011) reeds stelden. Voor specifiek fotogrammetrische toepassingen kunnen specialisten met VirtuoZo allicht nauwkeuriger en meer gecontroleerd werken.

De site kan op verschillende schalen en detailniveaus gereconstrueerd worden, van een globale reconstructie van de volledige site tot gedetailleerde reconstructies van elk individueel object of monument. In de archeologie zijn details vaak van zeer groot belang en PhotoScan beschikt hierdoor dan ook over een groot voordeel. De bruikbaarheid van het pakket voor detailopnames werd geïllustreerd door Plets *et al.* (2012) in toepassingen op petroglyefenpanelen tijdens de expeditie naar Siberië in juli 2011.

Hoewel tijdens vorige expedities vele uitzonderlijke en complexe monumenten werden geobserveerd, werden deze nooit in detail gedocumenteerd en gekarteerd. De standaard technieken en tekeningen bleken hiervoor niet toereikend. Plets *et al.* (2012) ontwikkelden een methodologie aan de hand van PhotoScan die toelaat grote, onregelmatige panelen en zeer kleine insnijdingen veel nauwkeuriger te documenteren. De nieuwe documentatietechniek werd uitgetest op een groot aantal oppervlakte-monumenten, onder andere sites KA-771-006 en KA-771-016, en op verschillende petroglyefenpanelen. PhotoScan verhoogde de zichtbaarheid van kleine, verweerde stenen, opschriften en inkervingen. De methodologie heeft een veel lagere impact op het kwetsbare erfgoed dan de traditionele tracing en rubbing technieken. Hoewel de panelen in eerste instantie soms weinig duidelijke tekens of beelden bevatten, werden op de 3D modellen verborgen decoraties en afbeeldingen in de reliëfvoorstelling duidelijk onthuld (Plets *et al.*, 2012).

PhotoScan kan bovendien overweg met beelden en gegevens die voorheen niet bruikbaar werden geacht. Het programma kan werken met nagenoeg elk soort beeldmateriaal en zelfs met volledig ongesorteerde fotocollecties. De foto's hoeven dus niet optimaal te zijn. Buiten een voldoende aantal gebiedsdekkende scherpe foto's vereist PhotoScan slechts drie GCP's voor het volledige model. Voor VirtuoZo zijn er drie GCP's nodig per stereokoppel. Bovendien kan PhotoScan ook werken met slechtverspreide punten (Verhoeven *et al.*, 2012a, 2012b).

Photoscan laat toe om de foto's vlak na of tijdens het terreinwerk zelf meteen op een computer te downloaden en te visualiseren. Er is geen omslachtige procedure zoals bij VirtuZo om door het aaneenzetten van individuele orthofotobeelden tot een mozaïek te komen. Doneus *et al.* (2011) toonden bovendien aan dat zelfs hoogtemodellen van een lagere kwaliteit, en dus een lagere verwerkingstijd, reeds volstaan voor de digitale voorstelling van een opgraving voor archeologische documentatie. Bovendien is, in tegenstelling tot VirtuZo, geen complexe en kostelijke opstelling vereist. De visualisatie en meting kan dus op het terrein, nagenoeg in *realtime*, gebeuren. De bruikbaarheid van de foto's en de methodologie kan meteen onderzocht worden en eventueel kunnen meteen bijkomende data verzameld worden (Doneus *et al.*, 2011; Verhoeven, 2011; Plets *et al.*, 2012).

Het mooie uitzicht van de producten van PhotoScan kan bijdragen tot een hogere appreciatie van het archeologisch onderzoek bij onder andere sponsors, overheden en het brede publiek.

8. BESLUIT

Orthofoto's en 3D-modellen kunnen automatisch worden gegenereerd uit fotografische beelden van een object, aan de hand van algoritmen en technieken uit de fotogrammetrie en fotomodellering. Ook in de archeologie stijgt de vraag naar dergelijke producten en naar vlotte, gemakkelijke en goedkope beeldverwerkingstechnieken. Dit onderzoek wijst uit dat de producten van softwarepakketten zoals VirtuoZo en PhotoScan een toegevoegde waarde bieden ten opzichte van de gangbare manueel getekende archeologische plannen.

Fotogrammetrische pakketten, zoals VirtuoZo, vereisen een groot aantal grondcontrolepunten, een complexe technische installatie, en een zekere vakkennis en vaardigheid. Zij zijn daarom voor archeologische toepassingen niet gebruiksvriendelijk.

Nieuwe fotomodelleringspakketten, zoals PhotoScan, bieden een flexibele, eenvoudige en sterk geautomatiseerde verwerkingsprocedure, zonder dat hiervoor gespecialiseerde kennis en materiaal noodzakelijk is. Ze zijn ideaal geschikt voor implementatie in een archeologische *workflow* en terreinomstandigheden. Vooral omdat zij in verschillende resolutieniveaus kunnen werken en kleine details kunnen weergeven, bieden deze systemen voor de archeologie een groot voordeel boven de manuele en fotogrammetrische methoden. Ook leveren zij een visueel zeer aantrekkelijk eindproduct.

PhotoScan is echter zo gebruiksvriendelijk omdat het eigenlijk een *black box* is. Het gevaar bestaat dat niet-specialisten allerlei handelingen uitvoeren zonder echt te weten wat ze doen. Dat kan leiden tot fouten, onnauwkeurigheden en verkeerde conclusies.

Het zou ideaal zijn indien de doorzichtigheid van VirtuoZo kon gecombineerd worden met de gebruiksvriendelijkheid van PhotoScan.

De praktische uitwerking van dit onderzoek werd bemoeilijkt doordat de hardware verouderd was en de databestanden zeer groot waren. Hierdoor verliep de verwerking met VirtuoZo langzamer en moeizamer dan nodig was. Het zou interessant zijn om dit onderzoek uit te voeren met een recente versie van VirtuoZo en op moderne hardware.

Het was ook niet mogelijk om in het kader van dit onderzoek alle instellingen van PhotoScan uit te testen. Dit zou een beter beeld kunnen geven over de optimale keuze voor elke specifieke toepassing. Ook hier is verder onderzoek misschien nuttig.

Deze studie bevestigt de bevindingen van ander onderzoek dat fotogrammetrische en beeldverwerkingspakketten, in het bijzonder PhotoScan, een essentieel instrument kunnen en moeten worden voor de documentatie van archeologische opgravingen.



Figuur 37: De steppe te Yustyd, met KA-771-006

Bron: Birger Stichelbaut, juli 2011

9. REFERENTIELIJST

9.1 Publicaties

Aber, J. S., Marzoff, I., Ries, J. B. (2010) *Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications*. Amsterdam: Elsevier.

Agisoft LLC (2011) *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 0.8.4*. (<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/>. 29/03/2012).

Antrop, M., De Maeyer, Ph. (2008) *Theoretische concepten van GIS*. Gent: Academia Press.

Arias, P., Herráez, J., Lorenzo, H., Ordóñez, C. (2005) "Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods". *Computers & Structures*. 83 (21-22), 1754-1766.

Atkinson, K. B. (2001) *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Caithness: Whittles Publishing.

Bao-Yen Tsui, J. (2000) *Fundamentals of Global Positioning System Receivers; A Software Approach*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Barceló, J. A., De Castro, O., Travet, D., Vicente, O. (2003) "A 3D model of an archaeological excavation". In: Doerr, M., Sarris, A. (Red.) *The Digital Heritage of Archaeology: Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Hellenic Ministry of Culture. Archive of Monuments and Publications.

Beraldin, J.-A., Picard, M., El-Hakim, S., Godin, G., Paquet, E., Peters, S., Rioux, M., Valzano, V., Bandiera, A. (2005) "Combining 3D technologies for cultural heritage interpretation and entertainment". In: *SPIE Electronic Imaging "Videometrics IX"*. San Jose.

Bourgeois, J., Gheyle, W. (2005) *"The frozen tombs of the Altai Mountains: Survey and inventory of archaeological sites and permafrost occurrence in the Dzhazator Valley"*. Rapport. Gent: Universiteit Gent.

Bourgeois, J., De Wulf, A., Goossens, R., Gheyle, W. (2007) "Saving the frozen Scythian tombs of the Altai Mountains (Central Asia)". *World Archaeology*. 39 (3), 458-474.

Cooper, M. A. R., Robson, S. (1994) "A hierarchy of photogrammetric records for archaeology and architectural history". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 49 (5), 31-37.

De Maeyer, Ph., Van de Weghe, N. (2007) *Inleiding geomatica*. Gent: Academia Press.

De Maeyer, Ph. (2009) *Cartografie*. Gent: Academia Press.

De Maeyer, Ph. (2010) *GI-Management: Management van en met geografische informatie*. Gent: Academia Press.

De Wulf, A. (2007) *Topografie*. Onuitgegeven syllabus. Universiteit Gent: Vakgroep Geografie.

Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, Ch., Kucera, M., Neubauer, W. (2011) "From deposit to point cloud: A study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations". In: *Proceedings of XXIII CIPA International Symposium*. Praag.

Fujii, Y., Fodde, E., Watanabe, K., Murakami, K. (2009) "Digital photogrammetry for the documentation of structural damage in earthen archaeological sites: The case of Ajina Tepa, Tajikistan". *Engineering Geology*. 105 (1-2), 124-133.

Gelli, D., March, R., Salonia, P., Vitulano, D. (2003) "Surface analysis of stone materials integrating spatial data and computer vision techniques". *Journal of Cultural Heritage*. 4 (2), 117-125.

Gheyle, W. (2009) *Highlands and Steppes: An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altai Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic period*. Onuitgegeven scriptie. Universiteit Gent: Vakgroep Archeologie.

Goossens, R., De Wulf, A., Bourgeois, J., Gheyle, W., Willems, T. (2006) "Satellite imagery and archaeology: The example of CORONA in the Altai Mountains". *Journal of Archaeological Science*. 33 (6), 745-755.

Goossens, R. (2007) *Fotogrammetrie*. Onuitgegeven syllabus. Universiteit Gent: Vakgroep Geografie.

Goossens, R., Devriendt, D. (2007) *Digitale fotogrammetrie met de nadruk op zeer hoge resolutie beelden*. Onuitgegeven syllabus. Universiteit Gent: Vakgroep Geografie.

Grün, A., Remondino, F., Zhang, L. (2004) "Photogrammetric reconstruction of the great buddha of Bamiyan, Afghanistan". *The Photogrammetric Record*. 19 (107), 177-199.

Guidi, G., Beraldin, J.-A., Atzeni, C. (2004) "High-accuracy 3-D Modeling of cultural heritage: The digitizing of Donatello's "Maddalena"". *IEEE Transactions on Image Processing*. 13 (3), 370-80.

Haegler, S., Müller, P., Van Gool, L. (2009) "Procedural modeling for digital cultural heritage". *EURASIP Journal on Image and Video Processing*.

Jacobson-Tepfer, E. (2008) "Culture and landscape in the High Altai". In: Han, J., Frank, L., Treselian, D. (Red.) *The Preservation of the Frozen Tombs of the Altai Mountains*. Paris: UNESCO World Heritage Centre, 31-34

Linder, W. (2009) *Digital Photogrammetry, a Practical Course*. Berlin: Springer-Verlag.

Mikhail, E. M., Bethel, J. S., McGlone, J. C. (2001) *Modern Photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Muls, A., De Wulf, A. (2008) *Precisie en kalibratie van totaalstations*. Gent: Academia Press.

Neubauer, W. (2001) "Images of the invisible - prospection methods for the documentation of threatened archaeological sites". *Naturwissenschaften*. 88 (1), 13-24.

Núñez Andrés, A., Buill Pozuelo, F., Regot Marimón, J., De Mesa Gisbert, A. (2012) "Generation of virtual models of cultural heritage". *Journal of Cultural Heritage*. 13 (1), 103-106.

Phillips, E. D. (1957) "New light on the ancient history of the Eurasian steppe". *American Journal of Archaeology*. 61 (3), 269-280.

Plets, G., Gheyle, W., Plets, R., Dvornikov, E. P., Bourgeois, J. (2011) "A line through the sacred lands of the Altai Mountains : Perspectives on the Altai pipeline project". *Mountain Research and Development*. 31 (4), 372-379.

Plets, G., Gheyle, W., Verhoeven, G., De Reu, J., Bourgeois, J., Verhegge, J., Stichelbaut, B. (2012a) "Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains". *Antiquity*. Artikel in druk.

Plets, G., De Reu, J., De Clercq, W. (2012b) "Snelle en efficiënte documentatie van archeologisch erfgoed, een grote stap vooruit voor de archeologisch workflow". In: *Archeologisch forum 2012*. Tongeren: Forum Vlaamse Archeologie.

Pollefeys, M., Koch, R., Vergauwen, M., Van Gool, L. (2000) "Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 55, 251-267.

Pollefeys, M., Van Gool, L. (2002) "From images to 3D models". *Communications of the ACM*. 45 (7), 50-55.

Pollefeys, M., Van Gool, L., Vergauwen, M., Verbiest, F., Cornelis, K., Tops, J., Koch, R. (2004) "Visual modeling with a hand-held camera". *International Journal of Computer Vision*. 59 (3), 207-232.

Portalés, C., Lerma, J. L., Pérez, C. (2009) "Photogrammetry and augmented reality for cultural heritage applications". *The Photogrammetric Record*. 24 (128), 316-331.

Remondino, F., El-Hakim, S. (2006) "Image-based 3D modelling: A review". *The Photogrammetric Record*. 21 (115), 269-291.

Richards, J. D. (1998) "Recent trends in computer applications in archaeology". *Journal of Archaeological Research*. 6 (4), 331-382.

Robertson, D.P., Cipolla, R. (2009) "Structure from motion". In: Varga, M. (Red.) *Practical Image Processing and Computer Vision*. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Roscoe-Hudson, J., Sharp, T. (2001) "Globally corrected GPS (GcGPS): C-Nav GPS system". In: *Dynamic Positioning Conference*. Marine Technology Society.

Schuh, W., Kanngieser, E. (2008). "Recording, documentation and application of stereo views in cultural heritage". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37, 1029-1036.

Seitz, S., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., Szeliski, R. (2006) "A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms. In: *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington: IEEE. 1, 519-528.

Shahgedanova, M. (2002) *The Physical Geography of Northern Eurasia*. The Oxford Regional Environments Series. Oxford: University Press.

Slyusarenko I.Y., Krupochkin E.P., Bykov N.I. (2007) "Contemporary approaches to the problem of the cartography of archaeological monuments (case study of the Yustyd archaeological micro region, southeastern Altai)". In: Bourgeois J., Gheyle W., Babin V.,

Luk'yanenko V. (Red.) *The Frozen Tombs of the Altay Mountains: Strategies and Perspectives. UNESCO Workshop: compilation of papers following the conference held in Gorno-Altaysk, Altay Republic, Russian Federation, 28-31 March 2006.* Gorno-Altaysk: UNESCO, 272-279.

Smith, M. J., Chandler, J., Rose, J. (2009) "High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography". *Earth Surface Processes and Landforms.* 34, 155-161.

Surazakov A.S. (1988) "Irbistu 1". *Problemy izycheniya kul'tury naseleniya Gornogo Altaya.* Gorno-Altaysk: Gorno-Altayskiy Nauchno-Issledovatel'kiy Institut Istorii, Yazika i Literatury, 31-38.

Szeliski, R. (2010) *Computer Vision: Algorithms and Applications.* Londen: Springer-Verlag.

Tack, F., Debie, J., Goossens, R., De Meulemeester, J., Devriendt, D. (2005) "A feasible methodology for the use of close range photogrammetry for the recording of archaeological excavations". In: *Proceedings of XX CIPA International Symposium.* Turijn.

Ullman, S. (1979) "The interpretation of structure from motion". *Proceedings of the Royal Society of London B.* 203, 405-426.

Verhoeven, G. (2011) "Taking computer vision aloft: Archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with PhotoScan". *Archaeological Prospection.* 18, 67-73.

Verhoeven, G., Taelman, D., Vermeulen, F. (2012a) "Computer vision-based orthophoto mapping of complex archaeological sites: The ancient quarry of Pitarnha (Portugal-Spain). *Archaeometry.*

Verhoeven, G., Doneus, M., Briese, Ch., Vermeulen, F. (2012b) "Mapping by matching: A computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs". *Journal of Archaeological Science.* Artikel in druk.

Yastikli, N. (2007) "Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning". *Journal of Cultural Heritage*. 8 (4), 423-427.

Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., Dulgerler, O. N. (2007) "Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage". *Journal of Cultural Heritage*. 8 (4), 428-433.

9.2 Internetbronnen

<http://www.britannica.com/search?query=altai>. 26/05/2012

<http://www.cnavgnss.com/about>. 27/032012.

<http://www.itng.be/>. 14/02/2012.

http://mongolianaltai.uoregon.edu/arch_dwellinglines.php. 21/03/2012.

9.3 Softwareprogramma's

ArcGIS, ESRI

AutoCAD, Autodesk Inc.

Octopus Topo, ItnG bvba.

PhotoScan Professional, Agisoft LLC.

Photoshop, Adobe Inc.

VirtuoZo, Supresoft Inc.

Alle software werd ter beschikking gesteld door de Universiteit Gent.

10. BIJLAGEN

Bijlage 1: Lijst van gebruikte afkortingen.....	99
Bijlage 2: Absolute coördinaten van de grondcontrolepunten.....	100
Bijlage 3: VirtuoZo foutenrapporten.....	103
Bijlage 4: PhotoScan rapportering	152
Bijlage 5: Archeologische siteplans	160
Bijlage 7: Situeringskaart.....	167
Bijlage 8: Orthofoto's.....	zie CD-ROM

Bijlage 8 bevat de orthofoto's uit VirtuoZo en PhotoScan. Het zijn digitale bestanden en ze bevinden zich op de CD-ROM hieronder.

Bijlage 1: Lijst van gebruikte afkortingen

3D:	driedimensionaal
DEM:	Digital Elevation Model
DGPS:	Differential Global Positioning System
DTM:	Digital Terrain Model
dxg:	Drawing Exchange Format
GASU:	Gorno-Altai State University
GCP:	Grondcontrolepunt
GIS:	Geografisch Informatie Systeem
GPS:	Global Positioning System
Pixel:	Picture Element
RMSE:	Root Mean Square Error
SfM:	Structure from Motion
tfw:	Tiff World File
tiff:	Tagged Image File Format
TIN:	Triangular Irregular Network
UGent:	Universiteit Gent

Bijlage 2: Absolute coördinaten van de grondcontrolepunten

Bron: Eigen verwerking

KA-771-016

Punt nr	Easting (m)	Northing (m)	Punthoogte
1001	666919,414	5517606,275	2148,7993
1002	666921,876	5517607,262	2148,7966
1003	666924,352	5517607,927	2148,7605
1004	666925,556	5517604,112	2148,7151
1005	666923,001	5517603,103	2148,7134
1006	666920,943	5517602,435	2148,7249
1007	666921,323	5517604,473	2148,5955
1008	666920,620	5517606,365	2148,6765
1009	666919,389	5517605,180	2148,6152
1010	666920,382	5517605,151	2148,5537
1011	666921,220	5517605,817	2148,6169
1012	666921,631	5517605,240	2148,5754
1013	666919,921	5517603,813	2148,5454
1014	666922,450	5517602,683	2148,5146
1015	666921,017	5517603,742	2148,5623
1016	666922,115	5517604,335	2148,6260
1017	666921,644	5517601,992	2148,5269
1018	666921,922	5517603,258	2148,5803
1019	666924,267	5517603,293	2148,4897
1020	666923,090	5517604,605	2148,5859
1021	666924,441	5517604,757	2148,6147
1022	666925,484	5517605,759	2148,6057
1023	666925,220	5517603,303	2148,5886

1024	666923,421	5517605,450	2148,5630
1025	666924,878	5517607,083	2148,6406
1026	666923,455	5517606,963	2148,5796
1027	666922,697	5517605,976	2148,6780
1028	666921,626	5517606,455	2148,6130
1029	666923,322	5517607,883	2148,6526
1030	666924,148	5517605,897	2148,5598

KA-771-006

Punt nr	Easting (m)	Northing (m)	Punthoogte
2001	666895,815	5517609,690	2148,7095
2002	666892,617	5517608,862	2148,6401
2003	666889,801	5517608,451	2148,5894
2004	666889,016	5517612,952	2148,5894
2005	666891,671	5517613,811	2148,5815
2006	666894,341	5517614,715	2148,6021
2007	666895,212	5517610,857	2148,4993
2008	666894,579	5517609,793	2148,5339
2009	666893,538	5517610,331	2148,4866
2010	666895,976	5517611,758	2148,5354
2011	666894,327	5517611,636	2148,4907
2012	666892,839	5517611,517	2148,5471
2013	666895,139	5517612,718	2148,5354
2014	666894,224	5517613,547	2148,5144
2015	666892,934	5517613,129	2148,4653
2016	666892,615	5517614,087	2148,4912
2017	666893,536	5517612,313	2148,4136
2018	666892,088	5517612,645	2148,4834

2019	666890,543	5517613,433	2148,3896
2020	666888,354	5517612,063	2148,4038
2021	666889,474	5517611,454	2148,4473
2022	666890,386	5517612,309	2148,4702
2023	666891,446	5517611,658	2148,4512
2024	666890,087	5517610,494	2148,4116
2025	666889,080	5517609,520	2148,4604
2026	666891,127	5517610,834	2148,4243
2027	666892,031	5517610,031	2148,4202
2028	666890,620	5517609,670	2148,4888
2029	666891,573	5517609,086	2148,4614
2030	666892,954	5517609,681	2148,4622

Bijlage 3: VirtuoZo foutenrapporten

Bron: Eigen verwerking

110713D1koppel1

VirtuoZo Processing Information Report

 Close range image project hasn't the interior orientation information

 relative orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel1)

 Absolute orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel1)

 Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01734216	0.00835514	0.01515236
-0.00575094	0.01953316	0.00768075
0.00000022	-0.00000134	-0.00000731

Right SPOT-Image parameters:

0.02190972	0.00893375	0.02497115
-0.00689102	0.02524879	0.01239380
0.00000071	-0.00000139	-0.00001116

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	1030	0.004	-0.334	-0.488
	1013	0.250	1.053	1.173
	1002	-0.069	0.445	-0.350
	1001	0.148	-0.416	0.034
	1029	0.007	-0.243	-0.891
	1026	0.035	0.128	0.411
	1027	-0.069	0.029	1.386
	1008	0.057	1.019	-0.500
	1011	-0.170	0.232	2.224
	1024	0.350	0.956	0.804
	1020	0.130	-0.025	-0.396

1016 -0.021 -0.611 -0.383
1007 -0.507 -1.046 -0.260
1015 -0.186 -0.420 -1.538
1010 -0.006 -0.950 -1.256

RMS: mx = 0.192984 my = 0.643927
mxy = 0.672224 mz = 0.992725

Image matching information:
(D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel1)

Initial parameters

left image: rows =2220 columns =2988
right image: rows =2220 columns =2988

Match window width = 5
Match window length = 5
Searching range = 1
Match grid X_interval = 5
Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 3
MATCH_AREAS == 16 X 22

352 : 0 0.0 %
352 : 238 67.6 %
352 : 320 90.9 %
352 : 339 96.3 %
352 : 339 96.3 %
352 : 340 96.6 %
352 : 340 96.6 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 49 X 66

3234 : 0 0.0 %
3234 : 2215 68.5 %
3234 : 2855 88.3 %
3234 : 2990 92.5 %
3234 : 3036 93.9 %

3234 : 3068 94.9 %
3234 : 3083 95.3 %
3234 : 3091 95.6 %
3234 : 3101 95.9 %
3234 : 3103 95.9 %
3234 : 3106 96.0 %
3234 : 3106 96.0 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 148 X 199

29452 : 0 0.0 %
29452 : 12253 41.6 %
29452 : 17232 58.5 %
29452 : 19325 65.6 %
29452 : 20643 70.1 %
29452 : 21455 72.8 %
29452 : 22109 75.1 %
29452 : 22593 76.7 %
29452 : 23015 78.1 %
29452 : 23341 79.3 %
29452 : 23611 80.2 %
29452 : 23816 80.9 %

29452 : 24007 81.5 %
29452 : 24155 82.0 %
29452 : 24263 82.4 %
29452 : 24354 82.7 %
29452 : 24436 83.0 %
29452 : 24499 83.2 %
29452 : 24556 83.4 %
29452 : 24615 83.6 %
29452 : 24650 83.7 %
29452 : 24689 83.8 %
29452 : 24730 84.0 %
29452 : 24780 84.1 %
29452 : 24823 84.3 %
29452 : 24852 84.4 %
29452 : 24887 84.5 %
29452 : 24913 84.6 %
29452 : 24929 84.6 %
29452 : 24952 84.7 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 444 X 597

265068 : 0 0.0 %

265068 : 56606 21.4 %
 265068 : 89399 33.7 %
 265068 : 106822 40.3 %
 265068 : 119425 45.1 %

 265068 : 128595 48.5 %
 265068 : 135905 51.3 %
 265068 : 141757 53.5 %
 265068 : 146677 55.3 %
 265068 : 150654 56.8 %
 265068 : 154094 58.1 %
 265068 : 156744 59.1 %
 265068 : 159025 60.0 %
 265068 : 160876 60.7 %
 265068 : 162456 61.3 %
 265068 : 163741 61.8 %
 265068 : 164822 62.2 %
 265068 : 165725 62.5 %
 265068 : 166569 62.8 %
 265068 : 167273 63.1 %
 265068 : 167918 63.3 %
 265068 : 168426 63.5 %
 265068 : 168929 63.7 %
 265068 : 169351 63.9 %
 265068 : 169763 64.0 %
 265068 : 170097 64.2 %

265068 : 170399 64.3 %
 265068 : 170679 64.4 %
 265068 : 170938 64.5 %
 265068 : 171193 64.6 %
 265068 : 171427 64.7 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel1\product\110713D1koppel1.

dem

Check

Point

File

D:\11121ElizabethBelien\110713D1verwerkt\110713D1aangepast.txt

N0.	X	Y	Z	dZ
1001	91941.400	760627.500	79.900	-25.560
1002	92187.600	760726.200	79.700	-17.656
1007	92132.300	760447.300	59.600	-6.620
1008	92062.000	760636.500	67.700	-12.186
1010	92038.200	760515.100	55.400	-4.751

1011	92122.000	760581.700	61.700	-0.966
1012	92163.100	760524.000	57.500	-1.486
1013	91992.100	760381.300	54.500	-3.636
1015	92101.700	760374.200	56.200	-5.829
1016	92211.500	760433.500	62.600	-10.104
1020	92309.000	760460.500	58.600	-6.697
1021	92444.100	760475.700	61.500	-12.252
1024	92342.100	760545.000	56.300	-3.600
1026	92345.500	760696.300	58.000	-2.028
1027	92269.700	760597.600	67.800	-7.320
1028	92162.600	760645.500	61.300	-3.284
1029	92332.200	760788.400	65.300	-4.449
1030	92414.800	760589.700	56.000	-3.564

Number of points = 18
Mean value = -7.3
Absolute mean value = 7.3
Mean square root = 9.5

		No.	cent
dZ <=	1.0 :	1	5.6
1.0 < dZ <=	2.0 :	1	5.6
2.0 < dZ <=	3.0 :	1	5.6
3.0 < dZ <=	4.0 :	4	22.2
4.0 < dZ <=	5.0 :	2	11.1

5.0 < dZ <=	6.0 :	1	5.6
6.0 < dZ <=	10.0 :	3	16.7
10.0 < dZ <=	20.0 :	4	22.2
20.0 < dZ <=	100.0 :	1	5.6

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel1\product\110713D1koppel1.
orl

Dimensions [row X col]: 12858 X 16858

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000

Rotate angle: 0.00000 Degrees
 X_Ground PixelSize: 0.035000
 Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 91930.000 760360.000
 Bottom_Right coordinate[x,y]: 92519.995 760360.000
 Top_Left coordinate[x,y]: 91930.000 760809.995
 Top_Right coordinate[x,y]: 92519.995 760809.995

110713D1koppel2

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel2\110713D1koppel2)

Absolute orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel2\110713D1koppel2)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01273770	0.00739477	-0.01455755
-0.00480059	0.01516452	-0.00567799
0.00000037	-0.00000136	0.00000635

Right SPOT-Image parameters:

0.01262254	0.00698298	-0.01532518
-0.00469689	0.01554128	-0.00590932
0.00000061	-0.00000139	0.00000677

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	1016	0.515	-0.933	2.105
	1017	-0.301	0.368	-1.770
	1011	-0.595	1.002	-0.834
	1005	0.232	-0.178	0.020
	1023	-0.049	0.545	-0.232

1019	-0.116	-0.837	-0.000
1014	0.402	-0.624	0.634
1021	0.096	0.106	-0.440
1030	0.198	-0.044	0.280
1024	0.255	0.655	1.518
1026	-0.353	0.298	-0.880
1027	0.218	0.165	-0.331
1028	-0.087	0.834	-1.552
1010	0.148	0.354	-0.474
1012	0.286	-0.504	1.156
1007	-0.704	-0.348	0.042
1018	-0.317	-0.353	0.093
1013	1.020	-0.149	1.321
1015	-0.879	0.159	-0.723

RMS: mx = 0.444116 my = 0.530787
 mxy = 0.692079 mz = 0.984790

Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel2\110713D1koppel2)

Initial parameters

left image: rows =2376 columns =2988
 right image: rows =2376 columns =2988

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3
 MATCH_AREAS == 17 X 22

374 : 0 0.0 %
 374 : 243 65.0 %
 374 : 317 84.8 %
 374 : 340 90.9 %
 374 : 346 92.5 %
 374 : 349 93.3 %
 374 : 352 94.1 %

MATCH_BLOCK == 1

MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 52 X 66

3432 : 0 0.0 %
3432 : 2351 68.5 %
3432 : 2961 86.3 %
3432 : 3104 90.4 %
3432 : 3154 91.9 %
3432 : 3181 92.7 %
3432 : 3201 93.3 %
3432 : 3221 93.9 %
3432 : 3230 94.1 %
3432 : 3235 94.3 %
3432 : 3239 94.4 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 158 X 199

31442 : 0 0.0 %
31442 : 14401 45.8 %
31442 : 19205 61.1 %
31442 : 21276 67.7 %

31442 : 22664 72.1 %
31442 : 23550 74.9 %
31442 : 24251 77.1 %
31442 : 24755 78.7 %
31442 : 25167 80.0 %
31442 : 25494 81.1 %
31442 : 25759 81.9 %
31442 : 25967 82.6 %
31442 : 26125 83.1 %
31442 : 26279 83.6 %
31442 : 26392 83.9 %
31442 : 26482 84.2 %
31442 : 26556 84.5 %
31442 : 26622 84.7 %
31442 : 26679 84.9 %
31442 : 26732 85.0 %
31442 : 26770 85.1 %
31442 : 26808 85.3 %
31442 : 26847 85.4 %
31442 : 26874 85.5 %
31442 : 26899 85.6 %
31442 : 26927 85.6 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0

MATCH_AREAS == 475 X 597

283575 : 0 0.0 %
283575 : 62852 22.2 %
283575 : 93315 32.9 %
283575 : 108953 38.4 %
283575 : 120422 42.5 %
283575 : 128810 45.4 %
283575 : 135541 47.8 %
283575 : 140721 49.6 %
283575 : 144972 51.1 %
283575 : 148339 52.3 %
283575 : 151221 53.3 %
283575 : 153511 54.1 %
283575 : 155500 54.8 %
283575 : 157086 55.4 %
283575 : 158443 55.9 %
283575 : 159598 56.3 %
283575 : 160566 56.6 %
283575 : 161398 56.9 %
283575 : 162129 57.2 %
283575 : 162701 57.4 %
283575 : 163263 57.6 %
283575 : 163715 57.7 %
283575 : 164156 57.9 %

283575 : 164570 58.0 %
283575 : 164896 58.1 %
283575 : 165208 58.3 %
283575 : 165496 58.4 %
283575 : 165775 58.5 %
283575 : 166000 58.5 %
283575 : 166208 58.6 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel2\110713D1koppel2\product\
110713D1koppel2.dem

Check Point File:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1verwerkt\110713D1aangepast.txt

N0. X Y Z dZ
1005 92300.100 760310.300 71.300 -21.883
1006 92094.300 760243.500 72.500 -20.815
1007 92132.300 760447.300 59.600 -4.610
1008 92062.000 760636.500 67.700 -11.900
1010 92038.200 760515.100 55.400 -1.904

1011 92122.000 760581.700 61.700 -5.920
 1012 92163.100 760524.000 57.500 -3.380
 1014 92245.000 760268.300 51.500 0.140
 1015 92101.700 760374.200 56.200 -5.902
 1016 92211.500 760433.500 62.600 -6.625
 1017 92164.400 760199.200 52.700 -2.040
 1018 92192.200 760325.900 58.000 0.020
 1019 92426.700 760329.300 49.000 -4.785
 1020 92309.000 760460.500 58.600 2.000
 1021 92444.100 760475.700 61.500 -10.682
 1023 92522.000 760330.300 58.900 -13.060
 1024 92342.100 760545.000 56.300 -0.820
 1025 92487.800 760708.300 64.100 -5.800
 1027 92269.700 760597.600 67.800 -9.540
 1028 92162.600 760645.500 61.300 -5.960
 1030 92414.800 760589.700 56.000 -2.948

Number of points = 21
 Mean value = -6.5
 Absolute mean value = 6.7
 Mean square root = 9.0

No. cent

dZ <= 1.0 : 3 14.3

1.0 < dZ <= 2.0 : 2 9.5
 2.0 < dZ <= 3.0 : 2 9.5
 3.0 < dZ <= 4.0 : 1 4.8
 4.0 < dZ <= 5.0 : 2 9.5
 5.0 < dZ <= 6.0 : 4 19.0
 6.0 < dZ <= 10.0 : 2 9.5
 10.0 < dZ <= 20.0 : 3 14.3
 20.0 < dZ <= 100.0 : 2 9.5

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel2\110713D1koppel2\product\
 110713D1koppel2.orl

Dimensions [row X col]: 15744 X 18658

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000
Rotate angle: 0.00000 Degrees
X_Ground PixelSize: 0.035000
Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 91920.000 760166.000
Bottom_Right coordinate[x,y]: 92572.995 760166.000
Top_Left coordinate[x,y]: 91920.000 760717.005
Top_Right coordinate[x,y]: 92572.995 760717.005

110713D1koppel3

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel3\110713D1koppel3)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel3\110713D1koppel3)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.03034914	-0.06023820	-0.04734044
0.06822581	0.01995733	-0.02188364
-0.00000513	-0.00000071	0.00002328

Right SPOT-Image parameters:

0.01258388	-0.02542093	-0.02200093
0.03010038	0.01048038	-0.01046676
-0.00000165	-0.00000112	0.00000987

Residual: point NO. dX dY dZ

1008	-0.092	1.460	-1.069
1001	0.123	-0.517	0.219
1028	0.273	-0.134	-1.003
1018	0.110	-0.447	-0.519
1020	0.028	-0.208	0.059
1027	-0.109	0.487	-0.735
1011	-0.338	0.423	0.309
1017	-0.146	0.434	-0.541
1013	-0.107	-0.131	-0.929
1005	0.339	0.064	-0.405
1014	0.330	-0.358	-0.691
1010	0.233	-0.054	0.164
1012	-0.036	-0.453	1.526
1015	-0.333	-0.157	1.322
1016	-0.315	-0.416	2.295

RMS: mx = 0.225069 my = 0.504555
 mxy = 0.552478 mz = 0.975443

 Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel3\110713D1koppel3)

Initial parameters

left image: rows =2292 columns =3156
 right image: rows =2292 columns =3156

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3
 MATCH_AREAS == 16 X 23

368 : 0 0.0 %
 368 : 248 67.4 %
 368 : 339 92.1 %
 368 : 352 95.7 %
 368 : 353 95.9 %
 368 : 353 95.9 %
 368 : 354 96.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 50 X 70

3500 : 0 0.0 %
3500 : 2507 71.6 %
3500 : 3125 89.3 %
3500 : 3198 91.4 %
3500 : 3228 92.2 %
3500 : 3238 92.5 %
3500 : 3252 92.9 %
3500 : 3261 93.2 %
3500 : 3271 93.5 %
3500 : 3274 93.5 %
3500 : 3280 93.7 %
3500 : 3281 93.7 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 152 X 210

31920 : 0 0.0 %
31920 : 18227 57.1 %
31920 : 23084 72.3 %
31920 : 24622 77.1 %
31920 : 25539 80.0 %
31920 : 26079 81.7 %
31920 : 26463 82.9 %
31920 : 26768 83.9 %
31920 : 27006 84.6 %
31920 : 27154 85.1 %
31920 : 27274 85.4 %
31920 : 27369 85.7 %
31920 : 27446 86.0 %
31920 : 27510 86.2 %
31920 : 27571 86.4 %
31920 : 27623 86.5 %
31920 : 27667 86.7 %
31920 : 27702 86.8 %
31920 : 27727 86.9 %
31920 : 27756 87.0 %
31920 : 27777 87.0 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 458 X 631

288998 : 0 0.0 %
 288998 : 87543 30.3 %
 288998 : 132371 45.8 %
 288998 : 149548 51.7 %
 288998 : 160318 55.5 %
 288998 : 167747 58.0 %
 288998 : 173514 60.0 %
 288998 : 178041 61.6 %
 288998 : 181895 62.9 %
 288998 : 184907 64.0 %
 288998 : 187609 64.9 %
 288998 : 189570 65.6 %
 288998 : 191261 66.2 %
 288998 : 192697 66.7 %
 288998 : 193841 67.1 %
 288998 : 194779 67.4 %
 288998 : 195634 67.7 %
 288998 : 196376 68.0 %
 288998 : 197020 68.2 %
 288998 : 197590 68.4 %
 288998 : 198065 68.5 %
 288998 : 198422 68.7 %
 288998 : 198830 68.8 %

288998 : 199130 68.9 %
 288998 : 199449 69.0 %
 288998 : 199729 69.1 %
 288998 : 200003 69.2 %
 288998 : 200235 69.3 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel3\110713D1koppel3\product\
 110713D1koppel3.dem

Check Point File:
 D:\11121ElizabethBelien\110713D1verwerkt\110713D1aangepast.txt

N0.	X	Y	Z	dZ
1001	91941.400	760627.500	79.900	-19.850
1002	92187.600	760726.200	79.700	-8.064
1005	92300.100	760310.300	71.300	-11.531

1006	92094.300	760243.500	72.500	-18.770
1007	92132.300	760447.300	59.600	2.247
1008	92062.000	760636.500	67.700	-12.700
1009	91938.900	760518.000	61.500	-2.030
1010	92038.200	760515.100	55.400	0.640
1011	92122.000	760581.700	61.700	1.000
1012	92163.100	760524.000	57.500	1.470
1013	91992.100	760381.300	54.500	-1.090
1014	92245.000	760268.300	51.500	-3.050
1015	92101.700	760374.200	56.200	0.298
1016	92211.500	760433.500	62.600	-7.175
1017	92164.400	760199.200	52.700	-0.324
1018	92192.200	760325.900	58.000	-0.368
1020	92309.000	760460.500	58.600	-5.000
1027	92269.700	760597.600	67.800	-13.330
1028	92162.600	760645.500	61.300	-3.790

2.0 < dZ <= 3.0 :	2	10.5
3.0 < dZ <= 4.0 :	2	10.5
4.0 < dZ <= 5.0 :	1	5.3
5.0 < dZ <= 6.0 :	0	0.0
6.0 < dZ <= 10.0 :	2	10.5
10.0 < dZ <= 20.0 :	5	26.3
20.0 < dZ <= 100.0 :	0	0.0

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel3\110713D1koppel3\product\
110713D1koppel3.orl

Dimensions [row X col]: 19344 X 14715

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Number of points	=	19
Mean value	=	-5.3
Absolute mean value	=	5.9
Mean square root	=	8.6

No. cent

dZ <= 1.0 :	5	26.3
1.0 < dZ <= 2.0 :	2	10.5

Image Scale: 1 : 10000
 Rotate angle: 0.00000 Degrees
 X_Ground PixelSize: 0.035000
 Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 91860.000 760135.000
 Bottom_Right coordinate[x,y]: 92374.990 760135.000
 Top_Left coordinate[x,y]: 91860.000 760812.005
 Top_Right coordinate[x,y]: 92374.990 760812.005

110713D1koppel4

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel4\110713D1koppel4)

 Absolute orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel4\110713D1koppel4)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.03077840	-0.07050692	0.05443292
0.07932559	0.01922374	0.0254487
-0.00000573	-0.00000060	-0.00002694

Right SPOT-Image parameters:

0.02036215	-0.04378043	0.03979928
0.05003203	0.01455333	0.01938423
-0.00000337	-0.00000089	-0.00001885

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
1022	0.190	0.919	0.070	
1005	-0.216	-0.555	-0.716	

1027	-0.044	0.111	1.563
1028	0.170	0.464	-1.123
1019	0.161	-0.268	-0.823
1029	-0.584	-0.122	-0.854
1026	-0.189	-0.000	0.555
1002	0.693	0.536	0.769
1021	-0.123	-0.035	0.929
1025	0.105	-0.080	-0.155
1020	0.293	-0.263	1.561
1016	-0.513	-0.497	-0.848
1003	0.104	-0.140	-0.947

RMS: mx = 0.326025 my = 0.401768
 mxy = 0.517407 mz = 0.939162

 Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel4\110713D1koppel4)

 Initial parameters -----

left image: rows =2460 columns =3108

right image: rows =2460 columns =3108

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3
 MATCH_AREAS == 18 X 23

414 : 0 0.0 %
 414 : 221 53.4 %
 414 : 311 75.1 %
 414 : 338 81.6 %
 414 : 355 85.7 %
 414 : 360 87.0 %
 414 : 364 87.9 %
 414 : 364 87.9 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 54 X 69

3726 : 0 0.0 %
3726 : 1995 53.5 %
3726 : 2826 75.8 %
3726 : 3084 82.8 %
3726 : 3212 86.2 %
3726 : 3259 87.5 %
3726 : 3299 88.5 %
3726 : 3328 89.3 %
3726 : 3348 89.9 %
3726 : 3359 90.2 %
3726 : 3365 90.3 %
3726 : 3369 90.4 %
3726 : 3375 90.6 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 164 X 207

33948 : 0 0.0 %

33948 : 10505 30.9 %
33948 : 15224 44.8 %
33948 : 17656 52.0 %
33948 : 19300 56.9 %
33948 : 20509 60.4 %
33948 : 21494 63.3 %
33948 : 22176 65.3 %
33948 : 22703 66.9 %
33948 : 23134 68.1 %
33948 : 23508 69.2 %
33948 : 23788 70.1 %
33948 : 24022 70.8 %
33948 : 24214 71.3 %
33948 : 24384 71.8 %
33948 : 24513 72.2 %
33948 : 24633 72.6 %
33948 : 24738 72.9 %
33948 : 24813 73.1 %
33948 : 24874 73.3 %
33948 : 24933 73.4 %
33948 : 24989 73.6 %
33948 : 25045 73.8 %
33948 : 25092 73.9 %
33948 : 25138 74.0 %
33948 : 25171 74.1 %
33948 : 25217 74.3 %

33948 : 25247 74.4 %
33948 : 25270 74.4 %
33948 : 25283 74.5 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 492 X 621

305532 : 0 0.0 %
305532 : 47074 15.4 %
305532 : 74794 24.5 %
305532 : 91017 29.8 %
305532 : 103112 33.7 %
305532 : 112320 36.8 %
305532 : 119848 39.2 %
305532 : 126102 41.3 %
305532 : 131307 43.0 %
305532 : 135467 44.3 %
305532 : 139091 45.5 %
305532 : 141931 46.5 %
305532 : 144329 47.2 %
305532 : 146276 47.9 %
305532 : 148019 48.4 %
305532 : 149378 48.9 %

305532 : 150604 49.3 %
305532 : 151594 49.6 %
305532 : 152502 49.9 %
305532 : 153263 50.2 %
305532 : 153971 50.4 %
305532 : 154554 50.6 %
305532 : 155055 50.7 %
305532 : 155512 50.9 %
305532 : 155939 51.0 %
305532 : 156315 51.2 %
305532 : 156659 51.3 %
305532 : 156971 51.4 %
305532 : 157258 51.5 %
305532 : 157495 51.5 %
305532 : 157714 51.6 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel4\110713D1koppel4\product\
110713D1koppel4.dem

Check Point File:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1verwerkt\110713D1aangepast.txt

Absolute mean value = 8.9

Mean square root = 11.4

No.	X	Y	Z	dZ	No.	cent
1002	92187.600	760726.200	79.700	-22.280	dZ <= 1.0 :	2 11.8
1003	92435.200	760792.700	76.100	-19.050	1.0 < dZ <= 2.0 :	2 11.8
1004	92555.600	760411.200	71.500	-21.496	2.0 < dZ <= 3.0 :	0 0.0
1005	92300.100	760310.300	71.300	-17.003	3.0 < dZ <= 4.0 :	2 11.8
1014	92245.000	760268.300	51.500	3.200	4.0 < dZ <= 5.0 :	1 5.9
1016	92211.500	760433.500	62.600	-11.250	5.0 < dZ <= 6.0 :	0 0.0
1019	92426.700	760329.300	49.000	-1.195	6.0 < dZ <= 10.0 :	3 17.6
1020	92309.000	760460.500	58.600	-3.500	10.0 < dZ <= 20.0 :	5 29.4
1021	92444.100	760475.700	61.500	-11.260	20.0 < dZ <= 100.0 :	2 11.8
1022	92548.400	760575.900	60.600	-8.166		
1024	92342.100	760545.000	56.300	2.000		
1025	92487.800	760708.300	64.100	-10.076		
1026	92345.500	760696.300	58.000	0.950		
1027	92269.700	760597.600	67.800	-6.546		
1028	92162.600	760645.500	61.300	0.060		
1029	92332.200	760788.400	65.300	-9.048		
1030	92414.800	760589.700	56.000	4.670		

Number of points = 17

Mean value = -7.6

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\110713D1koppel4\110713D1koppel4\product\
110713D1koppel4.orl

Dimensions [row X col]: 17001 X 16544
Color model: 24-bits Color Image
X_Dimension PixelSize: 0.003500
X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000
Rotate angle: 0.00000 Degrees
X_Ground PixelSize: 0.035000
Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 92103.000 760259.000
Bottom_Right coordinate[x,y]: 92682.005 760259.000
Top_Left coordinate[x,y]: 92103.000 760854.000
Top_Right coordinate[x,y]: 92682.005 760854.000

110716D2koppell

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppell\110716D2koppell)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppell\110716D2koppell)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01387948	0.00567196	-0.01392841
-0.00295579	0.01598738	-0.00484660
0.00000023	-0.00000134	0.00000637

Right SPOT-Image parameters:

0.01505587 0.00550164 -0.01188652
 -0.00295725 0.01728723 -0.00461138
 0.00000028 -0.00000135 0.00000475

Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel1\110716D2koppel1)

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2021	0.507	-1.049	0.962
	2011	0.177	1.123	-1.353
	2009	-0.188	-0.517	1.773
	2007	0.237	0.023	-0.799
	2022	-0.274	0.230	-0.448
	2002	-0.132	-0.003	-0.358
	2015	-0.091	0.149	-0.340
	2014	-0.326	-0.195	-0.394
	2029	0.165	-0.036	0.942
	2028	-0.117	0.152	-1.007
	2013	-0.010	-0.926	1.294
	2024	-0.410	0.441	-0.763
	2018	0.348	0.674	0.407

RMS: mx = 0.265489 my = 0.573368
 mxy = 0.631851 mz = 0.938904

 Initial parameters

left image: rows =2820 columns =2424
 right image: rows =2820 columns =2424

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3
 MATCH_AREAS == 20 X 17

340 : 0 0.0 %
 340 : 157 46.2 %
 340 : 254 74.7 %

340 : 291 85.6 %
340 : 302 88.8 %
340 : 308 90.6 %
340 : 311 91.5 %
340 : 312 91.8 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 62 X 53

3286 : 0 0.0 %
3286 : 1739 52.9 %
3286 : 2732 83.1 %
3286 : 2926 89.0 %
3286 : 2970 90.4 %
3286 : 2988 90.9 %
3286 : 2998 91.2 %
3286 : 3007 91.5 %
3286 : 3012 91.7 %
3286 : 3016 91.8 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1

MATCH_AREAS == 188 X 161

30268 : 0 0.0 %
30268 : 9628 31.8 %
30268 : 15529 51.3 %
30268 : 18347 60.6 %
30268 : 20191 66.7 %
30268 : 21319 70.4 %
30268 : 22097 73.0 %
30268 : 22663 74.9 %
30268 : 23104 76.3 %
30268 : 23403 77.3 %
30268 : 23658 78.2 %
30268 : 23865 78.8 %
30268 : 24015 79.3 %
30268 : 24150 79.8 %
30268 : 24248 80.1 %
30268 : 24358 80.5 %
30268 : 24434 80.7 %
30268 : 24491 80.9 %
30268 : 24555 81.1 %
30268 : 24602 81.3 %
30268 : 24647 81.4 %
30268 : 24696 81.6 %
30268 : 24735 81.7 %

30268 : 24765 81.8 %
30268 : 24795 81.9 %
30268 : 24828 82.0 %
30268 : 24854 82.1 %
30268 : 24872 82.2 %
30268 : 24886 82.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 564 X 484

272976 : 0 0.0 %
272976 : 38561 14.1 %
272976 : 67631 24.8 %
272976 : 85559 31.3 %
272976 : 98572 36.1 %
272976 : 108333 39.7 %
272976 : 116171 42.6 %
272976 : 122452 44.9 %
272976 : 127774 46.8 %
272976 : 132146 48.4 %
272976 : 135915 49.8 %
272976 : 138957 50.9 %

272976 : 141477 51.8 %
272976 : 143601 52.6 %
272976 : 145379 53.3 %
272976 : 146896 53.8 %
272976 : 148116 54.3 %
272976 : 149119 54.6 %
272976 : 150050 55.0 %
272976 : 150790 55.2 %
272976 : 151452 55.5 %
272976 : 151997 55.7 %
272976 : 152541 55.9 %
272976 : 152981 56.0 %
272976 : 153393 56.2 %
272976 : 153772 56.3 %
272976 : 154130 56.5 %
272976 : 154424 56.6 %
272976 : 154710 56.7 %
272976 : 154941 56.8 %
272976 : 155163 56.8 %
272976 : 155350 56.9 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel1\110716D2koppel1\product\110716D2koppel1.dem

Mean square root = 5.4

No. cent

Check Point File: D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

dZ <= 1.0 :	2	16.7
1.0 < dZ <= 2.0 :	2	16.7
2.0 < dZ <= 3.0 :	1	8.3
3.0 < dZ <= 4.0 :	1	8.3
4.0 < dZ <= 5.0 :	1	8.3
5.0 < dZ <= 6.0 :	2	16.7
6.0 < dZ <= 10.0 :	2	16.7
10.0 < dZ <= 20.0 :	1	8.3
20.0 < dZ <= 100.0 :	0	0.0

N0.	X	Y	Z	dZ
2002	89261.700	760886.200	64.000	-11.640
2009	89353.800	761033.100	48.700	2.304
2012	89283.900	761151.700	54.700	0.651
2017	89353.600	761231.300	41.400	6.384
2018	89208.800	761264.600	48.300	-5.160
2022	89038.600	761230.900	47.000	-8.938
2023	89144.600	761165.800	45.100	-1.164
2026	89112.700	761083.400	42.400	1.114
2027	89203.100	761003.100	42.000	5.862
2028	89062.000	760967.000	48.900	-0.400
2029	89157.300	760908.600	46.100	-3.154
2030	89295.400	760968.200	46.200	4.364

Number of points = 12
 Mean value = -0.8
 Absolute mean value = 4.3

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel1\110716D2koppel1\product\110716D2koppel1.orl

Dimensions [row X col]: 14887 X 13258

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000
Rotate angle: 0.00000 Degrees
X_Ground PixelSize: 0.035000
Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 88971.000 760775.000

Bottom_Right coordinate[x,y]: 89434.995 760775.000

Top_Left coordinate[x,y]: 88971.000 761296.010

Top_Right coordinate[x,y]: 89434.995 761296.010

110716D2koppel2

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel2\110716D2koppel2)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel2\110716D2koppel2)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01545338	0.00535593	0.01545330
-0.00264558	0.01751738	0.00752397
0.00000019	-0.00000133	-0.00000700

Right SPOT-Image parameters:

0.01236823 0.00526444 0.01186987
 -0.00298427 0.01515536 0.00490044
 0.00000057 -0.00000138 -0.00000528

Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel2\110716D2koppel2)

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2022	0.151	0.048	0.551
	2019	0.567	0.270	0.007
	2012	0.062	-0.112	1.236
	2021	-0.410	-0.647	-0.287
	2026	0.218	0.318	1.356
	2011	-0.592	0.474	0.934
	2024	-0.234	0.311	0.175
	2028	-0.126	0.057	-1.105
	2015	0.133	0.552	0.027
	2005	0.092	0.206	0.125
	2027	-0.163	-0.681	-0.434
	2016	-0.359	-0.154	-1.351
	2009	0.578	-0.717	-1.212

RMS: mx = 0.339937 my = 0.419014
 mxy = 0.539564 mz = 0.849207

 _____ Initial parameters _____

left image: rows =2376 columns =3360
 right image: rows =2376 columns =3360

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

 MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3

MATCH_AREAS == 17 X 24

 408 : 0 0.0 %

408 : 206 50.5 %
408 : 297 72.8 %
408 : 322 78.9 %
408 : 329 80.6 %
408 : 331 81.1 %
408 : 331 81.1 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 52 X 74

3848 : 0 0.0 %
3848 : 1606 41.7 %
3848 : 2389 62.1 %
3848 : 2705 70.3 %
3848 : 2869 74.6 %
3848 : 2920 75.9 %
3848 : 2939 76.4 %
3848 : 2951 76.7 %
3848 : 2957 76.8 %
3848 : 2965 77.1 %
3848 : 2970 77.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 158 X 224

35392 : 0 0.0 %
35392 : 7706 21.8 %
35392 : 12588 35.6 %
35392 : 14918 42.2 %
35392 : 16415 46.4 %
35392 : 17568 49.6 %
35392 : 18449 52.1 %
35392 : 19100 54.0 %
35392 : 19624 55.4 %
35392 : 20073 56.7 %
35392 : 20417 57.7 %
35392 : 20701 58.5 %
35392 : 20929 59.1 %
35392 : 21084 59.6 %
35392 : 21210 59.9 %
35392 : 21337 60.3 %
35392 : 21440 60.6 %
35392 : 21540 60.9 %
35392 : 21613 61.1 %
35392 : 21689 61.3 %

35392 : 21743 61.4 %
35392 : 21794 61.6 %
35392 : 21837 61.7 %
35392 : 21872 61.8 %
35392 : 21900 61.9 %
35392 : 21940 62.0 %
35392 : 21971 62.1 %
35392 : 22000 62.2 %
35392 : 22027 62.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 475 X 672

319200 : 0 0.0 %
319200 : 28742 9.0 %
319200 : 50847 15.9 %
319200 : 65880 20.6 %

319200 : 77461 24.3 %
319200 : 86004 26.9 %
319200 : 92996 29.1 %
319200 : 98716 30.9 %
319200 : 103718 32.5 %

319200 : 107805 33.8 %
319200 : 111197 34.8 %
319200 : 113947 35.7 %
319200 : 116314 36.4 %
319200 : 118231 37.0 %
319200 : 119956 37.6 %
319200 : 121279 38.0 %
319200 : 122473 38.4 %
319200 : 123424 38.7 %
319200 : 124259 38.9 %
319200 : 125079 39.2 %
319200 : 125663 39.4 %
319200 : 126200 39.5 %
319200 : 126648 39.7 %
319200 : 127063 39.8 %
319200 : 127456 39.9 %
319200 : 127811 40.0 %
319200 : 128139 40.1 %
319200 : 128406 40.2 %
319200 : 128656 40.3 %
319200 : 128859 40.4 %

Residuals of Check Points from DEM:

2026 89112.700 761083.400 42.400 2.106

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel2\110716D2koppel2\pro
duct\110716D2koppel2.dem

Number of points = 15
Mean value = -3.0
Absolute mean value = 4.0
Mean square root = 5.7

Check Point File: D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

No. cent

NO. X Y Z dZ
2005 89167.100 761381.100 58.200 -11.180
2006 89434.100 761471.500 60.200 -8.045
2011 89432.800 761163.600 49.100 -1.764
2012 89283.900 761151.700 54.700 -8.102
2013 89513.900 761271.800 53.500 -0.450
2014 89422.400 761354.700 51.400 -8.784
2015 89293.400 761312.900 46.500 -0.120
2016 89261.600 761408.700 49.100 -11.190
2017 89353.600 761231.300 41.400 2.256
2018 89208.800 761264.600 48.300 -2.196
2019 89054.300 761343.300 39.000 -0.055
2022 89038.600 761230.900 47.000 0.226
2023 89144.600 761165.800 45.100 3.044
2024 89008.700 761049.400 41.200 -0.858

dZ <= 1.0 : 5 33.3
1.0 < dZ <= 2.0 : 1 6.7
2.0 < dZ <= 3.0 : 3 20.0
3.0 < dZ <= 4.0 : 1 6.7
4.0 < dZ <= 5.0 : 0 0.0
5.0 < dZ <= 6.0 : 0 0.0
6.0 < dZ <= 10.0 : 3 20.0
10.0 < dZ <= 20.0 : 2 13.3
20.0 < dZ <= 100.0 : 0 0.0

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel2\110716D2koppel2\pro
duct\110716D2koppel2.orl

Dimensions [row X col]: 14087 X 16972

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000

Rotate angle: 0.00000 Degrees

X_Ground PixelSize: 0.035000

Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 88965.000 761022.000

Bottom_Right coordinate[x,y]: 89558.985 761022.000

Top_Left coordinate[x,y]: 88965.000 761515.010

Top_Right coordinate[x,y]: 89558.985 761515.010

110716D1koppel3

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel3\110716D2koppel3)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel3\110716D2koppel3)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01121772 0.00563845 -0.01167279
-0.00312988 0.01364224 -0.00469439

0.0000039 -0.0000136 0.00000573

Right SPOT-Image parameters:

0.01011853 0.00518748 -0.01055039
-0.00269923 0.01244534 -0.00307140
0.00000039 -0.00000136 0.00000499

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2009	-0.527	-0.087	-0.694
	2012	-0.935	0.432	-1.398
	2013	-0.143	1.072	-0.721
	2027	-0.274	0.324	-0.741
	2023	0.237	-0.378	1.079
	2018	1.218	-0.328	0.517
	2015	0.629	-1.146	1.200
	2014	-0.131	0.218	-0.580
	2001	0.005	0.094	0.123
	2008	0.297	-0.235	1.150

RMS: mx= 0.573378 my= 0.558838

mxy= 0.800664 mz= 0.897337

Image matching information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel3\110716D2koppel3)

Initial parameters

left image: rows =2167 columns =2484
right image: rows =2167 columns =2484

Match window width = 5
Match window length = 5
Searching range = 1
Match grid X_interval = 5
Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 3
MATCH_AREAS == 19 X 18

342 : 0 0.0%

342 : 182 53.2 %
342 : 277 81.0 %
342 : 291 85.1 %
342 : 292 85.4 %
342 : 292 85.4 %
342 : 292 85.4 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 59 X 55

3245 : 0 0.0 %
3245 : 1792 55.2 %
3245 : 2495 76.9 %
3245 : 2589 79.8 %
3245 : 2603 80.2 %
3245 : 2603 80.2 %
3245 : 2604 80.2 %
3245 : 2607 80.3 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1

MATCH_AREAS == 178 X 165

29370 : 0 0.0 %
29370 : 14510 49.4 %
29370 : 20540 69.9 %
29370 : 21486 73.2 %
29370 : 21694 73.9 %
29370 : 21823 74.3 %
29370 : 21918 74.6 %
29370 : 22002 74.9 %
29370 : 22100 75.2 %
29370 : 22156 75.4 %
29370 : 22196 75.6 %
29370 : 22232 75.7 %
29370 : 22254 75.8 %
29370 : 22281 75.9 %
29370 : 22298 75.9 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 535 X 496

265360 : 0 0.0 %
 265360 : 74458 28.1 %
 265360 : 125785 47.4 %
 265360 : 149730 56.4 %
 265360 : 162350 61.2 %
 265360 : 168897 63.6 %
 265360 : 172871 65.1 %
 265360 : 175502 66.1 %
 265360 : 177472 66.9 %
 265360 : 178816 67.4 %
 265360 : 180002 67.8 %
 265360 : 180802 68.1 %
 265360 : 181416 68.4 %
 265360 : 181960 68.6 %
 265360 : 182412 68.7 %
 265360 : 182741 68.9 %
 265360 : 183000 69.0 %
 265360 : 183239 69.1 %
 265360 : 183423 69.1 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel3\110716D2koppel3\product\110716D2koppel3.dem

Check Point File: D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

N0.	X	Y	Z	dZ
2001	89581.500	760969.000	71.000	-5.150
2007	89521.200	761085.700	49.900	3.586
2008	89457.900	760979.300	53.400	-0.551
2009	89353.800	761033.100	48.700	-3.372
2010	89597.600	761175.800	53.500	-9.296
2011	89432.800	761163.600	49.100	2.608
2012	89283.900	761151.700	54.700	-13.264
2013	89513.900	761271.800	53.500	-11.656
2014	89422.400	761354.700	51.400	-11.378
2015	89293.400	761312.900	46.500	-24.448
2017	89353.600	761231.300	41.400	4.388
2030	89295.400	760968.200	46.200	-4.620

Number of points = 12
 Mean value = -6.1

Absolute mean value = 7.9
Mean square root = 10.1

	No.	cent
dZ <= 1.0 :	1	8.3
1.0 < dZ <= 2.0 :	0	0.0
2.0 < dZ <= 3.0 :	1	8.3
3.0 < dZ <= 4.0 :	2	16.7
4.0 < dZ <= 5.0 :	2	16.7
5.0 < dZ <= 6.0 :	1	8.3
6.0 < dZ <= 10.0 :	1	8.3
10.0 < dZ <= 20.0 :	3	25.0
20.0 < dZ <= 100.0 :	1	8.3

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel3\110716D2koppel3\pro
duct\110716D2koppel3.orl

Dimensions [row X col]: 28115 X 16544

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000

Rotate angle: 0.00000 Degrees

X_Ground PixelSize: 0.035000

Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 89143.000 760537.000

Bottom_Right coordinate[x,y]: 89722.005 760537.000

Top_Left coordinate[x,y]: 89143.000 761520.990

Top_Right coordinate[x,y]: 89722.005 761520.990

110716D1koppel4

VirtuoZo Processing Information Report

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel4\110716D2koppel4)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel4\110716D2koppel4)

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2005	0.273	0.028	0.196
	2018	-0.390	-0.386	-1.842
	2016	-0.224	0.051	-1.105
	2015	0.328	-0.002	1.419
	2010	0.182	-0.453	-0.061
	2012	-0.037	-0.438	-0.243
	2023	0.263	0.806	1.352
	2007	0.042	0.456	-0.162
	2006	-0.377	0.052	0.446

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.02892183 0.00637802 0.02948132
-0.00349464 0.03044106 0.01604499
-0.00000009 -0.00000130 -0.00001243

Right SPOT-Image parameters:

0.02106188 0.00741193 0.02258801
-0.00508673 0.02393397 0.01004791
0.00000050 -0.00000137 -0.00001036

RMS: mx = 0.264951 my = 0.395701
mxy = 0.476213 mz = 0.987797

Image matching information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel4\110716D2koppel4)

Initial parameters -----

left image: rows =2220 columns =3312
right image: rows =2220 columns =3312

Match window width = 5
Match window length = 5
Searching range = 1
Match grid X_interval = 5
Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 3
MATCH_AREAS == 16 X 24

384 : 0 0.0 %
384 : 204 53.1 %
384 : 300 78.1 %
384 : 324 84.4 %
384 : 330 85.9 %
384 : 331 86.2 %
384 : 331 86.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 49 X 73

3577 : 0 0.0 %
3577 : 1867 52.2 %
3577 : 2629 73.5 %
3577 : 2833 79.2 %
3577 : 2920 81.6 %
3577 : 2938 82.1 %
3577 : 2958 82.7 %
3577 : 2961 82.8 %
3577 : 2966 82.9 %
3577 : 2974 83.1 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 148 X 220

32560 : 0 0.0 %
32560 : 12137 37.3 %
32560 : 17655 54.2 %
32560 : 19959 61.3 %
32560 : 21259 65.3 %
32560 : 22014 67.6 %
32560 : 22553 69.3 %

32560 : 22955 70.5 %
32560 : 23272 71.5 %
32560 : 23513 72.2 %
32560 : 23699 72.8 %
32560 : 23854 73.3 %
32560 : 23969 73.6 %
32560 : 24069 73.9 %
32560 : 24170 74.2 %
32560 : 24236 74.4 %
32560 : 24295 74.6 %
32560 : 24348 74.8 %
32560 : 24384 74.9 %
32560 : 24424 75.0 %
32560 : 24466 75.1 %
32560 : 24495 75.2 %
32560 : 24523 75.3 %
32560 : 24545 75.4 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 444 X 662

293928 : 0 0.0 %
293928 : 52115 17.7 %
293928 : 82740 28.1 %
293928 : 101345 34.5 %
293928 : 115302 39.2 %
293928 : 125278 42.6 %
293928 : 133366 45.4 %
293928 : 139829 47.6 %
293928 : 145247 49.4 %
293928 : 149453 50.8 %
293928 : 153077 52.1 %
293928 : 155909 53.0 %
293928 : 158457 53.9 %
293928 : 160467 54.6 %
293928 : 162133 55.2 %
293928 : 163476 55.6 %
293928 : 164671 56.0 %
293928 : 165643 56.4 %
293928 : 166504 56.6 %
293928 : 167256 56.9 %
293928 : 167860 57.1 %
293928 : 168436 57.3 %
293928 : 168955 57.5 %
293928 : 169417 57.6 %
293928 : 169803 57.8 %
293928 : 170123 57.9 %

293928 : 170423 58.0 %
 293928 : 170685 58.1 %
 293928 : 170940 58.2 %
 293928 : 171171 58.2 %

Number of points = 7
 Mean value = -6.6
 Absolute mean value = 7.6
 Mean square root = 10.2

Residuals of Check Points from DEM:

No. cent

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel4\110716D2koppel4\pro
 duct\110716D2koppel4.dem

Check Point File: D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

dZ <= 1.0 : 1 14.3
 1.0 < dZ <= 2.0 : 0 0.0
 2.0 < dZ <= 3.0 : 1 14.3
 3.0 < dZ <= 4.0 : 1 14.3
 4.0 < dZ <= 5.0 : 1 14.3
 5.0 < dZ <= 6.0 : 0 0.0
 6.0 < dZ <= 10.0 : 1 14.3
 10.0 < dZ <= 20.0 : 2 28.6
 20.0 < dZ <= 100.0 : 0 0.0

N0.	X	Y	Z	dZ
2006	89434.100	761471.500	60.200	-19.600
2013	89513.900	761271.800	53.500	-4.282
2014	89422.400	761354.700	51.400	-7.314
2015	89293.400	761312.900	46.500	0.328
2016	89261.600	761408.700	49.100	-2.410
2017	89353.600	761231.300	41.400	3.276
2018	89208.800	761264.600	48.300	-16.004

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel4\110716D2koppel4\pro
 duct\110716D2koppel4.ori

Dimensions [row X col]: 11715 X 16287
Color model: 24-bits Color Image
X_Dimension PixelSize: 0.003500
X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000
Rotate angle: 0.00000 Degrees
X_Ground PixelSize: 0.035000
Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 89183.000 761161.000
Bottom_Right coordinate[x,y]: 89753.010 761161.000
Top_Left coordinate[x,y]: 89183.000 761570.990
Top_Right coordinate[x,y]: 89753.010 761570.990

110716D2koppel5

Close range image project hasn't the interior orientation information

relative orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel5\110716D2koppel5)

Absolute orientation information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel5\110716D2koppel5)

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01745992	0.00579323	0.01395924
-0.00323843	0.01983611	0.00694493
0.00000030	-0.00000134	-0.00000667

Right SPOT-Image parameters:

0.02199395 0.00737424 0.01830366
 -0.00499136 0.02448401 0.01048341
 0.00000036 -0.00000135 -0.00000820

Initial parameters

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2025	0.198	0.083	0.181
	2005	-0.365	-0.434	0.365
	2020	-0.016	0.036	-0.400
	2023	-0.175	-0.091	-0.017
	2019	-0.395	-0.198	0.207
	2018	1.185	0.518	-0.938
	2026	0.146	-0.003	1.176
	2027	-0.311	0.432	-0.223
	2028	-0.297	-0.563	-0.324
	2004	0.035	0.280	-0.015

left image: rows =2268 columns =2868
 right image: rows =2268 columns =2868

Match window width = 5
 Match window length = 5
 Searching range = 1
 Match grid X_interval = 5
 Match grid Y_interval = 5

RMS: mx = 0.443958 my = 0.330788
 mxy = 0.553642 mz = 0.527890

MATCH_BLOCK == 1
 MATCH_LEVEL == 3
 MATCH_AREAS == 16 X 21

Image matching information:
 (D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel5\110716D2koppel5)

336 : 0 0.0 %
 336 : 176 52.4 %
 336 : 292 86.9 %
 336 : 318 94.6 %

336 : 321 95.5 %
336 : 323 96.1 %
336 : 323 96.1 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 50 X 63

3150 : 0 0.0 %
3150 : 1574 50.0 %
3150 : 2496 79.2 %
3150 : 2777 88.2 %
3150 : 2831 89.9 %
3150 : 2852 90.5 %
3150 : 2869 91.1 %
3150 : 2884 91.6 %
3150 : 2894 91.9 %
3150 : 2902 92.1 %
3150 : 2912 92.4 %
3150 : 2916 92.6 %
3150 : 2918 92.6 %
3150 : 2921 92.7 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 151 X 191

28841 : 0 0.0 %
28841 : 10637 36.9 %
28841 : 17991 62.4 %
28841 : 21305 73.9 %
28841 : 22852 79.2 %
28841 : 23584 81.8 %
28841 : 23999 83.2 %
28841 : 24220 84.0 %
28841 : 24375 84.5 %
28841 : 24495 84.9 %
28841 : 24616 85.4 %
28841 : 24705 85.7 %
28841 : 24759 85.8 %
28841 : 24813 86.0 %
28841 : 24849 86.2 %
28841 : 24886 86.3 %
28841 : 24919 86.4 %
28841 : 24942 86.5 %
28841 : 24964 86.6 %
28841 : 24992 86.7 %
28841 : 25010 86.7 %

28841 : 25018 86.7 %

28841 : 25027 86.8 %

MATCH_BLOCK == 1

MATCH_LEVEL == 0

MATCH_AREAS == 453 X 573

259569 : 0 0.0 %

259569 : 45126 17.4 %

259569 : 79632 30.7 %

259569 : 103171 39.7 %

259569 : 119984 46.2 %

259569 : 131999 50.9 %

259569 : 141203 54.4 %

259569 : 148249 57.1 %

259569 : 153963 59.3 %

259569 : 158383 61.0 %

259569 : 161899 62.4 %

259569 : 164558 63.4 %

259569 : 166765 64.2 %

259569 : 168533 64.9 %

259569 : 170037 65.5 %

259569 : 171191 66.0 %

259569 : 172222 66.3 %

259569 : 173025 66.7 %

259569 : 173770 66.9 %

259569 : 174381 67.2 %

259569 : 174977 67.4 %

259569 : 175418 67.6 %

259569 : 175871 67.8 %

259569 : 176275 67.9 %

259569 : 176595 68.0 %

259569 : 176877 68.1 %

259569 : 177149 68.2 %

259569 : 177396 68.3 %

259569 : 177600 68.4 %

259569 : 177772 68.5 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel5\110716D2koppel5\product\110716D2koppel5.dem

Check Point File: D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

N0.	X	Y	Z	dZ
2004	88901.600	761295.200	58.900	-0.040
2005	89167.100	761381.100	58.200	-16.068
2019	89054.300	761343.300	39.000	0.790
2020	88835.400	761206.300	40.400	-0.392
2021	88947.500	761145.400	44.700	4.070
2022	89038.600	761230.900	47.000	3.272
2023	89144.600	761165.800	45.100	-4.944
2026	89112.700	761083.400	42.400	-1.438

Number of points = 8
Mean value = -1.8
Absolute mean value = 3.9
Mean square root = 6.3

	No.	cent
dZ <= 1.0 :	3	37.5
1.0 < dZ <= 2.0 :	1	12.5
2.0 < dZ <= 3.0 :	0	0.0
3.0 < dZ <= 4.0 :	1	12.5
4.0 < dZ <= 5.0 :	2	25.0
5.0 < dZ <= 6.0 :	0	0.0
6.0 < dZ <= 10.0 :	0	0.0
10.0 < dZ <= 20.0 :	1	12.5

20.0 < dZ <= 100.0 : 0 0.0

VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel5\110716D2koppel5\product\110716D2koppel5.orl

Dimensions [row X col]: 12144 X 14201

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

Image Scale: 1 : 10000

Rotate angle: 0.00000 Degrees

X_Ground PixelSize: 0.035000

Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 88730.000 761052.000
 Bottom_Right coordinate[x,y]: 89227.000 761052.000
 Top_Left coordinate[x,y]: 88730.000 761477.005
 Top_Right coordinate[x,y]: 89227.000 761477.005

Absolute orientation information:

Left SPOT-Image parameters:

0.01708552 0.00544429 -0.01550809
 -0.00258755 0.01882212 -0.00735226
 0.00000002 -0.00000132 0.00000735

110716D2koppel6

VirtuoZo Processing Information Report

Right SPOT-Image parameters:

0.02288297 0.00697374 -0.01466474
 -0.00462735 0.02566447 -0.00672405
 0.00000045 -0.00000137 0.00000587

Close range image project hasn't the interior orientation information

Residual:	point NO.	dX	dY	dZ
	2028	0.189	-0.122	1.699
	2027	0.186	0.083	-0.217
	2030	-0.510	-0.326	0.078
	2026	0.526	0.063	1.368
	2012	0.306	-0.185	0.009
	2023	-0.419	0.287	-0.057
	2022	-0.033	0.511	-1.051
	2020	0.066	0.240	-0.780

relative orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel6\110716D2koppel6)

Absolute orientation information:
 (D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel6\110716D2koppel6)

2003 -0.035 0.149 -0.151
2029 0.323 0.012 -1.441
2025 -0.126 -0.294 -0.444
2021 -0.624 -0.379 1.036

RMS: mx = 0.340667 my = 0.261361
mxy = 0.429376 mz = 0.908110

Image matching information:
(D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel6\110716D2koppel6)

Initial parameters

left image: rows =2316 columns =2952
right image: rows =2316 columns =2952

Match window width = 5
Match window length = 5
Searching range = 1
Match grid X_interval = 5
Match grid Y_interval = 5

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 3
MATCH_AREAS == 17 X 21

357 : 0 0.0 %
357 : 154 43.1 %
357 : 283 79.3 %
357 : 335 93.8 %
357 : 340 95.2 %
357 : 340 95.2 %
357 : 340 95.2 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 2
MATCH_AREAS == 51 X 65

3315 : 0 0.0 %
3315 : 1519 45.8 %
3315 : 2610 78.7 %
3315 : 2951 89.0 %
3315 : 3020 91.1 %
3315 : 3038 91.6 %

3315 : 3048 91.9 %
3315 : 3062 92.4 %
3315 : 3074 92.7 %
3315 : 3076 92.8 %
3315 : 3079 92.9 %
3315 : 3080 92.9 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 1
MATCH_AREAS == 154 X 196

30184 : 0 0.0 %
30184 : 7964 26.4 %
30184 : 13749 45.6 %
30184 : 17024 56.4 %
30184 : 19025 63.0 %

30184 : 20216 67.0 %
30184 : 21031 69.7 %
30184 : 21607 71.6 %
30184 : 22102 73.2 %
30184 : 22462 74.4 %
30184 : 22748 75.4 %
30184 : 22998 76.2 %

30184 : 23185 76.8 %
30184 : 23344 77.3 %
30184 : 23478 77.8 %
30184 : 23576 78.1 %
30184 : 23671 78.4 %
30184 : 23750 78.7 %
30184 : 23806 78.9 %
30184 : 23873 79.1 %
30184 : 23929 79.3 %
30184 : 23985 79.5 %
30184 : 24029 79.6 %
30184 : 24053 79.7 %
30184 : 24078 79.8 %
30184 : 24112 79.9 %
30184 : 24135 80.0 %
30184 : 24150 80.0 %
30184 : 24167 80.1 %

MATCH_BLOCK == 1
MATCH_LEVEL == 0
MATCH_AREAS == 463 X 590

273170 : 0 0.0 %
273170 : 32852 12.0 %

273170 : 56543 20.7 %
 273170 : 74311 27.2 %
 273170 : 88912 32.5 %
 273170 : 100090 36.6 %
 273170 : 109051 39.9 %
 273170 : 116220 42.5 %
 273170 : 122315 44.8 %
 273170 : 127405 46.6 %
 273170 : 131683 48.2 %
 273170 : 135160 49.5 %
 273170 : 138017 50.5 %
 273170 : 140247 51.3 %
 273170 : 142176 52.0 %
 273170 : 143699 52.6 %
 273170 : 145029 53.1 %
 273170 : 146055 53.5 %
 273170 : 147022 53.8 %
 273170 : 147790 54.1 %
 273170 : 148518 54.4 %
 273170 : 149151 54.6 %
 273170 : 149689 54.8 %
 273170 : 150169 55.0 %
 273170 : 150583 55.1 %
 273170 : 150954 55.3 %
 273170 : 151312 55.4 %
 273170 : 151602 55.5 %

273170 : 151888 55.6 %
 273170 : 152143 55.7 %
 273170 : 152363 55.8 %
 273170 : 152584 55.9 %

Residuals of Check Points from DEM:

DEM file:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel6\110716D2koppel6\product\110716D2koppel6.dem

Check Point File:D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2aangepast.txt

N0.	X	Y	Z	dZ
2002	89261.700	760886.200	64.000	-7.532
2003	88980.100	760845.100	58.900	-25.610
2023	89144.600	761165.800	45.100	-5.176
2024	89008.700	761049.400	41.200	3.474
2025	88908.100	760952.000	46.100	1.400

2026	89112.700	761083.400	42.400	2.650
2027	89203.100	761003.100	42.000	0.227
2028	89062.000	760967.000	48.900	2.100
2029	89157.300	760908.600	46.100	-1.152

Number of points = 9
 Mean value = -3.3
 Absolute mean value = 5.5
 Mean square root = 9.2

No. cent

dZ <= 1.0 :	1	11.1
1.0 < dZ <= 2.0 :	2	22.2
2.0 < dZ <= 3.0 :	2	22.2
3.0 < dZ <= 4.0 :	1	11.1
4.0 < dZ <= 5.0 :	0	0.0
5.0 < dZ <= 6.0 :	1	11.1
6.0 < dZ <= 10.0 :	1	11.1
10.0 < dZ <= 20.0 :	0	0.0
20.0 < dZ <= 100.0 :	1	11.1

 VirtuoZo image file information (Ortho Image):

Image name:

D:\11121ElizabethBelien\site2\110716D2koppel6\110716D2koppel6\product\110716D2koppel6.orl

Dimensions [row X col]: 13772 X 14687

Color model: 24-bits Color Image

X_Dimension PixelSize: 0.003500

X_Dimension PixelSize: 0.003500

Geographic informations:

 Image Scale: 1 : 10000

Rotate angle: 0.00000 Degrees

X_Ground PixelSize: 0.035000

Y_Ground PixelSize: 0.035000

Bottom_Left coordinate[x,y]: 88761.000 760702.000

Bottom_Right coordinate[x,y]: 89275.010 760702.000

Top_Left coordinate[x,y]: 88761.000 761183.985

Top_Right coordinate[x,y]: 89275.010 761183.985

Bijlage 4: PhotoScan rapportering

Bron: Eigen onderzoek

KA-771-016

```
# projection: PROJCS["WGS 84 / UTM zone 45N",GEOGCS["WGS 84",DATUM["World Geodetic System 1984",SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,AUTHORITY["EPSG","7030"]],TOWGS84[0,0,0,0,0,0],AUTHORITY["EPSG","6326"]],PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]],UNIT["degree",0.017453292519943,AUTHORITY["EPSG","9122"]],AUTHORITY["EPSG","4326"]],PROJECTION["Transverse_Mercator",AUTHORITY["EPSG","9807"]],PARAMETER["latitude_of_origin",0],PARAMETER["central_meridian",87],PARAMETER["scale_factor",0.9996],PARAMETER["false_easting",500000],PARAMETER["false_northing",0],UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],AUTHORITY["EPSG","32645"]]
```

#	Label	X/East	Y/North	Z/Altitude	Yaw	Pitch	Roll	Error (m)	X error	Y error	Z error	Error (deg)	Yaw error	Pitch error	Roll error
		X est	Y est	Z est	Yaw est	Pitch est	Roll est								
1001		666919.413958	5517606.274652	2148.799316					0.003787	-0.001491	0.001220		0.003261		
			666919.412431	5517606.275824	2148.802577										
1002		666921.876363	5517607.261518	2148.796631					0.004988	-0.004411	0.001994		0.001203		
			666921.871894	5517607.263374	2148.797834										
1003		666924.351992	5517607.927395	2148.760498					0.005416	0.002630	-0.001907		0.004334		
			666924.354678	5517607.925571	2148.764832										
1004		666925.556380	5517604.112052	2148.715088					0.006147	-0.002428	0.003038		0.004760		
			666925.553861	5517604.115013	2148.719848										
1005		666923.001303	5517603.102962	2148.713379					0.005823	-0.005522	0.001845		0.000067		
			666922.995729	5517603.104634	2148.713446										
1006		666920.942816	5517602.435152	2148.724854					0.002043	-0.000857	-0.000398		0.001812		
			666920.941972	5517602.434728	2148.726665										

1007	666921.323002	5517604.472530	2148.595459	0.005965	-0.004031	-0.004072	-0.001658
		666921.319101	5517604.468337	2148.593801			
1008	666920.620388	5517606.365252	2148.676514	0.010640	0.002783	0.010110	0.001801
		666920.622857	5517606.375439	2148.678315			
1009	666919.389156	5517605.180251	2148.615234	0.002394	-0.001164	-0.001087	0.001787
		666919.388026	5517605.179129	2148.617022			
1010	666920.382423	5517605.151309	2148.553711	0.007454	0.007342	0.000314	-0.001246
		666920.389749	5517605.151849	2148.552465			
1011	666921.219649	5517605.817213	2148.616943	0.000676	-0.000649	-0.000055	0.000179
		666921.219002	5517605.817138	2148.617122			
1012	666921.631220	5517605.240359	2148.575439	0.008231	0.004274	-0.005027	-0.004921
		666921.635645	5517605.235468	2148.570518			
1013	666919.921473	5517603.812727	2148.545410	0.002872	-0.001960	0.000561	0.002022
		666919.919497	5517603.813227	2148.547432			
1014	666922.449912	5517602.683315	2148.514648	0.004445	0.003882	-0.001590	-0.001470
		666922.453840	5517602.681846	2148.513178			
1015	666921.017058	5517603.741766	2148.562256	0.001283	0.000090	0.001216	0.000401
		666921.017110	5517603.742983	2148.562657			
1016	666922.115444	5517604.335128	2148.625977	0.004309	-0.000817	-0.004230	-0.000072
		666922.114758	5517604.330876	2148.625905			
1017	666921.643552	5517601.992074	2148.526855	0.001925	0.001821	-0.000294	-0.000549
		666921.645380	5517601.991836	2148.526306			
1018	666921.922070	5517603.258477	2148.580322	0.005192	-0.004455	0.002419	-0.001123
		666921.917544	5517603.260756	2148.579199			
1019	666924.266629	5517603.292985	2148.489746	0.001498	0.001020	-0.001083	-0.000172
		666924.267682	5517603.291935	2148.489575			

1020	666923.089874	5517604.604663	2148.585938		0.004041	0.000691	-0.003011	-0.002605	
		666923.090657	5517604.601676	2148.583332					
1021	666924.440905	5517604.757273	2148.614746		0.004292	-0.004015	-0.000849	-0.001258	
		666924.436920	5517604.756301	2148.613488					
1022	666925.484341	5517605.759031	2148.605713		0.005885	0.003626	0.004239	-0.001874	
		666925.487833	5517605.763378	2148.603839					
1023	666925.219516	5517603.303286	2148.588623		0.009294	0.004495	0.007170	0.003843	
		666925.223785	5517603.310589	2148.592466					
1024	666923.421307	5517605.449633	2148.562988		0.007224	0.002042	0.006097	-0.003294	
		666923.423159	5517605.455787	2148.559695					
1025	666924.877822	5517607.083065	2148.640625		0.001426	0.000616	-0.000985	0.000827	
		666924.878468	5517607.082100	2148.641452					
1026	666923.455249	5517606.962873	2148.579590		0.006906	-0.003276	-0.005534	-0.002517	
		666923.452147	5517606.957242	2148.577072					
1027	666922.696684	5517605.976072	2148.677979		0.003909	-0.000634	-0.003157	-0.002216	
		666922.696148	5517605.972898	2148.675762					
1028	666921.626084	5517606.454674	2148.613037						
1029	666923.322111	5517607.883467	2148.652588						
1030	666924.148419	5517605.896814	2148.559814		0.007218	-0.000038	-0.007058	-0.001511	
		666924.148599	5517605.889761	2148.558303					
IMG_0213.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380739.604271	756058.500015	4815277.903508	2278998.232889
		666922.876255	5517607.321916	2153.057604	164.704609	10.169470	0.085221		
IMG_0214.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380738.673494	756054.937426	4815277.795192	2278997.446063
		666920.577374	5517606.576679	2153.054536	167.704580	9.359021	1.181809		

IMG_0207.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380735.277149	756056.931813	4815275.050382	2278994.565107
		666921.999237	5517602.631254	2153.033016	343.844028	13.750450	0.857745
IMG_0208.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380736.032509	756060.643241	4815275.016196	2278995.189482
		666924.401233	5517603.178991	2153.013739	346.044573	14.401131	0.933715
IMG_0217.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380737.307786	756053.700758	4815277.005026	2278996.301408
		666919.815564	5517605.147709	2153.066690	74.491988	10.432090	-0.199995
IMG_0218.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380735.515978	756054.581273	4815275.606628	2278994.733488
		666920.452284	5517603.115683	2152.980545	74.138857	8.450316	1.947059
IMG_0226.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380737.648041	756062.378428	4815275.909680	2278996.540285
		666925.480489	5517604.849343	2152.994412	257.258937	10.292526	-0.724348
IMG_0227.JPG	0.000000	0.000000	0.000000	5380739.429633	756061.239739	4815277.363905	2278998.051784
		666924.674110	5517606.926381	2153.006073	255.442608	9.519564	-1.495841
# Total error							

KA-771-006

```
# projection: PROJCS["WGS 84 / UTM zone 45N",GEOGCS["WGS 84",DATUM["World Geodetic System 1984",SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,AUTHORITY["EPSG","7030"]],TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],AUTHORITY["EPSG","6326"]],PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]],UNIT["degree",0.017453292519943,AUTHORITY["EPSG","9122"]],AUTHORITY["EPSG","4326"]],PROJECTION["Transverse_Mercator",AUTHORITY["EPSG","9807"]],PARAMETER["latitude_of_origin",0],PARAMETER["central_meridian",87],PARAMETER["scale_factor",0.9996],PARAMETER["false_easting",500000],PARAMETER["false_northing",0],UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],AUTHORITY["EPSG","32645"]]
```

#	Label	X/East	Y/North	Z/Altitude	Yaw	Pitch	Roll	Error (m)	X error	Y error	Z error	Error (deg)	Yaw error	Pitch error	Roll
error	X est	Y est	Z est	Yaw est	Pitch est	Roll est									
2001		666895.815318	5517609.689606	2148.709473				0.010458		-0.006358		0.008249		-0.000956	
		666895.808711	5517609.697651	2148.708516											
2002		666892.616796	5517608.862278	2148.640137				0.006720		0.000191		0.006633		-0.001063	
		666892.616782	5517608.868912	2148.639073											
2003		666889.800782	5517608.450907	2148.589355				0.006688		0.003912		0.004894		0.002340	
		666889.804540	5517608.455918	2148.591695											
2004		666889.015683	5517612.952231	2148.589355				0.007177		0.007159		-0.000489		0.000105	
		666889.022851	5517612.951963	2148.589461											
2005		666891.671356	5517613.810813	2148.581543				0.003276		0.000952		0.000202		-0.003128	
		666891.672300	5517613.811044	2148.578415											
2006		666894.340667	5517614.715379	2148.602051				0.009018		-0.008825		0.001417		-0.001196	
		666894.331806	5517614.716523	2148.600855											
2007		666895.211895	5517610.857395	2148.499268				0.004729		-0.003788		0.002597		-0.001128	
		666895.208030	5517610.859872	2148.498139											
2008		666894.579434	5517609.793351	2148.533936				0.008490		-0.005990		0.005960		-0.000821	
		666894.573265	5517609.799121	2148.533114											

2009	666893.537869	5517610.330613	2148.486572	0.002290	0.000691	0.001872	-0.001124
		666893.538502	5517610.332505	2148.485449			
2010	666895.976019	5517611.758100	2148.535400	0.004275	-0.002046	0.003245	-0.001886
		666895.973874	5517611.761279	2148.533515			
2011	666894.327456	5517611.636210	2148.490723	0.004001	-0.003452	0.001903	-0.000683
		666894.323948	5517611.638005	2148.490039			
2012	666892.838639	5517611.516848	2148.547119	0.004131	0.001474	0.000735	-0.003788
		666892.840089	5517611.517628	2148.543331			
2013	666895.139384	5517612.718341	2148.535400	0.003685	-0.002262	0.002908	-0.000086
		666895.137034	5517612.721177	2148.535314			
2014	666894.223810	5517613.546703	2148.514404	0.007138	-0.003760	0.004851	-0.003644
		666894.219903	5517613.551433	2148.510761			
2015	666892.934013	5517613.128748	2148.465332	0.003749	0.001245	-0.000926	-0.003413
		666892.935285	5517613.127861	2148.461919			
2016	666892.615470	5517614.086745	2148.491211	0.005793	-0.000393	-0.005103	-0.002713
		666892.615235	5517614.081634	2148.488498			
2017	666893.536245	5517612.312600	2148.413574	0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000
		666893.536245	5517612.312600	2148.413574			
2018	666892.088041	5517612.645473	2148.483398	0.007606	0.006381	0.002447	-0.003339
		666892.094341	5517612.648115	2148.480060			
2019	666890.543109	5517613.432673	2148.389648	0.008469	0.004153	-0.007059	-0.002157
		666890.547476	5517613.425749	2148.387491			
2020	666888.354016	5517612.062690	2148.403809	0.007303	0.007225	-0.000860	0.000629
		666888.361261	5517612.062054	2148.404437			

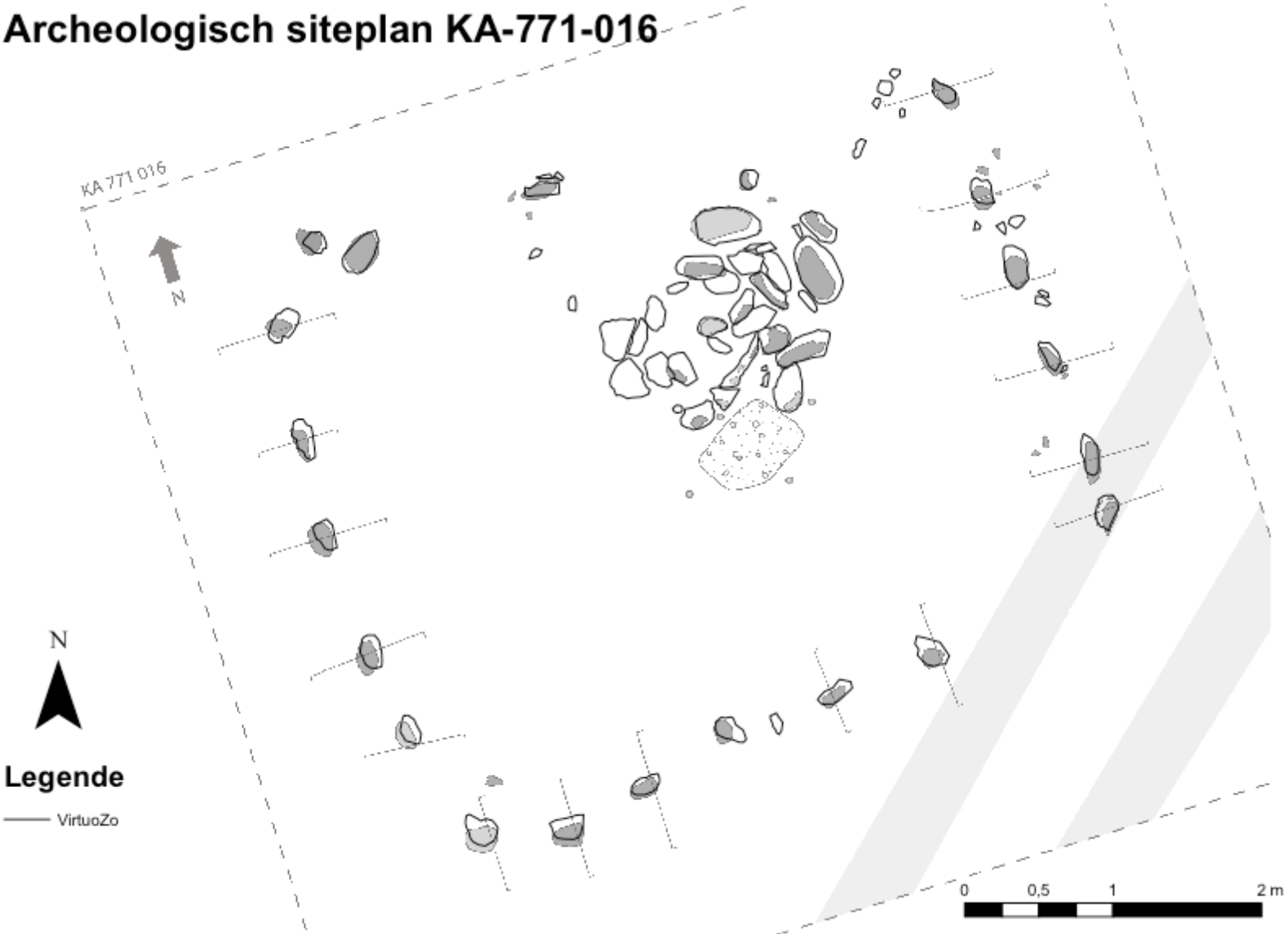
2021	666889.474495	5517611.453952	2148.447266		0.010180	-0.002123	-0.009892	-0.001129	
		666889.472679	5517611.444003	2148.446137					
2022	666890.385566	5517612.309321	2148.470215		0.006136	0.001962	-0.005515	-0.001840	
		666890.387697	5517612.303872	2148.468375					
2023	666891.446089	5517611.658026	2148.451172		0.005990	-0.005647	0.000471	-0.001942	
		666891.440433	5517611.658322	2148.449230					
2024	666890.086625	5517610.493650	2148.411621		0.003763	-0.000432	-0.003271	-0.001809	
		666890.086295	5517610.490368	2148.409812					
2025	666889.080474	5517609.520123	2148.460449		0.009297	0.006873	-0.005777	-0.002414	
		666889.087519	5517609.514564	2148.458036					
2026	666891.126634	5517610.834221	2148.424316		0.005470	0.004310	-0.000954	-0.003230	
		666891.130970	5517610.833401	2148.421086					
2027	666892.031085	5517610.030793	2148.420166		0.002701	0.000435	0.000929	-0.002499	
		666892.031491	5517610.031735	2148.417667					
2028	666890.619849	5517609.670053	2148.488770		0.003667	0.001637	-0.001484	-0.002927	
		666890.621530	5517609.668621	2148.485842					
2029	666891.572621	5517609.085840	2148.461426		0.003780	-0.002346	-0.000981	-0.002797	
		666891.570307	5517609.084787	2148.458629					
2030	666892.953927	5517609.681394	2148.462158		0.005439	0.001507	-0.004155	-0.003169	
		666892.955560	5517609.677289	2148.458989					
IMG_0597.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380737.670900	756010.401809	4815284.087863	2278996.557383
		666891.471557	5517609.151893	2152.973486	351.092613	12.761309	0.789241		
IMG_0598.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380738.341646	756014.176014	4815283.962902	2278997.153035
		666893.918516	5517609.568587	2153.020680	352.213010	11.956833	-0.526792		

IMG_0602.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380741.835473	756012.531349	4815286.776298	2279000.003173
		666892.719560	5517613.677310	2152.866288	173.061721	11.191326	0.785538		
IMG_0603.JPG	0.000000	0.000000	0.000000			5380741.323387	756008.204273	4815287.079867	2278999.588141
		666889.906448	5517613.448857	2152.891594	172.541910	14.696772	1.829591		
IMG_0599.JPG									666896.055051
	5517609.768076	2153.151709	349.222041	15.936503	-0.182301				
IMG_0600.JPG									666895.601919
	5517609.503289	2153.189054	350.278468	17.808186	-0.042901				
IMG_0601.JPG									666895.097090
	5517614.415351	2152.925602	173.796664	13.640827	0.503570				
IMG_0609.JPG									666894.999765
	5517613.839843	2152.730136	174.372897	6.450739	-0.266120				
IMG_0611.JPG									666890.585854
	5517613.013028	2152.773686	172.892573	9.878336	1.175197				
IMG_0612.JPG									666888.553848
	5517612.627649	2152.732533	170.642575	8.238969	-0.777785				
IMG_0605.JPG									666889.223732
	5517608.675615	2152.834885	353.110833	10.162293	-0.394347				
IMG_0606.JPG									666891.599693
	5517609.280804	2152.828235	352.226904	7.646558	-0.498871				
# Total error				0.000000	0.000000	0.000000	0.000000		

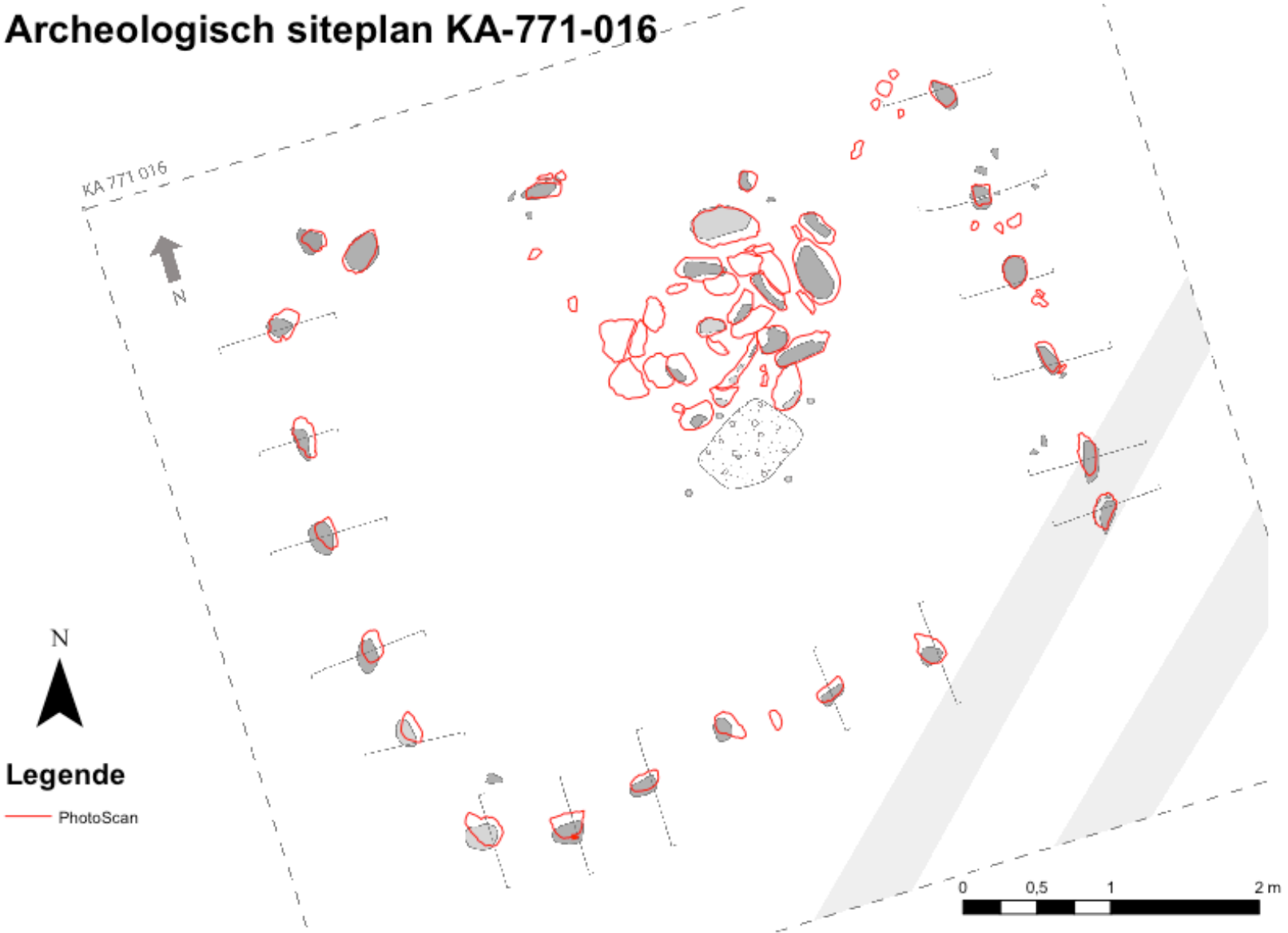
Bijlage 5: Archeologische siteplans

Bron: UGent: Vakgroep Archeologie. Eigen verwerking

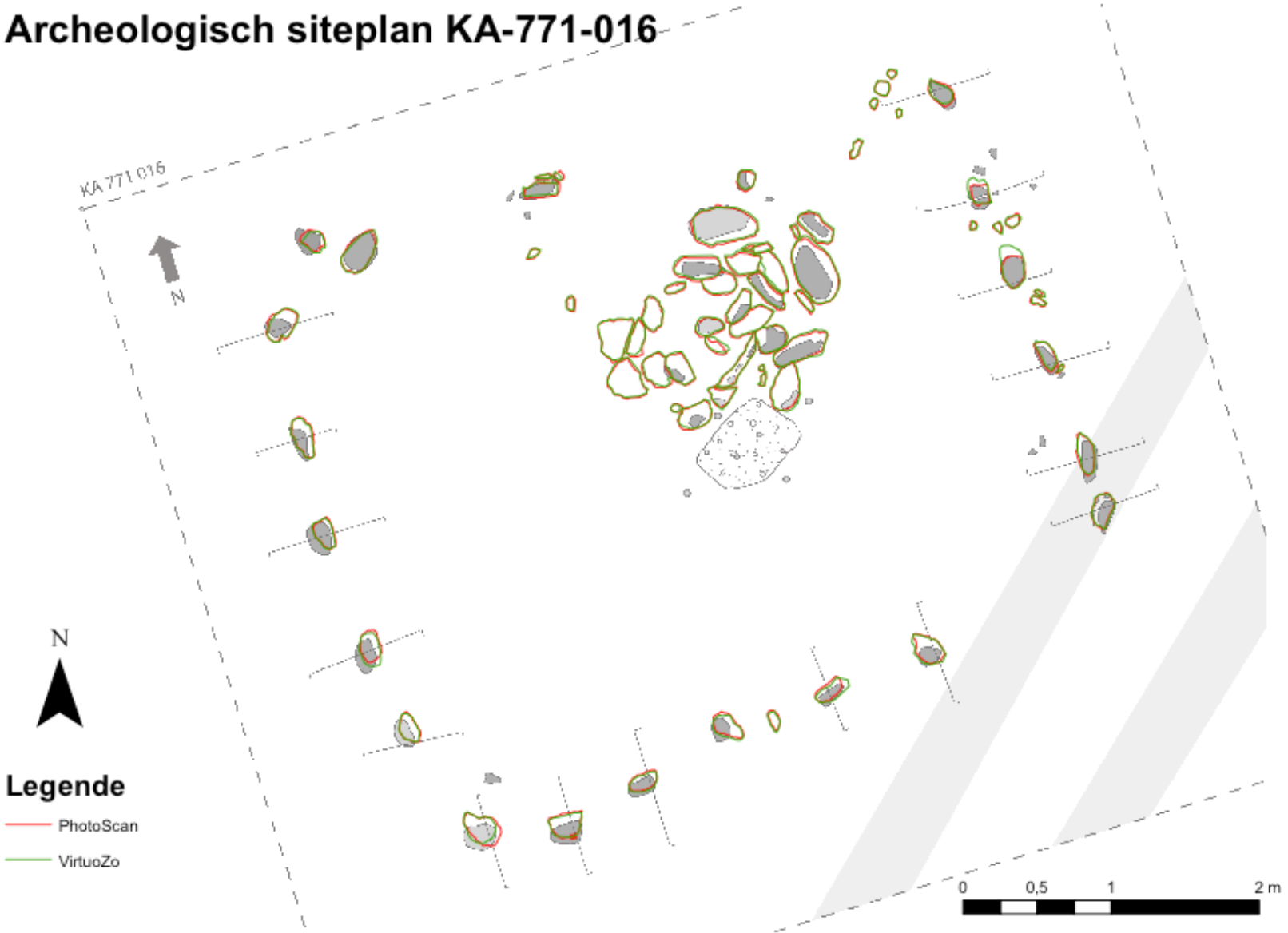
Archeologisch siteplan KA-771-016



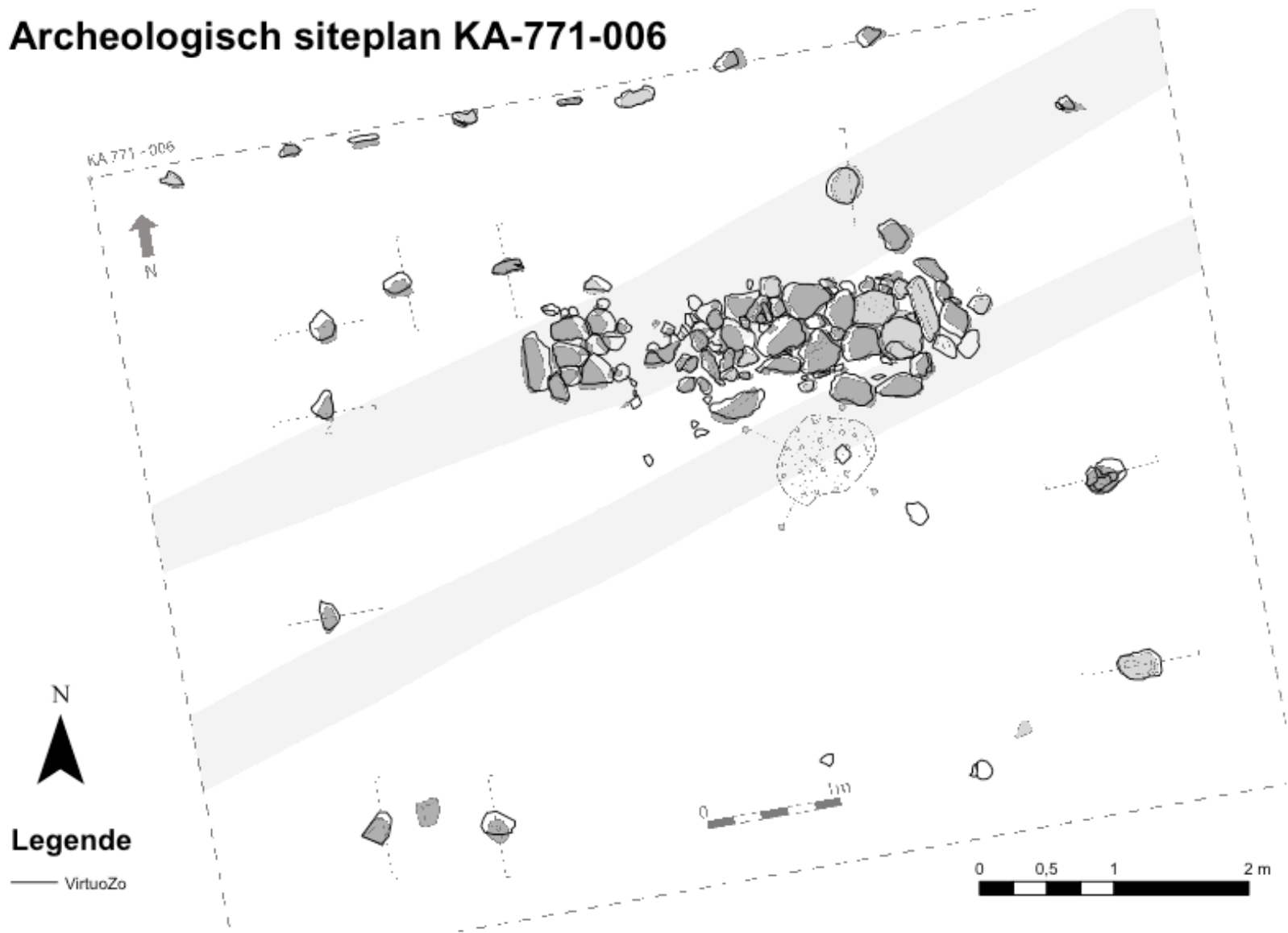
Archeologisch siteplan KA-771-016



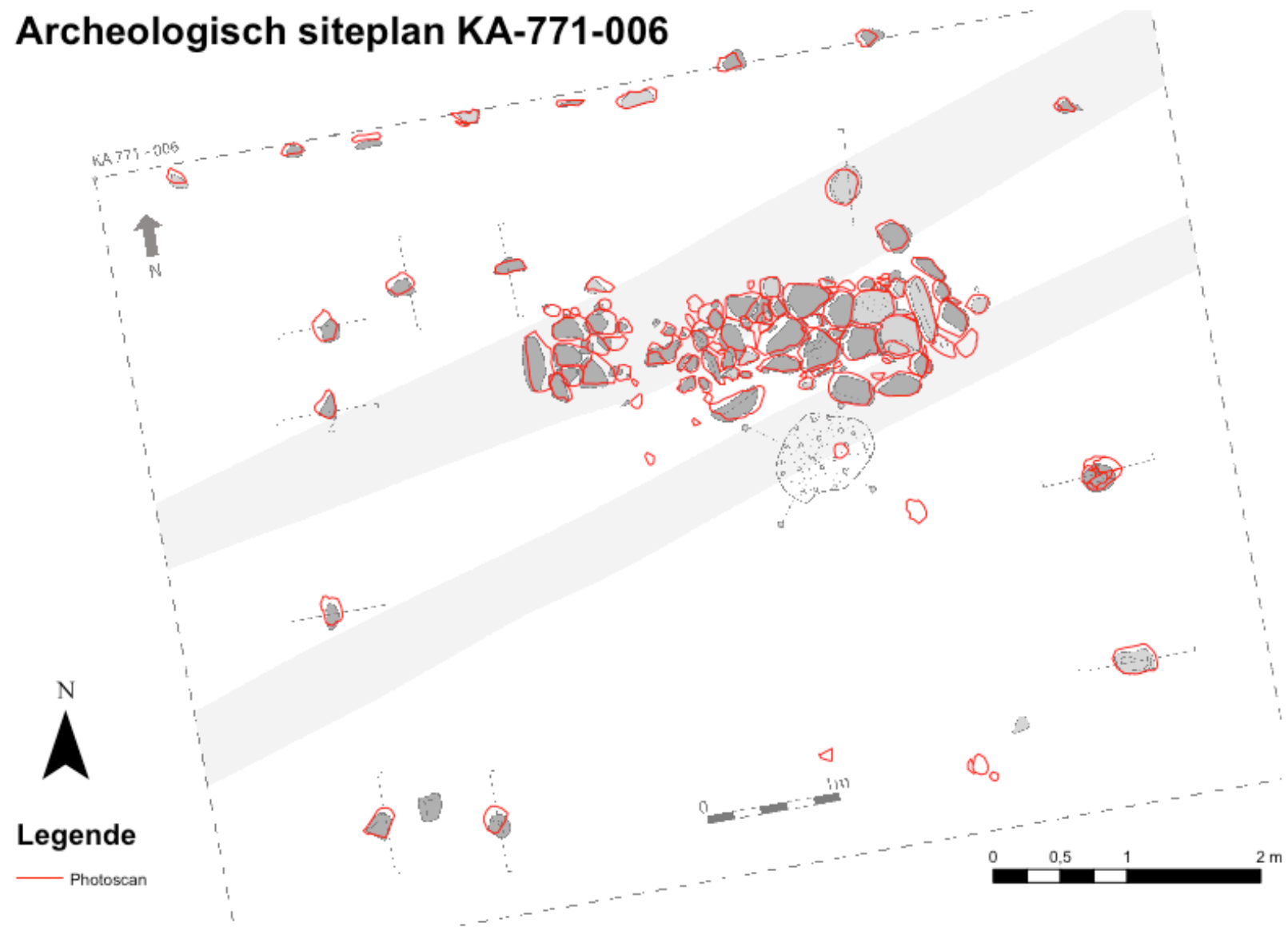
Archeologisch siteplan KA-771-016



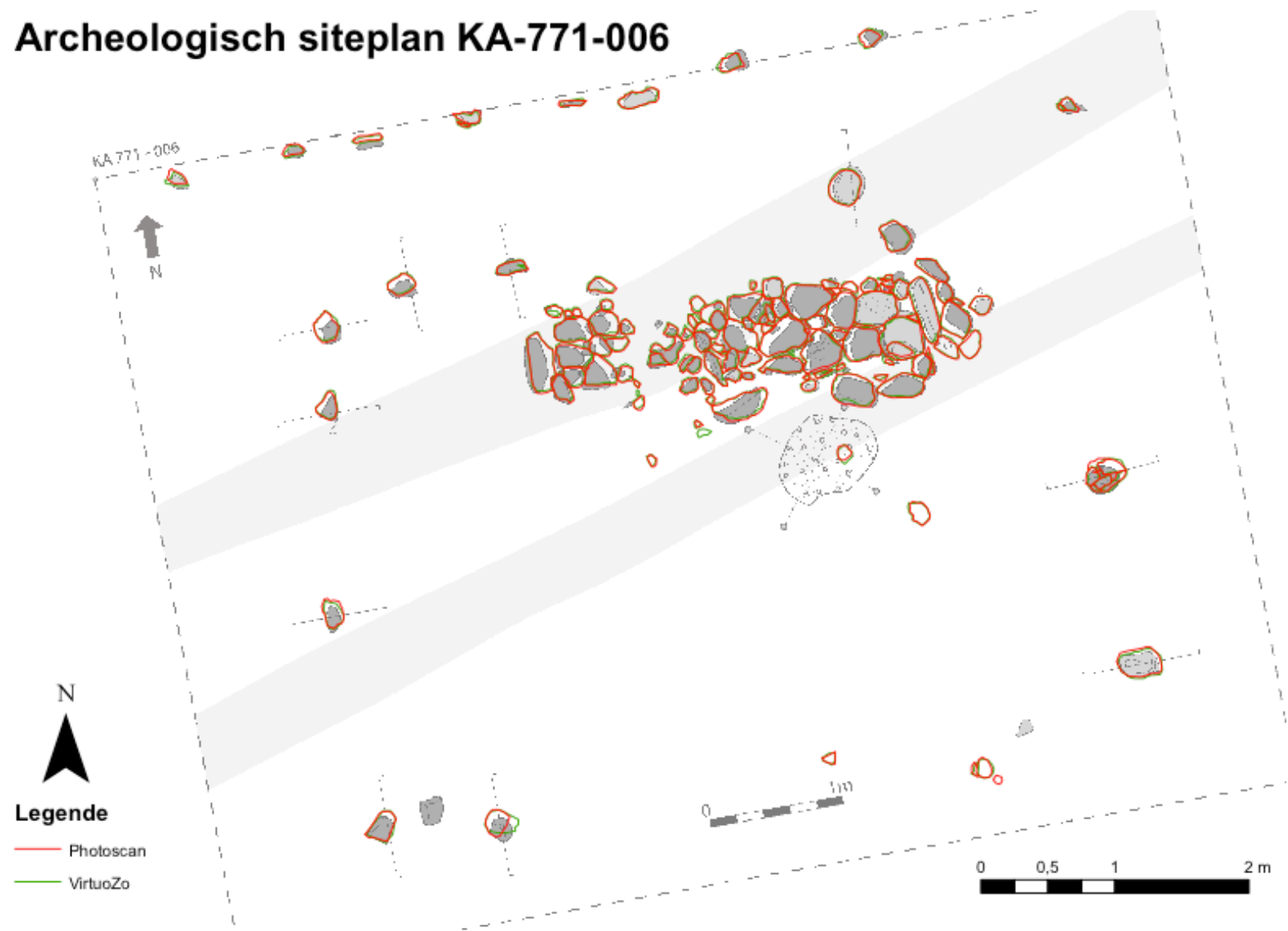
Archeologisch siteplan KA-771-006



Archeologisch siteplan KA-771-006



Archeologisch siteplan KA-771-006



Bijlage 6: Situeringskaart

Bron: Eigen verwerking

