

Inhaltsverzeichnis

1. Digitale 3D-Dokumentationen in der Archäologie	1
1.1. Klärung des Begriffs 3D-Rekonstruktion	3
1.1.1. Rekonstruktive 3D-Modellierung	5
1.1.2. Verfahren zur 3D-Rekonstruktion	5
1.1.3. Archäologie mit hoher Interdisziplinarität	10
1.1.4. Foto-basierte 3D-Rekonstruktionen	11
1.1.5. Kamerabasierte Systeme in der Echtzeitrobotik	11
1.2. 3D-Rekonstruktion als sich verändernde Prozesskette	12
1.3. Fotos und 3D-Modelle allein sind bedeutungslos	13
1.4. Gute Gründe für 3D-Rekonstruktionen in der Archäologie	13
1.4.1. Dinge messbar machen	14
1.4.2. Automatische Bestimmung unbekannter Objekte	15
1.4.3. Unterstützung bei der Interpretation	15
1.4.4. Präsentation und Publikation	17
1.4.5. Ausstellung im musealen Bereich	17
1.4.6. Digitalisierung ermöglicht parallele Untersuchungen	18
1.4.7. Unterstützung bei Grabung und Dokumentation	19
1.5. Möglichkeiten und Grenzen von 3D-Rekonstruktionen	19
1.5.1. 3D-Rekonstruktion eines Schädels	19
1.5.2. 3D-Rekonstruktion eines Menschen	20
1.5.3. 3D-Rekonstruktion mit Smartphoneaufnahmen	22
1.5.4. 3D-Rekonstruktionen über und unter Wasser	22
1.5.5. Grenzen der Photo- und Videogrammetrie	24
1.6. Softwarepakete für 3D-Rekonstruktionsprozesse	24
1.6.1. Programme zur Datenaufnahme	24
1.6.2. Programme zur Vorverarbeitung der Video- und Bilddaten	24
1.6.3. Programme zur 3D-Rekonstruktion	26
1.6.4. Programme zum Monitoring und der Nachbearbeitung	26
1.7. Ergebnisse von 3D-Dokumentationen	26
1.8. Zusammenfassung und Ausblick	28
1.9. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	28
1.10. Praktikumsaufgaben	28
2. Digitale Fotografie als Basiswerkzeug	31
2.1. Kleines Einmaleins der Kamera	32
2.1.1. Blende steuert die Menge des Lichteinfalls	32
2.1.2. Brennweite steuert Sichtwinkel	33

2.1.3.	Fokus steuert Schärfebereich	34
2.1.4.	Schärfebereich oder Depth-of-Field	34
2.1.5.	Lichtempfindlichkeit des Bildsensors	35
2.1.6.	Smartphone-, Spiegelreflex- und Systemkameras	36
2.2.	Das deutsche Fotorecht	36
2.3.	Ideen für gelungene Bildkompositionen	37
2.3.1.	Zentrierter Bildaufbau und Symmetrie	37
2.3.2.	Der goldene Schnitt	38
2.3.3.	Platzierung des Horizonts	39
2.3.4.	Setzen des Fokusbereiches	40
2.3.5.	Balance zwischen Vorder- und Hintergrund	40
2.3.6.	Umrahmung/Framing	41
2.3.7.	Punkte und kleine Farbakzente	43
2.3.8.	Regel der Quote	43
2.3.9.	Links-nach-Rechts-Regel und Regel des Raumes	43
2.3.10.	Diagonalen und Dreiecke	43
2.3.11.	Körperhaltung berücksichtigen	43
2.3.12.	Gezielte Überdeckungen	43
2.4.	Zweck als Motivation eines Fotos	45
2.4.1.	Fotos in der Antragstellung	45
2.4.2.	Fotos in Arbeits- und Dokumentationsberichten	46
2.4.3.	Fotos in Präsentationen	49
2.4.4.	Fotos in Online-Medien	51
2.4.5.	Fotos in Publikationen	52
2.5.	Positionierung und Ausleuchtung von Fundaufnahmen	52
2.5.1.	Theorie des Three- und Four-Point-Lighting	53
2.5.2.	Farben und Temperaturwahrnehmung	55
2.5.3.	Hartes und weiches Licht	56
2.5.4.	Verwendung des automatischen Weißabgleichs	56
2.5.5.	Generelle Überlegungen zu Fundaufnahmen	57
2.5.6.	Aufnahmen von Münzen im Flachbettscanner	60
2.5.7.	Aufnahmen mit Glasplatten bei Tageslicht	61
2.5.8.	Aufnahmen im Lichtzelt	63
2.5.9.	Aufnahmen im Lichtzelt für 3D-Rekonstruktionen	64
2.5.10.	Professionelle Studioaufnahmen	65
2.6.	Die digitale Fotoaufnahme	65
2.6.1.	Standard-Farbräume in Computergrafik und Druck	66
2.6.2.	Colorimetrische Farbräume	67
2.6.3.	Korrektur der Kameralinsenverzeichnung	67
2.7.	Bildverbesserungsmethoden	71
2.7.1.	Nachträglicher Weißabgleich	71
2.7.2.	Verbesserung von Kontrast und Bildschärfe	71
2.8.	Zusammenfassung und Ausblick	72
2.9.	Verständnisfragen und Übungsaufgaben	73
2.10.	Praktikumsaufgaben	73

3. Grundlagen zu Photo- und Videogrammetrie	77
3.1. Ausgewählte Aspekte der Photo- und Videogrammetrie	77
3.1.1. Verständnis für die Komplexität der Aufgabenstellung	78
3.1.2. Bildreduktion auf relevante Merkmale	80
3.1.3. Merkmalsextraktionen von Blob-Detection bis SIFT	82
3.1.4. Modellapproximation mit RANSAC	86
3.1.5. Prozesskette Structure-from-Motion	88
3.1.6. Oberflächenrekonstruktion der 3D-Punktwolke	90
3.1.7. Ausleuchtung und Fokussierung der relevanten Bildinhalte	91
3.1.8. Wichtige Aspekte der Aufnahmestrategien	93
3.2. Videogrammetrische Messkriterien und Algorithmen	95
3.2.1. Der zu lösende Min-Max-Konflikt	97
3.2.2. Periodische, feste Bildauswahl	99
3.2.3. Bild- und Korrespondenzbewertungskriterien	101
3.2.4. Intelligente Bildauswahlmethoden	106
3.2.5. Vor- und Nachteile der reinen Videogrammetrie	108
3.3. Nahbereichs-Videogrammetrie in der Praxis	109
3.3.1. Steinschüssel im Kloster Erdene Zuu (Mongolei)	109
3.3.2. Stein mit Handabdruck in Karabalgasun (Mongolei)	111
3.3.3. Videogrammetrische Herausforderung in My Son (Vietnam)	111
3.4. Archivierung von Rekonstruktionsergebnissen	112
3.5. Zusammenfassung und Ausblick	113
3.6. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	114
3.7. Praktikumsaufgaben	114
4. Einstieg in den Umgang mit Multicoptern	115
4.1. Sicherer Umgang mit Multicoptern	115
4.1.1. Regeln beim Umgang mit Multicoptern	117
4.1.2. Funktionsweise und Steuerung eines Multicopters	117
4.1.3. Kommunikation zwischen Pilot und Multicopter	120
4.1.4. Notwendigkeit der Kompasskalibrierung	120
4.1.5. Homepoint, Go-Home und automatische Landung	122
4.1.6. Verhalten bei Niederspannung	124
4.2. Professionelle Dokumentationen mit Multicoptern	124
4.2.1. Aufbau, Sensoren und Batterieanzeige	124
4.2.2. Controller und Displayinformationen	125
4.3. Pflege und Lagerung der Akkus	126
4.3.1. Laden eines Akkus	127
4.3.2. Transport eines Akkus	127
4.3.3. Lagerung der Akkus über einen längeren Zeitraum	128
4.3.4. Protokollierung der Akkueinsätze und Ladezyklen	128
4.3.5. Entsorgung der Akkus	128
4.4. Registrierungspflicht, Kompetenznachweis und Versicherung	128
4.4.1. Luftrecht in Europa	129
4.4.2. Kategorien und Unterkategorien für unbemannte Fluggeräte	129

4.4.3. Versicherungspflicht für Multicopter	130
4.5. Zusammenfassung und Ausblick	130
4.6. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	130
4.7. Praktikumsaufgaben	131
5. Aufnahmestrategien bei Befliegungskampagnen	133
5.1. Flugvorbereitung, Absicherung und Teambesprechung	133
5.1.1. Multicopter und Kamera vorbereiten	135
5.1.2. Absicherung und Vorbereitung des Dokumentationsortes	136
5.1.3. Teambesprechung und Aufgabenverteilung	136
5.2. Händische Aufnahmestrategien im Idealfall	137
5.2.1. Orthogonale versus orientierte Aufnahmeflüge	137
5.2.2. Orthogonal-Grid-Flight und Orthogonal-Double-Grid-Flight	137
5.2.3. Oriented-Grid-Flight und Oriented-Double-Grid-Flight	140
5.2.4. Vergleich von Aufnahmearbeit und Berechnungskomplexität	142
5.2.5. Circle-Flight und Helix-Flight	143
5.2.6. Kalibrierungsflug zur Kameraparameterschätzung	143
5.3. Händische Aufnahmestrategien in der Realität	145
5.4. Checklisten, Protokolle und Flugnachbereitung	146
5.4.1. Protokollführung für Flugaufnahmen	146
5.4.2. Nachbereitungsphase direkt nach einer Flugaufnahme	148
5.4.3. Nachbereitungsphase eines Dokumentationstages	149
5.5. Übungsszenarien im Team durchführen	149
5.6. Zusammenfassung und Ausblick	150
5.7. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	150
5.8. Praktikumsaufgaben	150
6. Automatisierte Befliegungen planen und durchführen	153
6.1. Auswahlkriterien zur Softwareevaluation	154
6.2. Einfacher Einstieg mit PrecisionFlight	154
6.3. Testflüge durchführen und praktische Erfahrung sammeln	155
6.4. Pix4DCapture installieren und Projekt anlegen	155
6.5. Planung via Google-Earth	156
6.6. Aufnahmestrategien auswählen	156
6.6.1. Orthogonal-Grid-Flight im Orchental (Mongolei)	156
6.6.2. Oriented-Double-Grid-Flight in Karabalgasun (Mongolei)	159
6.6.3. Automatisiertes Fliegen bei Wind und im Gebirge	159
6.7. Grid wählen und positionieren	161
6.8. Flug- und Aufnahmeparameter einstellen	161
6.9. Befliegungskampagnen mit Multi-Missionen	162
6.10. Workflow für automatisierte Befliegungskampagnen	162
6.11. Gleitflieger als alternative Fluggeräte	162
6.12. Zusammenfassung und Ausblick	164
6.13. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	165
6.14. Praktikumsaufgaben	165

7. Georeferenzierung und Skalierung von 3D-Modellen	167
7.1. Geodäsie und Referenzsysteme	168
7.1.1. Geographische und projizierte Koordinatenbezugssysteme	169
7.1.2. Geographisches Koordinatenbezugssystem WGS84	169
7.1.3. Projiziertes Koordinatenbezugssystem UTM	171
7.1.4. Projiziertes Koordinatensystem Gauß-Krüger	172
7.1.5. Koordinaten transformieren	174
7.2. Georeferenzierungsstrategien	174
7.2.1. Georeferenzierungsmethoden mit Hilfe von Fotoaufnahmen	175
7.2.2. Höhere Präzision durch RTK-Systeme	176
7.2.3. Georeferenzierungsmethoden mit Vermessungspunkten	177
7.2.4. Georeferenzierungsmethoden mit natürlichen Markern	178
7.3. Skalierungsbeispiel Opferplatte (Mexiko)	178
7.4. Georeferenzierungsbeispiel Steppe (Mongolei)	180
7.4.1. Systematische Flugplanung	180
7.4.2. Prozessierung in DroneDeploy	180
7.4.3. Erweiterung vorhandener LiDAR-Daten um Photogrammetrie	180
7.4.4. Garantie der prozentualen Bildüberlappung	182
7.5. Georeferenzierungsbeispiel „Schloss der Vögte“ (Plauen)	182
7.5.1. Passpunkte und Skizze	182
7.5.2. 3D-Rekonstruktion und Import der GCP-Daten	182
7.5.3. Identifikation und Verwaltung der GCP-Daten	183
7.5.4. Messen im 3D-Modell	183
7.6. Messungen im Orthofoto und im 3D-Modell	184
7.6.1. OpenDroneMap und WebODM	184
7.6.2. Daten vorbereiten und Workflow festlegen	185
7.6.3. Messungen im Orthofoto vornehmen	186
7.6.4. Messungen im 3D-Modell vornehmen	187
7.7. Zusammenfassung und Ausblick	187
7.8. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	188
7.9. Praktikumsaufgaben	188
8. Dokumentationskampagnen mit Mini-U-Booten	191
8.1. Anforderungen an Unterwasseraufnahmesysteme	192
8.1.1. Süß und Salzwasserdokumentationen	193
8.1.2. Erreichbarkeit des Tauchareals	193
8.1.3. Feinabstimmung des Tauchsystems für die Aufgabenstellung	193
8.2. Lokalisierungsstrategien unter Wasser	194
8.3. Sicherer Umgang mit Mini-U-Booten	194
8.4. Pflege und Langlebigkeit der Komponenten	195
8.5. Checklisten und Protokolle	195
8.6. Kabelbasierte, kommerzielle Mini-U-Boote	197
8.6.1. Das leichtgewichtige OpenROV	197
8.6.2. Das stabile und kraftvolle BlueROV	200
8.6.3. Kabelmodifikationen und notwendiges Kabelmanagement	201

8.7. Aufnahmestrategien in Theorie und Praxis	201
8.8. Erweiterung um Kameras und Tauchlampen	202
8.9. Entwicklung einer Funkboje für größere Distanzen	203
8.9.1. Entwicklungsstufen zu einem semi-autonomen System	203
8.9.2. Gesamtkonzept und Modifikationen zum BlueROV	203
8.9.3. Aufbau und Arbeitsweise der Funkboje	204
8.9.4. Beflagung der Boje	204
8.9.5. Verbesserung der Positionsbestimmung	206
8.9.6. Erweiterung der Funkboje um ein Sonar	207
8.10. Zusammenfassung und Ausblick	208
8.11. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	209
8.12. Praktikumsaufgaben	209
9. Automatische Bildverbesserung von Unterwasseraufnahmen	211
9.1. Potenzial automatischer Farbanpassungen	212
9.2. Einflüsse Absorption, Streuung und Kaustik	213
9.3. Automatische Farbkorrektur mit einer Farbtafel	214
9.4. Automatische Farbkorrektur ohne Farbtafel	214
9.5. Automatisierte Bildverbesserung mit JEnhancer	215
9.5.1. Grundlegende Idee von JEnhancer	215
9.5.2. Schätzung der Wasserfarbe	217
9.5.3. Korrektur der Bildfarbe mit Hilfe der Wasserfarbe	220
9.5.4. Nützlicher Nebeneffekt der Farbraumkorrektur	220
9.5.5. Ergebnis der Farbraumkorrektur	220
9.5.6. Wichtige Bedingungen für den Einsatz von JEnhancer	222
9.6. JEnhancer Download und Anwendung	222
9.7. Datenpakete und Benchmarktests	223
9.8. Zusammenfassung und Ausblick	223
9.9. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	224
9.10. Praktikumsaufgaben	224
10. Videogrammetrie in der Praxis	225
10.1. Huastekische Tempelanlage in Tamtoc (Mexiko)	225
10.1.1. Hardwaresetup als Herausforderung	226
10.1.2. Rekonstruktionsbeispiel	227
10.2. Extrembedingungen in Kerlingarfjöll (Island)	228
10.2.1. Windbedingungen als Herausforderung	228
10.2.2. Rekonstruktionsbeispiel	229
10.3. Grabungsmonitoring am Dresdner Neumarkt (Dresden)	230
10.4. Objektaufnahmen im Berliner Naturkundemuseum	231
10.4.1. Ausflug in den Bereich der Paläontologie	232
10.4.2. Rekonstruktionsbeispiele	232
10.5. Königsgräber von Nea Paphos auf Zypern	233
10.6. Aufnahmen von Gipsabgüssen des Toro Farnese	234
10.7. Zusammenfassung und Ausblick	237
10.8. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	237

10.9. Praktikumsaufgaben	238
11. Kombination von Photo- und Videogrammetrie	241
11.1. Modelle nachträglich zusammenbringen	241
11.2. Dokumentationskampagne in Bukhara (Usbekistan)	243
11.2.1. Befliegung und Bodenaufnahmen der Degaronmoschée	243
11.2.2. Kandidatenliste für manuelle Passpunkte wählen	244
11.2.3. Kandidatenliste systematisch abarbeiten	244
11.2.4. Zusammenführen der Modelle der Degaronmoschée	245
11.2.5. Zusammenführen der Modelle in Annaberg-Buchholz	246
11.3. Boden- und Luftaufnahmen erfolgreich kombinieren	246
11.4. Dokumentationskampagne in Karakorum (Mongolei)	248
11.4.1. Automatisierte photogrammetrische Befliegung	248
11.4.2. Händische videogrammetrische Befliegung	248
11.4.3. Erfolgreiche Kombination von Foto- und Videodaten	248
11.4.4. Rekonstruktionsergebnisse	248
11.5. Zusammenfassung und Ausblick	250
11.6. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	250
11.7. Praktikumsaufgaben	250
12. Planung und Durchführung von Dokumentationskampagnen mit Multicoptern	253
12.1. Workflow einer Dokumentationskampagne	253
12.1.1. Topografische Komplexität von Dokumentationsorten	255
12.1.2. Grobe Aufwandsabschätzung durch automatisierte Flugplanung	255
12.1.3. Voransicht, Klassifizierung und Besonderheiten	257
12.1.4. Quick-Technical-Preview	258
12.1.5. Logistik, Dokumente und Lizenzen	261
12.1.6. Detaillierte Aufwandsabschätzung	262
12.2. Erweiterung und Anpassung des Workflows	263
12.2.1. Zusammenführung von LiDAR- und Photogrammetriedaten	263
12.2.2. Aufnahmestrategie und Vorbereitungen	264
12.2.3. Akku-Management für Großprojekte	265
12.3. Zusammenfassung und Ausblick	265
12.4. Verständnisfragen und Übungsaufgaben	266
12.5. Praktikumsaufgaben	266
Nachwort	267
A. Rahmen für Übungsszenarien	271
B. Übungsszenarien für Fluganfänger	273
C. Regelmäßige Übungsszenarien für Piloten	275
D. Videobearbeitung mit FFmpeg – Nützliche Sammlung	277
Literaturverzeichnis	279

Inhaltsverzeichnis

Namensverzeichnis	291
Verzeichnis der Dokumentationsorte	295
Stichwortverzeichnis	296