

Digitalisierung in der Biblischen Archäologie

**Dargestellt am Beispiel der Projekte des
Biblisch-Archäologischen Instituts Wuppertal
und des
Deutschen Evangelischen Instituts
für Altertumswissenschaft
des Heiligen Landes**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades des Doktors der Philosophie
der Fakultät für Geistes- und Kulturwissenschaften
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von

Patrick Leiverkus

aus Wuppertal

Erstgutachter: Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Dieter Vieweger
Zweitgutachter: Prof. Dr. Heinrich Brinck

10. September 2024

Vorwort und Dank

Die hier vorgelegte Arbeit ist das Ergebnis von über zwei Jahrzehnten technischer Assistenz bei den archäologischen Projekten des Biblisch-Archäologischen Instituts der Kirchlichen Hochschule Wuppertal und des Deutschen Evangelischen Instituts für Altertumswissenschaft des Heiligen Landes, Jerusalem/Amman. Dazu gehören die Ausgrabungen auf dem *Tall Zirā'a* (2003–2013), auf dem Zionsberg in Jerusalem (2015–2024) und in Tiberias (2021–2024) sowie der Survey im *Wādī al-ʿArab*. Die in dieser Dissertation geschilderten Herausforderungen der Biblischen Archäologie angesichts der rasanten technischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte wurden während dieser Projekte analysiert, organisatorisch umgesetzt, evaluiert und schließlich in den Ablauf der archäologischen Arbeit integriert. Der vorliegende Text beschreibt und begründet diesen erfolgreichen Weg.

Zuvorderst möchte ich *Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Dieter Vieweger*, den Direktor des Biblisch-Archäologischen Instituts Wuppertal¹ und des Deutschen Evangelischen Instituts für Altertumswissenschaft des Heiligen Landes, Jerusalem und Amman,² danken, der mir dieses Promotionsprojekt an der Grenze zwischen Biblischer Archäologie und Informatik ermöglicht hat. Sein Glaube an mich, dass ich dieses Vorhaben bewältigen werde, und seine große Unterstützung auf dem Weg dahin sind ein großes Geschenk.

*Prof. Dr. Heinrich Brinck*³ möchte ich für seine unermüdliche Bereitschaft mich zu beraten und zu unterstützen danken. Sein Interesse über die Informatik hinaus in die Archäologie einzutauchen, hat vieles erleichtert und enorm geholfen.

¹ Ein Institut der Kirchliche Hochschule Wuppertal und An-Institut der Bergischen Universität Wuppertal.

² Eine Stiftung der Evangelischen Kirche in Deutschland (EKD); gegründet 1898.

³ Westfälische Hochschule, Recklinghausen.

*Ass.-Prof. Dr. Katja Soennecken*⁴ möchte ich danken für die vielen Jahre freundschaftlicher Zusammenarbeit, insbesondere in dem von uns gemeinsamen verantworteten Projekt, dem *Wādī al-‘Arab*-Survey. Als Co-Direktorin der Ausgrabungen von Tiberias hat sie die technische Weiterentwicklung des Grabungsgeschehens aktiv gefördert.

Meine *Kollegen und Kolleginnen an den Instituten in Wuppertal, Jerusalem und Amman* waren immer bereit, neue Wege in den archäologischen Kontexten der Arbeitsabläufe auszuprobieren und diese schließlich zu erproben. Bei Erfolg wurde diese in den täglichen Workflow der Institute integriert. Ich bin sehr dankbar für ihre Geduld, besonders wenn sich die technische Umsetzung des feldarchäologisch oder dokumentarisch gewünschten Fortschritts manchmal als langwierig und steinig herausstellte.

Der *Verwaltung der Kirchlichen Hochschule Wuppertal* und hier insbesondere der Kanzlerin *Schwester Dörte Rasch* gilt mein besonderer Dank. Ihr zugewandter Rat hat mich bestärkt und ihre Unterstützung hat Vieles auf dem Weg zu dieser Arbeit erleichtert.

Schließlich möchte ich auch nicht zuletzt *meiner Familie* Dank sagen, die mich auf diesem Weg mit langen Aufenthalten im Heiligen Land immer unterstützt hat.

Patrick Leiverkus, im August 2024

⁴ Luxembourg School of Religion & Society, Luxemburg/Deutsches Evangelisches Institut für Altertumswissenschaft.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Dank.....	i
1 Einführung.....	1
1.1 Ziel der Dissertation.....	1
1.2 Struktur der vorliegenden Arbeit	7
1.3 Das Forschungsfeld Biblische Archäologie.....	9
1.3.1 Räumliche Definition.....	9
1.3.2 Zeitliche Definition	11
1.3.3 Der Beginn der Ausgrabungstätigkeit im Heiligen Land	12
1.4 Begriffsdefinitionen	13
1.4.1 Die stratigrafische Methode	13
1.4.2 Das <i>Locus-/Context</i> -System	14
1.4.3 Relationen in der Stratigrafie	16
1.4.4 Gruppe, Struktur und Komplex.....	18
2 Archäologische Projekte – Vom ersten Spatenstich bis zur Publikation	20
2.1 Interpretieren – Strukturieren – Dokumentieren	20
2.2 Workflow während der Kampagne	26
2.2.1 Aufgaben	26
Leitung, Schnittleitung und Fundbearbeitung	26
2.2.2 Fundbearbeitung.....	27
Keramik-Workflow.....	27
Weitere Fundgattungen	27
2.2.3 Vermessung.....	27
3D-Modell, Orthofoto, Höhenmodell.....	28
Befundhöhe, Befundlage	28
Fundlage	29
Grabungsplan für den Vorbericht	29
Profilaufnahmen	29
Vorbericht.....	30

2.3 Workflow während der Auswertung.....	30
2.3.1 Archäometrische Datierungsmethoden.....	30
C14-Datierung	30
OSL-Datierung	30
2.3.2 Fundauswertung	31
Keramik	31
Metalle	31
Knochen	31
Erdproben.....	32
2.3.3 Stratifizierung und Strata-Pläne.....	32
2.3.4 Grabungspublikation	32
2.4 Langzeitarchivierung.....	33
3 Herausforderungen für die archäologische Arbeit – Vom Zettelkasten bis hin zur KI-gestützten Dokumentation	34
3.1 Die Herausforderungen während der Grabungen auf dem <i>Tall Zirā ‘a</i> (2003–2011).....	35
3.2 Die Herausforderungen durch die Publikation der Grabung auf dem <i>Tall Zirā ‘a</i> (2011–2024)	39
3.3 Die Herausforderungen durch den <i>Wādī al- ‘Arab</i> -Survey (2009–2012)	43
3.4 Die Herausforderungen durch die Grabungen auf dem Zionsberg (2015–2024)....	45
3.5 Die Herausforderungen durch die Grabungen in Tiberias (2022–2024)	47
4 Vermessungstechnik – Vom Nivellier zum zentimetergenauen GPS	51
4.1 Das Nivellier	52
4.2 Das Tachymeter.....	54
4.3 Satellitengestützte Vermessung – GPS und GNSS.....	57
4.4 RTK-GNSS-System des BAI/DEI	60
4.5 Fazit.....	61
5 Fotogrammetrie – Von der Feldskizze zum Orthofoto	63
5.1 Einführung.....	63
5.2 Feldskizze/Feldzeichnung	64
5.3 Einbild-Fotogrammetrie mit Senkrechtfotos	67
5.4 Fotogrammetrie mit <i>Structure-from-Motion</i>	70
5.4.1 Dimensionsbestimmung – Die Notwendigkeit von Passpunkten.....	71
5.4.2 Terrestrische und drohnengestützte Fotogrammetrie	72
5.4.3 Fotogrammetrie und Laserscanning	75
5.4.4 Genauigkeit fotogrammetrischer (Höhen)modelle	75

5.5 Eingesetzte Fotogrammetrie-Software – <i>Agisoft Metashape</i>	76
5.6 Ergänzung: Retrospektiver Einsatz der Fotogrammetrie.....	78
5.7 Fazit.....	79
5.8 Exkurs: Evaluation drohnengestützter Fotogrammetrie zur 3D-Darstellung, Vermessung und archäologischen Evaluierung von Ortslagen	80
5.8.1 Einführung	80
5.8.2 Methodik	83
5.8.3 Ein „Wüstenschloss“ am See Genezareth (<i>Hirbat al-Minya</i>)	85
Einführung.....	85
Modell	87
5.8.4 Der Herodespalast in Jericho (<i>Tulul Abu al-‘Alayiq</i>).....	90
Einführung	90
Modell	92
5.8.5 Die Festung Hyrkania (<i>Hirbat al-Mird</i>).....	94
Einführung.....	94
Modell	95
5.8.6 Das Kloster Severianus (<i>Hirbat ad-Dēr</i>)	97
Einführung.....	97
Modell	99
5.8.7 Nutzen und Nutzung.....	101
5.8.8 Fazit	103
6 Pläne und Informationssysteme – Vom CAD zum GIS	105
6.1 <i>Computer-Aided Design</i> (CAD)	105
6.2 Geografische Informationssysteme (GIS)	107
6.3 Koordinatensysteme	110
6.4 Eingesetzte GIS-Software – <i>QGIS</i> und <i>QField</i>	113
6.5 Der mobile Workflow – Vermessung mit direktem Upload	115
6.6 Fazit.....	117
7 Die papierlose Grabung – Vom Formblatt zum Tablet	118
7.1 Die Einführung und die Entwicklung des Formblattes auf Papier.....	118
7.2 Der Weg in die papierlose Dokumentation.....	123
8 Grabungsinformationssysteme für die Projekte des BAI/DEI – Mehr als Datenspeicherung	127
8.1 Einführung.....	127
8.2 Die Software-Architektur für die Projekte des BAI/DEI	129
8.2.1 Das Datenbanksystem <i>Clarif FileMaker</i>	130
8.2.2 Das GIS-Datenbanksystem <i>PostgreSQL</i> und <i>PostGIS</i>	132

8.2.3 Der Kartenserver <i>GeoServer</i>	133
8.3 Die Grabungsdatenbank <i>Tall Zirā‘a</i>	134
8.3.1 Die „Papier-Computer-Methode“	134
8.3.2 Das Datenbankinterface im Desktop-Paradigma.....	135
8.3.3 Das Datenbankschema	139
8.3.4 Ein Zwischenfazit – Mehr Integration wünschenswert	139
8.4 Die Surveydatenbank <i>Wādī al-‘Arab</i>	141
8.4.1 Spezielle Herausforderungen eines Surveys.....	141
8.4.2 Das Datenbankinterface – Desktop mit Verbesserungen	142
8.4.3 Mehr Integration – Die Neuerungen im Detail	143
Fotos	143
Literatur.....	144
Eine erste Kartendarstellung.....	145
Automatisierte Kartenerstellung	146
8.4.4 Das Datenbankschema	146
8.4.5 Ein Zwischenfazit – Auf dem Weg in ein integriertes System	148
8.5 Das Grabungsinformationssystem Zionsberg	149
8.5.1 Realisierung der papierlosen Grabung.....	149
Ein neues Interface für Desktop und Tablet.....	150
Integration von Vermessung und Fotogrammetrie	153
Fotografieren mit dem Tablet	155
Befundzettel-Druck	157
8.5.2 Erweiterung der Datenbankstruktur – Mehr explizite Information.....	158
Areal als eigene Ebene	158
Integration eines Tagebuchs für Areale und Befunde	159
Gruppe, Struktur und Komplex – „Zusammengesetzte Befunde“	161
8.5.3 Praktische Erweiterungen für den Grabungsalltag	161
Notizfunktion für Befunde.....	162
Konsistenz-Check	163
Höhendaten messen ohne Satelliten.....	163
Harris-Matrix-Erstellung	164
8.5.4 Das Datenbankschema	165
8.5.5 Ein Zwischenfazit – Ein mobiles Grabungsinformationssystem	166
8.6 Das Grabungsinformationssystem Tiberias	167
8.6.1 Sonderfall Tiberias – Alte Daten und neues Paradigma	167
8.6.2 Erweiterung des Systems für neue Herausforderungen.....	169
Barcodegestützter Keramik-Workflow	169
Systematische Archivierung der Funde.....	170
8.6.3 Praktische Erweiterungen für den Grabungsalltag	171

Dreidimensionale Aufnahmen einzelner Befunde	171
Zugang zur Datenbank mit dem Smartphone	173
8.6.4 Das Datenbankschema	174
8.7 Fazit.....	175
9 Gegenwärtige Herausforderungen – Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Archäologie	177
9.1 Einführung und Grundbegriffe der Künstlichen Intelligenz	179
9.2 Erstes Beispiel – Die Segmentierung von Orthofotos	183
9.2.1 Vektorisierung und Georeferenzierung der Segmentierung	187
9.2.2 <i>GeoCellpose</i> als grafisches und Kommandozeilentool.....	188
9.3 Zweites Beispiel – Die Erstellung eines Wissensmanagementsystems für die Archäologie	189
9.3.1 Datentypen und Daten speichern.....	192
9.3.2 Daten befragen	193
9.3.3 Erweiterung der Semantik.....	196
9.3.4 Eine neue Benutzerschnittstelle.....	197
9.4 Fazit.....	198
10 Langfristige Verfügbarkeit – Eine oft vernachlässigte Aufgabe	200
10.1 Die langfristige Verfügbarkeit der Grabungsdaten	200
10.2 Ein browsergestützter Datenbankzugriff mit <i>Open-Source</i> -Software.....	201
10.3 Alternativen – Schaffung von eigenen relationalen und dokumentenbasierten Datenbanksystemen	203
10.3.1 Ein einheitliches Datenbanksystem für die Grabungen des BAI/DEI durch parametrisierte Attributfelder?	207
10.4 Langzeitarchivierung mit CIDOC CRM.....	209
11 Fazit und Ausblick	210
Literaturverzeichnis.....	212
Anhang 1: Benutzerinterfaces der Datenbanken und Informationssysteme	229
1 Grabungsdatenbank <i>Tall Zirā ‘a</i>	229
1.1 Startbildschirm	229
1.2 Quadranten	230
1.2.1 Allgemein	230
1.2.2 Übersichtsskizzen.....	231
1.3 Befunde.....	232
1.3.1 Allgemein	232
1.3.2 Boden	233
1.3.3 Relationen.....	234

1.3.4 Funde.....	235
1.3.5 Vermessung	236
1.3.6 Befundblatt	237
1.3.7 Übersichtsskizzen.....	238
1.4 Fundzettel	239
1.5 Funde	240
1.5.1 Allgemein	240
1.5.2 Bilder und Zeichnungen	241
1.6 Medien	242
1.6.1 Befundblätter	242
1.6.2 Übersichtsskizzen.....	243
1.6.3 Fundzeichnungen/Fundbilder.....	244
1.7 Vermessung.....	245
1.7.1 Punkte.....	245
1.7.2 Codes	246
1.8 Verwaltung	247
1.8.1 Personen.....	247
1.8.2 Strata	248
1.8.3 Waren	249
1.8.4 Typologie.....	250
1.8.5 Ansprachen	251
1.8.6 Materialien	252
1.8.7 Typen	253
1.8.8 Dekors	254
1.8.9 Datierungen	255
1.8.10 Verbleibe	256
1.9 Keramikbearbeitung nach Kenkel.....	257
1.9.1 Typologie.....	257
1.9.2 Waren	258
1.9.3 Ansprachen	259
1.9.4 Datierungen	260
1.10 Survey 2001	261
1.10.1 Quadranten	261
1.10.2 Fundzettel	262
1.10.3 Funde.....	263
2 Surveydatenbank <i>Wādī al-‘Arab</i>	264
2.1 Startbildschirm	264
2.2 Fundplätze	265
2.2.1 Allgemein	265
2.2.2 Befunde	266

2.2.3 Fundzettel	266
2.2.4 Funde.....	267
2.2.5 Literatur	267
2.2.6 Google Maps	268
2.2.7 Fundplatzblatt	268
2.2.8 Bilder	269
2.2.9 Kartierung	269
2.3 Befunde.....	270
2.3.1 Allgemein	270
2.3.2 Funde.....	270
2.3.3 GPS-Punkte	271
2.3.4 Befundblatt	271
2.3.5 Bilder	272
2.4 Fundzettel	272
2.5 Funde	273
2.6 Punkte	273
2.7 Tagebuch.....	274
2.8 Literatur.....	274
2.9 Verwaltung	275
3 Grabungsinformationssystem Zionsberg.....	276
3.1 Startbildschirm (<i>Home Screen</i>).....	276
3.2 Organisation (<i>Organization</i>)	277
3.2.1 Areale (<i>Areas</i>)	277
3.2.2 Quadranten (<i>Squares</i>).....	278
3.2.3 Kampagnen (<i>Seasons</i>)	279
3.2.4 Team	280
3.3 Stratigrafie (<i>Stratigraphy</i>)	281
3.3.1 Befunde (<i>Contexts</i>)	281
3.3.2 Gruppen/Strukturen/Komplexe (<i>Features/Structures/Complexes</i>).....	290
3.3.3 Strata	292
3.6 Fundbearbeitung (<i>Find Management</i>).....	293
3.6.1 Fundzettel (<i>Find Labels</i>)	293
3.6.2 Funde (<i>Finds</i>)	294
3.7 Arealtagebuch (<i>Area Diary</i>)	295
3.8 Vermessung (<i>Surveying</i>)	296
3.8.1 Orthofotos (<i>Orthophotos</i>).....	296
3.8.2 Punkte/Codes (<i>Points/Codes</i>)	296
3.9 Einstellungen (<i>Settings</i>)	297
3.10 <i>iPhone</i> -Interface	298
4 Grabungsinformationssystem Tiberias.....	300

4.2 Organisation (<i>Organization</i>)	301
4.2.1 Areale (<i>Areas</i>)	301
4.2.2 Quadranten (<i>Squares</i>)	302
4.2.3 Kampagnen (<i>Seasons</i>)	303
4.2.4 Team (<i>Staff</i>)	304
4.3 Stratigrafie (<i>Stratigraphy</i>)	305
4.3.1 Befunde (<i>Contexts</i>)	305
4.3.2 Gruppen/Strukturen/Komplexe (<i>Features/Structures/Complexes</i>)	313
4.3.3 Strata	314
4.4 Fundbearbeitung (<i>Find Management</i>)	315
4.4.1 Fundzettel (<i>Baskets</i>)	315
4.4.2 Funde (<i>Finds</i>)	316
4.4.3 Kisten (<i>Boxes</i>)	317
4.4 Arealtagebuch (<i>Area Diary</i>)	318
4.5 Medien (<i>Media Attachments</i>)	319
4.6 Einstellungen (<i>Settings/Maintenance</i>)	320
4.7 iPhone-Interface	321
4.7.1 Keramik-Workflow	322
4.7.2 Befunde (<i>Contexts</i>)	323
Anhang 2: Abrufbare Daten zur Promotion	324
1 Datenbanken und Informationssysteme (Kapitel 8)	324
2 3D-Modelle und Orthofotos (Kapitel 5.8)	324
3 <i>ArkMatrix</i> (Kapitel 8.5.3)	325
4 <i>GeoCellpose</i> (Kapitel 9.2.2)	325
5 Grabungsinformationssystem Zionsberg als Webanwendung (Kapitel 10.2)	325

1 Einführung

1.1 Ziel der Dissertation

Die sogenannte *Digitale Revolution*⁵ verändert seit der zweiten Hälfte des 20. Jh. angesichts einer Vielzahl von *digitalen Transformationen* unser tägliches Leben, die wissenschaftliche Forschung und unsere Gesellschaft.⁶ Dieser Wandel, der durch den massiven Einsatz digitaler Technologien ausgelöst wurde, führt u.a. zu einer Automatisierung vieler Aufgaben und damit zu einer gesteigerten Effizienz, einer weltweiten Vernetzung und einem leichteren Austausch von Informationen.

Dieses Phänomen prägte auch die letzten 30 Jahre Biblischer Archäologie.⁷ Dabei veränderten sich sowohl die Organisation von archäologischen Projekten, ihre Durchführung und nicht zuletzt auch die dazugehörige Dokumentation.⁸

Das Biblisch-Archäologische Institut Wuppertal⁹ (im Folgenden BAI) und ebenso das Deutsche Evangelische Institut für Altertumswissenschaft des Heiligen Landes (im Folgenden DEI) haben es sich zur Aufgabe gemacht, die Chancen dieser Veränderungen zu nutzen und – gerade weil die herkömmlichen Dokumentations- und Ausgrabungsmethoden personal- und zeitintensiv (und somit teuer) sind – neue effektivere Wege zu gehen. Das Revolutionäre dieser Transformationen liegt darin, dass die zugrundeliegenden

⁵ Stengel et al. 2017, S. 17ff. – Der Begriff *Digitale Revolution* setzt die derzeitige Umwälzung der menschlichen Gesellschaften in eine Reihe mit der *Neolithischen Revolution*, der *Urbanen Revolution* und der *Industriellen Revolution*. Damit wird soziologisch die Menschheitsgeschichte in vier Zeitalter unterteilt, Jäger/Sammler, Agrargesellschaften, Industriegesellschaften und Digitale Gesellschaften. Vgl. Vieweger 2019, I 98-92.

⁶ Müller-Brehm et al. 2020.

⁷ Für eine Definition des Forschungsfeldes siehe Kapitel 1.3.

⁸ Vgl. Göldner 2019.

⁹ Das Biblisch-Archäologische Institut Wuppertal ist ein Institut der Kirchlichen Hochschule Wuppertal und ein An-Institut der Bergischen Universität Wuppertal.

Prozesse – man denke an Datenaufnahme und Kommunikation zwischen den Spezialisten – durch die Digitalisierung grundsätzlich verändert werden.

Als digitale Transformation ist einerseits der gesamte Veränderungsprozess von Wirtschaft und Gesellschaft durch digitale Technologien zu verstehen. Andererseits wird der Begriff auch für konkrete Veränderungsprozesse bei der Digitalisierung von Einzelbereichen verwendet.¹⁰ Innerhalb dieser Arbeit erscheint es daher sinnvoll von einzelnen *digitalen Transformationen* zu sprechen.

Die sich ständig weiterentwickelnden Möglichkeiten der digitalen Sphäre bedingen es, dass die Digitalisierung eines Prozesses sich nicht als einmaliger Vorgang präsentiert, sondern fortlaufend weiteren Veränderungen unterworfen ist. Informationstechnische Umsetzungen von digitalen Transformationen, die sich selbst als Veränderungsprozess (*Change-Management*¹¹) verstehen, stehen folglich erst am Ende einer inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Objekt der Digitalisierung.

Beispielhaft bewirkte die Verbreitung der Mobilgeräte in Form von Smartphones und Tabletcomputern einen eigenen transformativen *Input* auf die Arbeitsabläufe von archäologischen Ausgrabungen, wie im weiteren Verlauf der Arbeit gezeigt wird.

In diesem Sinne bestehen die fortlaufenden digitalen Transformationen aus Teiltransformationen. Folglich braucht es eine ganzheitliche, strategische Vorgehensweise. Mit der Entscheidung für die Investition in eine Technologie ist stets auch die Frage der zukünftigen Offenheit für die nächste Generation der Technologie bzw. neuen Technologien verbunden.

In dieser Arbeit wird die konkrete digitale Transformation betrachtet, die die archäologische Feldarbeit des BAI/DEI durch die letzten drei Jahrzehnte deutlich veränderten. Der Bereich der archäologischen Feldarbeit sowie der Auswertung und Publikation dieser Ausgrabungen und Surveys¹² stellte einen zentralen Aufgabenbereich des BAI/DEI dar. Obwohl parallel auch von anderen Institutionen mehrere Lösungen und Strategien für Teilbereiche einer digitalisierten Grabung geschaffen wurden, so gibt es bis heute keine

¹⁰ Vial 2019.

¹¹ *Change Management* ist ein systematischer Ansatz zum Umgang mit dem Übergang oder der Transformation der Ziele, Prozesse oder Technologien einer Organisation. Der Zweck des Änderungsmanagements besteht darin, Strategien zu implementieren, um Änderungen zu bewirken, Änderungen zu kontrollieren und Menschen dabei zu helfen, sich an Änderungen anzupassen“, Helmhold 2023, S. 157.

¹² Feldbegehung.

allgemein übergreifenden Anwendungen, die zum Beispiel für Neueinsteiger zur Verfügung gestellt werden könnten.¹³ Zu unterschiedlich sind die archäologischen Anforderungen und die technischen Voraussetzungen sowie auch die Bereitschaft, sich auf neue technische Umsetzungen einzulassen.

Der Autor hat die digitalen Transformationen am BAI/DEI seit dem Beginn der Grabungen auf dem *Tall Zirāʿa* im Jahr 2003 mitverantwortet. Die praktische Arbeit im Feld und bei der Auswertung haben die Genese dieser Arbeit über Jahre in komplexen und reflektierenden Prozessen beeinflusst und befruchtet. Daher sind die konkreten digitalen Umsetzungen nicht nur als Objekt der Analyse, sondern als Teil dieser Arbeit, zu verstehen. In drei Fragestellungen kristallisiert sich damit das Ziel dieser Arbeit heraus:

1. Wie sollte im digitalen Zeitalter ausgegraben (bzw. ein Survey durchgeführt) und dokumentiert werden?
2. Wo lassen sich durch die digitale Transformation Effizienzsteigerungen gewinnen?
3. Wie können diese Übergänge zur Digitalisierung realisiert und nachhaltig gewährleistet werden (*Change Management*)?

Digitale Transformationen und Digitalisierung bedeuten mehr als den Austausch einer analogen Technik durch eine digitale. Die hier vorgestellten und vom Autor konzipierten und realisierten Lösungen orientieren sich an den speziellen Erfordernissen der Biblischen Archäologie und im Besonderen denen der konkreten Forschungsprojekte des BAI/DEI. Deshalb werden in der folgenden Arbeit vier große archäologischen Feldforschungsprojekte im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen: der *Tall Zirāʿa* in Jordanien (Leitung: Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Dieter Vieweger; Dr. Jutta Häser),¹⁴ der Zionsberg in Jerusalem (Leitung: Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Dieter Vieweger),¹⁵ Tiberias am See Genezareth (Leitung: Assist.-Prof. Dr. Katja Soennecken; Dr. Katia Cytryn)¹⁶ und der Survey im *Wādī al-ʿArab* (Leitung: Assist.-Prof. Dr. Katja Soennecken; Autor).

¹³ Siehe z.B. Bria/DeTore 2016, Burrows 2016, Cuy et al. 2019, Ellis 2016, Eve/Hunt 2008, Gordon et al. 2016, Homsher et al. 2017, Jensen 2018a, Jensen 2018b, López et al. 2016, Motz 2016, Prins et al. 2014, Sharp/Litschi 2014, Schäfer 2011, Schloen/Prosser 2023, Schloen/Schloen 2012, Schloen/Schloen 2014. Für weitere Beispiele siehe Graeme 2013.

¹⁴ Seit 2001.

¹⁵ Seit 2015. Seit 2021 in Kooperation mit der israelischen Antikenbehörde IAA.

¹⁶ Seit 2021 in Kooperation mit der Hebräischen Universität Jerusalem.



Abbildung 1.1: Orte und Wadis in dieser Arbeit¹⁷

In den Projekten des BAI/DEI wurde die vollständig papierlose Dokumentation durchgesetzt. Das Zentrum dieses bereits 2019 eingeführten Vorgehens ist sind *Grabungsinformationssysteme*¹⁸, in dem alle Eingaben, Fotos, Messdaten und Auswertungsergebnisse gespeichert werden.

In der Wirtschaftsinformatik wird ein *Informationssystem* (IS) definiert als „ein künstliches, konkretes System, das aus maschinellen und menschlichen Elementen besteht und seine Nutzer mit Informationen versorgt. Es ist gleichzeitig ein Modell und ein Element einer Organisation oder verbundener Organisationen.“¹⁹ In diesem Sinne wird in dieser Arbeit von Grabungsinformationssystemen gesprochen. Um diese erfolgreich auf technischer Seite zu konzipieren und umzusetzen, muss vor allem die Organisation – hier eines Grabungsprojektes – als Modell eines Informationssystems verstanden werden. Dabei kommen die Menschen in ihren Rollen in den Blick; sie sind im Verständnis eines Informationssystems konstituierende Elemente.

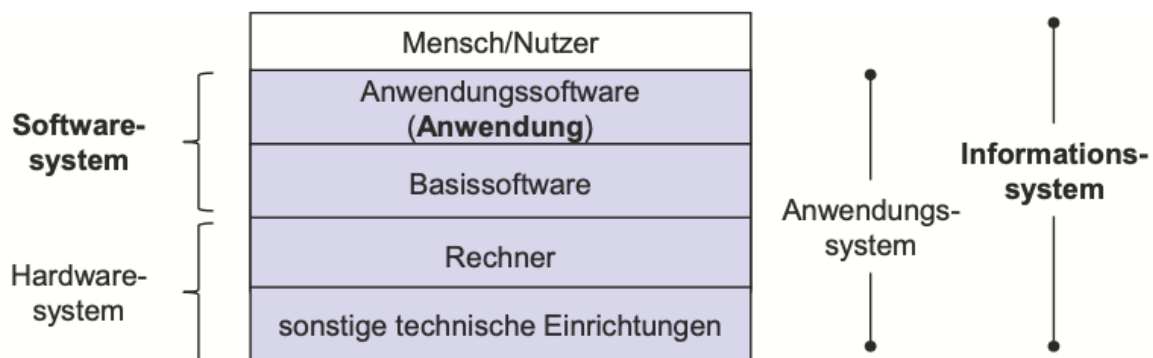


Abbildung 1.2: Aufbau eines Informationssystems²⁰

In der Feldarbeit wurde beim BAI/DEI mit der erfolgreichen Digitalisierung eine deutliche Effizienzsteigerung erreicht.

¹⁷ Copyright: Autor.

¹⁸ Für den Begriff *Digital Information System* in Bezug auf eine Grabungsdokumentation siehe López et al. 2016.

¹⁹ Alpar et al. 2023, S. 25. Vgl. Heinzl et al. 2024, S. 8.

²⁰ Teubner 1999, S. 26.



Abbildung 1.3: iPad mit Grabungsinformationssystem bei der Datenerfassung²¹

Zu kurz gegriffen wäre ein Grabungsinformationssystem, wenn es nur die Feldarbeit abbilden würde. Alle Schritte von der Auswertung der Ergebnisse bis hin zur Endpublikation müssen stets mitgedacht werden. Im Idealfall werden sie in *einem* Grabungsinformationssystem logisch abgebildet. Alle Fundbearbeiter/innen finden entsprechende *Interfaces* vor. Die Stratifizierung mit Hilfe der Harris-Matrix wird digital unterstützt. Befunde lassen sich dabei auch in logisch größere Einheiten zusammenfassen. Die Erstellung der Strata-Pläne geschieht aus dem System heraus in einem Desktop-GIS.

Die Auswertung schließt in der Regel mit der Grabungspublikation ab. Nach Beendigung des Grabungsprojektes stellt sich die Frage nach der digitalen Langzeitverfügbarkeit der Daten zusätzlich zur Grabungspublikation. Auch der Lösung dieser Aufgabe stellt sich die vorliegende Arbeit, selbst wenn die Realisierung noch in der Zukunft liegt, da die Projekte des BAI/DEI noch nicht als abgeschlossen gelten.

²¹ Copyright: Autor.

Die Forschungsprojekte des BAI/DEI beziehen sich auf Siedlungskontexte, wie sie in der Biblischen Archäologie üblich sind. Dennoch stellen die Ortslagen und deren Umfeld je spezifische Herausforderungen an die Grabungsorganisation. Der *Tall Zirā'a* ist ein Kulturschutthügel, auf dem sich 18 Meter Siedlungsreste aus 5000 Jahren auftürmen.²² Der Zionsberg in Jerusalem steht exemplarisch für eine Stadtgrabung inmitten einer bewohnten Ortslage, wo die Anlage und die Größe der jeweiligen Grabungsbereiche per se stark limitiert sind. Tiberias am See Genezareth als römische Stadtgründung stellt wiederum mit seiner Ausdehnung und angesichts der Größe der repräsentativen Architektur eigene Herausforderungen an die Grabungsdokumentation. Diese drei Grabungen decken drei wesentliche Arbeitsfelder der Biblischen Archäologie ab, sodass die hier beispielhaft vorgestellten Lösungen für viele weitere archäologische Projekte in der südlichen Levante und darüber hinaus anwendbar sind.

Rettungsgrabungen entstehen hingegen – anders als wissenschaftliche Grabungen – aus einem konkreten Anlass – oft angesichts einer Baumaßnahme. Daran orientiert sich auch die Planung und Organisation einer Rettungsgrabung. Ihr Zeitraum ist begrenzt und ihre Durchführung sollte unmittelbar nach dem Auffinden der archäologischen Befunde erfolgen. Da sich allerdings Methoden und Dokumentation nicht von einer wissenschaftlichen Grabung unterscheiden, sind die in dieser Arbeit vorgestellten Lösungen durchaus übertragbar.

1.2 Struktur der vorliegenden Arbeit

Die Digitale Transformation eines Grabungsprojektes bedeutet konkret die Digitalisierung der Felddokumentation und ihrer Auswertung mit den dazugehörigen Arbeitsabläufen. Um diese nachvollziehen zu können, wird zunächst der Forschungsbereich der Biblischen Archäologie definiert und ein Überblick über die Grabungsmethodik gegeben (Kapitel 1.4), auf der die Dokumentation beruht. In Kapitel 2 werden die Elemente der Dokumentation und die dazugehörigen Arbeitsabläufe dargestellt.

Die Spezifika der verschiedenen Projekte des BAI/DEI seit 2001 stellten jeweils eigene Herausforderungen an die Grabungsdokumentation. Mit den im Laufe der Projekte

²² Vieweger 2017.

gewonnenen Erfahrungen und den wachsenden technischen Möglichkeiten wurden Lösungen dafür entworfen und umgesetzt. Einen Überblick darüber gibt das Kapitel 3.

Die Entwicklung der Vermessungstechnik von optisch-mechanischen Geräten hin zur satellitengestützten Vermessung, die sich nahtlos in den digitalen Workflow integriert, ist das Thema von Kapitel 4. Die Fotogrammetrie kann als Teil der Vermessung betrachtet werden. Damit wird man aber der Bedeutung, die sie für das integrierte Informationsmanagement einer Grabung hat, nicht gerecht. Folglich ist der Entwicklung in diesem Bereich, vor allem auch der *Structure-from-Motion*-Technik, ein eigenes Kapitel (Kapitel 5) vorbehalten. In einem Exkurs wird die drohnengestützte Fotogrammetrie auf ihre effiziente Anwendbarkeit zur 3D-Darstellung, Vermessung und archäologischen Evaluierung untersucht. Dafür wurden vier archäologische Ortslagen in Israel und Palästina exemplarisch ausgewählt, von denen fotogrammetrische Aufnahmen gemacht wurden.

Ein weiterer großer Schritt zur Integration der verschiedenen Arbeitsabläufe in einem Grabungsprojekt ist der Wechsel von CAD-Zeichnungen zur Verwendung von Geografischen Informationssystemen. Damit werden die Grabungspläne unmittelbar mit allen anderen Daten der Grabungsdokumentation verknüpft. Die Vorteile, aber auch die noch vorhandenen Nachteile werden in Kapitel 6 diskutiert.

Die Verwendung von Mobilgeräten im Feld, in der Regel Tablets, ist ein zentrales Element, um überhaupt die Integration der verschiedenen Arbeitsabläufe und die sofortige simultane Verfügbarkeit aller Informationen zu erreichen. Tablets haben die traditionelle Dokumentation auf Formularen abgelöst. Das ist allerdings nur die oberflächliche erste Ebene. Möglich wird die Verwendung von internen Sensoren für die Fotografie und die 3D-Aufnahme. Über Mobilfunk ist das Tablet in das gesamte Grabungsinformationssystem integriert. Dem Weg zur papierlosen Dokumentation widmet sich Kapitel 7.

Die Beschreibung der Grabungsinformationssysteme der Projekte des BAI/DEI ist das Thema von Kapitel 8. Ursprünglich als Grabungsdatenbank auf dem *Tall Zirā'a* gestartet, machen die Systeme mit der technischen Entwicklung – aber vor allem auch in der Reflektion der Erfahrungen aus Feldarbeit und Auswertung – eine Metamorphose zu *integrierten Grabungsinformationssystemen* durch. Die Systeme der vier Hauptprojekte des

BAI/DEI, *Tall Zirā ‘a*, *Wādī al-‘Arab*, Zionsberg und Tiberias werden hier in chronologischer Reihung dargestellt, um deren Entwicklung nachzuvollziehen.

In Kapitel 9 werden neue Möglichkeiten, welche durch die jüngsten Erfolge bei der Entwicklung Künstlicher Intelligenz sich ergeben haben, an zwei Beispielen vorgestellt.

Von der automatisierten Erstellung steingerechter Zeichnungen, die die Grundlage der Grabungspläne bilden, handelt der erste Teil. Ein neuronales Netz, welches in der Biologie zur Segmentierung von Mikroskop-Bildern mit Zellhaufen bestimmt ist, wird mit dem *Human-in-the-Loop-Verfahren* für die Verwendung in der Archäologie trainiert. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird das Konzept eines Wissensmanagementsystems, welches für archäologische Fragestellungen optimiert ist, vorgestellt.

Wie die digitale Langzeitverfügbarkeit der Grabungsdaten im Bereich des BAI/DEI nach Abschluss der Projekte sichergestellt werden soll, steht im Fokus von Kapitel 10. Auch werden der Ansatz des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) in dieser Hinsicht betrachtet und mithin neue Ansätze für das Datenbankparadigma diskutiert.

Auf das Fazit (Kapitel 11) und das Literaturverzeichnis folgt im Anhang ein Überblick über alle Eingabemasken der Datenbanken bzw. Grabungsinformationssysteme.

1.3 Das Forschungsfeld Biblische Archäologie

Wie in Kapitel 1.1 geschrieben, steht am Beginn einer Digitalen Transformation die inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Objekt der Digitalisierung. Daher sollen in aller Kürze in diesem und im nächsten Kapitel die zentralen Begrifflichkeiten angefangen bei der Definition des Forschungsfeldes dargestellt werden.

1.3.1 Räumliche Definition

Die Biblische Archäologie beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen Erforschung archäologischer Hinterlassenschaften materieller Kultur der südlichen Levante. Methodisch ist die Biblische Archäologie den Standards der Vorderasiatischen Archäologie verpflichtet.²³ Räumlich umfasst sie die nördliche wie südliche Levante, welche den

²³ Vieweger 2012.

südwestlichen Teil des „Fruchtbaren Halbmondes“ repräsentiert. Sie war stets kulturell eng mit den übrigen Gebieten des Vorderen Orients zwischen Mittelmeer, Syrien und dem Zweistromland verbunden und kann daher auch nur mit den Methoden der Vorderasiatischen Archäologie vergleichbar beschrieben werden. Der große Bereich des „Fruchtbaren Halbmondes“ repräsentiert dabei die zusammenhängende Landmasse, die sich für Regenfeldbau eignete und daher schon seit der Neolithischen Revolution – der Sesshaftwerdung des Menschen – eine zentrale Rolle in der Menschheitsgeschichte spielte.²⁴

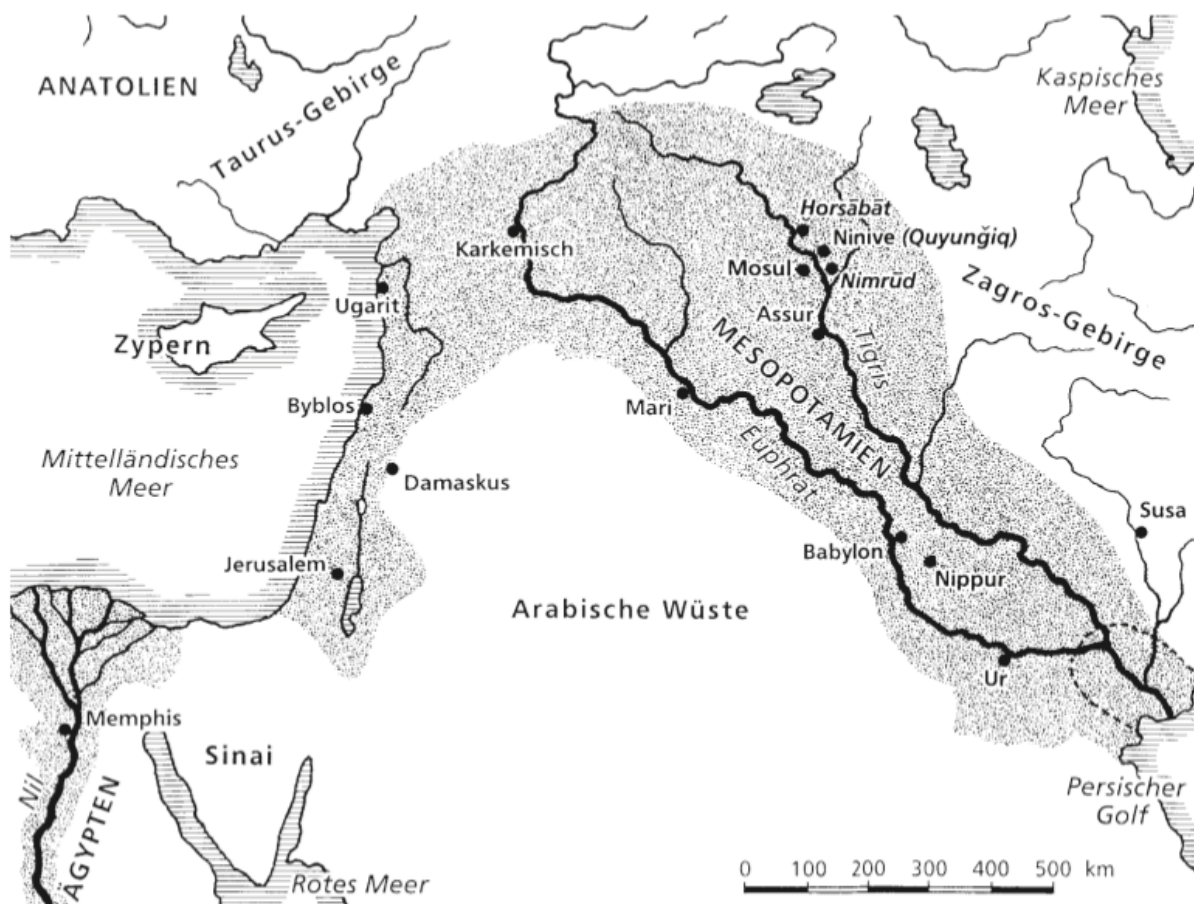


Abbildung 1.4: „Fruchtbarer Halbmond“²⁵

Ägypten als südlicher Nachbar des „Fruchtbaren Halbmondes“ war maßgeblich über die Landbrücke der südlichen Levante mit dem eurasischen Raum verbunden. Die südliche Levante erstreckt sich in West-Ost-Richtung vom Mittelmeer bis zur arabischen Wüste. Im Norden bilden Libanon und Antilibanon die Grenze. Im Süden endet die Levante am

²⁴ Vieweger 2019, S. 32.

²⁵ Vieweger 2012, Abb. 21.

Bach Ägyptens (*Wādī al-‘Arīš/Naḥal Mišrajim*).²⁶ Damit umfasst der Interessensbereich der Biblischen Archäologie das heutige Israel, den Gaza-Streifen, die Westbank, Jordanien sowie Teile des südlichen Syriens, des Libanons und schließlich auch den Sinai. Die Verbindung dieser Landbrücke mit den umliegenden Landmassen in den afrikanischen wie den eurasischen Bereich hinein ist wegweisend für die Biblische Archäologie.

1.3.2 Zeitliche Definition

Die Ursprünge des Faches Biblische Archäologie gründen sich in dem Interesse an den Altertümern der biblischen Tradition, die sich bis ins 4. Jh. n. Chr. zurückverfolgen lassen.²⁷

Da man sich nicht nur mit der Zeit um Jesus aus Nazareth, sondern insbesondere auch mit dem Alten Testament als der überkommenen Heiligen Schrift beschäftigte, ergab sich zunächst eine zeitliche Fokussierung auf die Eisenzeit, die persische, hellenistische und die römische Epoche. Wenngleich diese Kulturzeiten noch immer zentral für viele Fragestellungen und Forschungsvorhaben in der Biblischen Archäologie sind, ist heute diese chronologische Engführung nicht mehr Stand der wissenschaftlichen Praxis.²⁸ Dies hat einerseits praktische Gründe, da bei Feldforschungen Ortslagen untersucht werden, die kontinuierlich oder zumindest mehrfach, das heißt in verschiedenen Epochen, besiedelt waren.²⁹ Schon deshalb ist eine nur selektive Betrachtung bestimmter Epochen problematisch und abzulehnen. Weiterhin ist heute die Betrachtung längerer Traditions- und Entwicklungslinien in den historischen Wissenschaften, die man nach Fernand Braudel unter dem Begriff *Longue Durée* fassen kann, ein wichtiges Element der wissenschaftlichen Forschung geworden.³⁰ Damit bleibt für den Begriff *Biblische Archäologie* eine vornehmlich räumliche Begrenzung auf die südliche Levante mit einem Schwerpunkt von Fragestellungen auf den Zeitraum zwischen dem Neolithikum und der frühislamischen Zeit, der umayyadischen Epoche.

In der israelischen Archäologie, insbesondere an den Universitäten des Landes, wird die Einteilung der archäologischen Fächer anders vorgenommen. Die Epochen von der

²⁶ Vieweger 2019, S. 33.

²⁷ Vieweger 2012, S. 23ff.

²⁸ Die Forschungsprojekte des BAI/DEI umfassen Ortslagen vom Natufien bis ins Mittelalter.

²⁹ Hier ist zum Beispiel der *Tall Zirā‘a* zu nennen, dessen kontinuierliche Besiedlung über einen Zeitraum von 5000 Jahren nachgewiesen ist. Siehe Vieweger 2017.

³⁰ Raphael 2006.

Frühen Bronzezeit bis zum Ende der klassischen Zeit werden als „Biblische Archäologie“ verstanden. Alle Zeiten davor bis einschließlich des Paläolithikums werden als Vorgeschichte bezeichnet.³¹ Die byzantinische Epoche entspricht in Europa der Spätantike.

1.3.3 Der Beginn der Ausgrabungstätigkeit im Heiligen Land

In der ersten Hälfte des 19. Jh. wurde das wissenschaftliche Interesse an den Altertümern des Heiligen Landes durch Forschungsreisende geweckt. Bekannte Namen sind Ulrich Jasper Seetzen (1767–1811), Johann Ludwig Burckhardt (1787–1817) und Edward Robinson (1794–1863).³² Aber erst die Gründung von Forschungsgesellschaften wie dem *Palestine Exploration Fund* 1865 und dem *Deutschen Verein zur Erforschung Palästinas* schuf die notwendigen organisatorischen und finanziellen Voraussetzungen, um wissenschaftliche Ausgrabungen anzugehen. Die Entsendung von Charles Warren (1840–1927) durch den *Palestine Exploration Fund* 1867 zu Ausgrabungen in der Jerusalemer Altstadt ermöglichte die erste wissenschaftliche Grabung in Palästina.³³ Seine bekannteste Entdeckung ist der Warren-Schacht, ein Teil der antiken Wasserversorgung Jerusalems. Gegraben wurde auf der Suche nach Altertümern damals hauptsächlich in Schächten, dem Untertagebergbau nicht unähnlich. Man meinte damals, damit schneller bedeutende Ergebnisse erzielen zu können, und konnte Vorgaben der osmanischen Regierung so leichter umgehen.

Bald wurde aber klar, dass weitflächig angelegte Grabungen weit mehr Potential besaßen, lange Siedlungsfolgen zu erkennen und zu beschreiben. Seit Heinrich Schliemanns (1822–1890) Ausgrabungen in Troja (1870–1873) war das Phänomen einer chronologischen Schichtenfolge auf einem Grabungshügel (*Tall*) schon aus Kleinasien bekannt.³⁴ Erst W. M. Flinders Petrie (1853–1942) jedoch legte auf seiner Ausgrabung auf dem *Tall al-Ḥasī* 1890 erstmals in Palästina die typische sukzessive Schichtenfolge eines *Talls* zielgerichtet frei führte die stratigrafische Grabung ein.³⁵

Petries Nachfolger als Ausgräber von *Tall al-Ḥesī*, Frederick J. Bliss (1859–1937), grub das erste Mal in Grabungsquadranten von 10 x 10 Fuß. Auch er beachtete die dort je vorgegebene Schichtenfolge.

³¹ Matskevich 2015, S. 4.

³² Weippert 1971, S. 31; Vieweger 2012, S. 31.

³³ Weippert 1971, S. 52; Vieweger 2012, S. 37f.

³⁴ Weippert 1971, S. 52; Vieweger 2012, S. 150.

³⁵ Petrie 1904.

Allerdings gingen beide noch von einer schematischen streng horizontalen Abfolge der stratigraphischen Schichten aus. Erst langsam setzte sich die Erkenntnis durch, dass eine allzu schematische Betrachtungsweise der Schichtenfolge dem wahren Aufbau des archäologischen Untergrundes nicht gerecht wurde. Schon die Schnittzeichnungen der gefundenen Gebäudereste auf den Grabungen, welche häufig von Architekten mit Vermessungskenntnissen durchgeführt wurden, zeigten, dass die Vorstellung der horizontalen Schichten nicht haltbar war.

1.4 Begriffsdefinitionen

Diese Arbeit hat einen die Bereiche der Archäologie in Richtung Informations- und Datenverarbeitung übergreifenden Anspruch. Es werden Methoden der Informatik für die archäologische Arbeit und hier vor allem für den alltäglichen Grabungsworkflow nutzbar gemacht. Um den Lesern beider Fächer gerecht zu werden, sollen Grundbegriffe eingeführt werden, die innerhalb eines Faches wortlos vorausgesetzt werden könnten. Da eine präzise Definition der Sachbegriffe aber für das Verständnis des Anliegens dieser Arbeit zentral erscheint, sollen diese Definitionen im Folgenden vorgestellt werden.

1.4.1 Die stratigrafische Methode

Der Begriff *Stratigrafie* wurde der Geologie entlehnt. Dort bezeichnet er Methoden zur Bestimmung des relativen Alters von Gesteinsschichten. Die wichtigste Regel ist das stratigrafische Prinzip (engl. *Law of Superposition*). Es besagt, dass eine Sedimentschicht, die über einer anderen Sedimentschicht liegt, jünger sein muss. In dieser Betrachtungsweise ist eine Sedimentschicht eine stratigrafische Einheit.

Bei der Entstehung eines archäologischen Ortes, zum Beispiel eines Tells, wirken auf die von Menschen hinterlassenen Artefakte über die Zeit ähnliche Formationsprozesse, wie sie in der Geologie für die Stratigrafie gelten. Das Ziel der stratigrafischen Methode ist nun, die archäologischen Schichten und ihre zeitlichen Relationen zu erkennen und daraus Schlüsse über den Zustand des archäologischen Ortes zu verschiedenen früheren Zeitpunkten zu ziehen. Diese Arbeit ist Teil des Auswertungsprozesses. Die Formationsprozesse, welche sowohl natürlich als auch menschlich beeinflusst sind, können so komplex sein, dass eindeutige Rekonstruktionen nicht möglich sind.³⁶

³⁶ Schiffer 1987.

Mit Kathleen M. Kenyon (1906–1978) hielt die stratigrafische Methode im eigentlichen Sinn ihren programmatischen Einzug in die Archäologie Palästinas.³⁷ Ihre Grabung in Jericho (1952–1958) ist die erste vollständig in dieser Weise dokumentierte.³⁸ Schon ihr Lehrer Mortimer Wheeler entwickelte eine Vorform der stratigrafischen Methode in den dreißiger Jahren des 20. Jh., weshalb man später auch von der Wheeler-Kenyon-Methode sprach.³⁹ Wheelers Innovation war, dass er Profile seiner Grabungsschnitte zeichnete, in denen er die archäologischen Schichten mit Nummern in der chronologischen Reihenfolge markierte.⁴⁰

1.4.2 Das *Locus-/Context*-System

Die Begriffe *Locus* und Befund (engl. *Context*) werden heute austauschbar verwendet.⁴¹ Die kleinste stratigrafische Einheit einer archäologischen Grabung wird Befund (engl. *Context*) genannt. Ein Befund ist ein zusammenhängendes, homogenes Volumen des Untergrundes.⁴² Dies kann zum Beispiel ein Stück einer Mauer sein oder ein Erdvolumen, welches sich durch Eigenschaften wie Farbe oder Korngröße von den umliegenden Befunden abhebt. Stoßen zwei Befunde aneinander, so heißt die Berührungsfläche *Interface*.⁴³ Diese Interfaces bestimmen die zeitliche Relation – gleichzeitig, jünger, älter – zwischen den Befunden.

Ein Fund ist ein von Menschen hergestelltes Artefakt oder ein natürliches Ökofakt. Artefakte sind z. B. Keramik, Metallobjekte oder bearbeitete Knochen. Ökofakte sind hingegen organische Fundobjekte, die durch menschliches Zutun an diesen Ort gelangt sind und damit für die Archäologie Relevanz haben. Dazu gehören zum Beispiel unbearbeitete Knochen, Samen und Holzkohle.

Bei den frühen Grabungen konzentrierte man sich noch vornehmlich auf die Freilegung von Mauerresten. Die zwischen den Mauern liegenden Bereiche wurden als Loci

³⁷ Kenyon 1953, Kenyon 1971, Higginbotham 1985, für die frühe Entwicklung der stratigrafischen Methode in den USA siehe auch Browman/Givens 1996.

³⁸ Weippert 1971, S. 55f.

³⁹ Weippert 1971, S. 56; Harris 1989, S. 11.

⁴⁰ Vgl. Lucas 2001, S. 46.

⁴¹ Für die Betrachtung von Ausgrabungsberichten bis in die sechziger Jahre des 20. Jh. kann dies irreführend sein.

⁴² Matskevich 2015, S. 18.

⁴³ Hier hat sich die englische Bezeichnung durchgesetzt.

bezeichnet.⁴⁴ Die in einem *Locus* gewonnenen Funde, hier hauptsächlich die Keramik, datierten den *Locus* und mithin die benachbarten Mauern. Dabei wurden erkannte Fundamente und Fußböden den Mauern und Loci zugeordnet. Ein *Locus* in diesem Sinne kann also aus einem einzelnen Befund oder aus mehreren Befunden bestehen. Damit findet beim *Locus* die komplexe Entstehungsgeschichte des Untergrundes wenig Beachtung. Erkennen kann man eine Ausgrabung im *Locus*-System an der Unterscheidung zwischen Mauer und *Locus*, während in der befundorientierten Dokumentation eine Mauer wie auch ein Erdbefund gleichermaßen als Befund betrachtet werden.

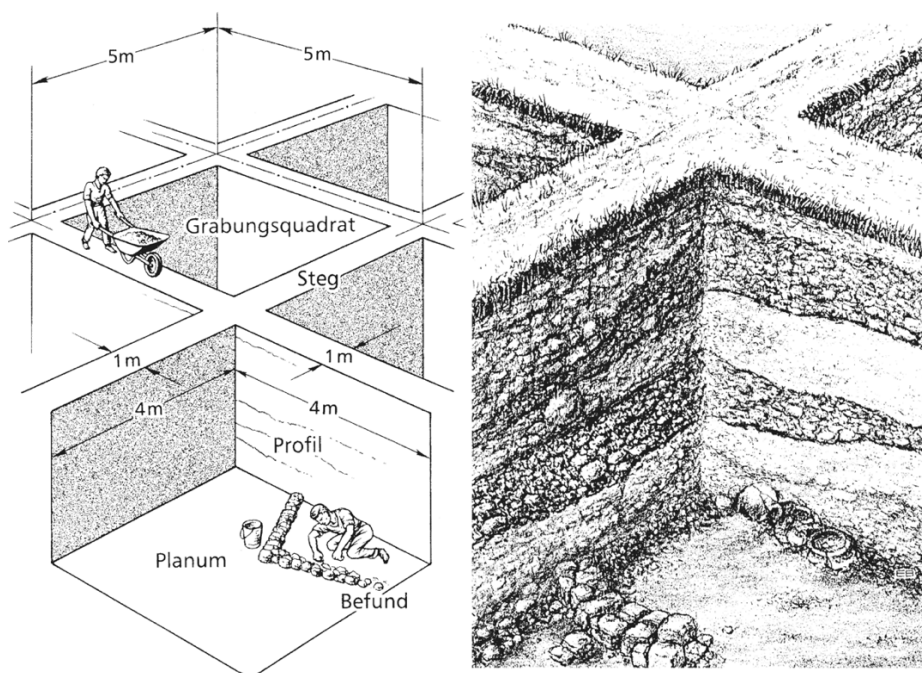


Abbildung 1.5: Links idealisierte Grabungsquadranten, rechts Stratigrafie sichtbar im Profil⁴⁵

Heute wird in der Regel in Grabungsquadranten gegraben. Dazu wird die Grabungsfläche mit einem Raster in einzelne Quadranten aufgeteilt. Übliche Größen der Quadranten in der Biblischen Archäologie sind 5 m x 5 m und 10 m x 10 m. Zwischen den Quadranten werden *Stege* stehen gelassen, an deren Profilseiten sich die Stratigrafie in der vertikalen Ansicht nachvollziehen lässt. Die in einem Quadranten horizontal abgegrabene Fläche nennt man *Planum* (siehe Abbildung 1.5).

⁴⁴ Weippert 1971, S. 55.

⁴⁵ Vieweger 2012, Abb. 133 und 134.

1.4.3 Relationen in der Stratigrafie

In den Siebzigerjahren formalisierte Edward C. Harris die stratigrafische Betrachtung in der Archäologie und führte die nach ihm benannte Harris-Matrix zur grafischen Repräsentation der zeitlichen Relationen zwischen den Befunden ein.⁴⁶ Aus der stratigrafischen Methode entwickelte sich die befundorientierte Dokumentation (engl. *Single Context Recording*). Diese wurde zuerst im Vereinigten Königreich, insbesondere unter der Federführung des *Museum of London* standardisiert.⁴⁷

Im Sinne von E. C. Harris⁴⁸ wird der Untergrund eines archäologischen Grabungsplatzes so aufgefasst, dass dieser aus Strata und *Interfaces* besteht. Ein Stratum besteht wiederum aus den Befunden, die sich einer Zeitperiode zuordnen lassen.⁴⁹ So erhält man eine vollständige disjunkte Aufteilung des Untergrundes. Die Berührungsflächen zwischen den Strata bzw. Befunden werden als *Interfaces* bezeichnet. Zwei Befunde, die ein gemeinsames *Interface* haben, also aneinanderstoßen, stehen auch in einer zeitlichen Relation zueinander. Sie können gleichzeitig oder nacheinander entstanden sein. An der Art des *Interfaces* kann das zeitliche Verhältnis bestimmt werden. Schneidet zum Beispiel ein Befund A einen Befund B, so muss A jünger als B sein.

älter als	jünger als	gleichzeitig mit
unter	über	innerhalb
wird versiegelt von	versiegelt	enthält
verfüllt mit	Verfüllung von	äquivalent zu
wird geschnitten von	schneidet	verbunden mit
wird angestoßen von	zieht an	gleicher Befund

Tabelle 1.1: Zeitliche Relationen von Interfaces nach Harris⁵⁰

⁴⁶ Harris 1989, Harris 1993.

⁴⁷ Westman 1995, Barker 2002.

⁴⁸ Harris 1989.

⁴⁹ Die Menge aller gleichzeitigen Befunde – gleichzeitig im Sinne einer definierten Zeitepoche – wird *Stratum* genannt. Den Untergrund eines archäologischen Ortes kann man sich aus Befunden zusammengesetzt vorstellen, die zu verschiedenen Strata gehören. In einer Ausgrabung werden folglich die Befunde bestimmt und systematisch freigelegt sowie dokumentiert.

⁵⁰ Harris 1993.

Zur Darstellung der Relationen in einem Grabungsbereich⁵¹ werden die Befunde innerhalb einer Harris-Matrix nach ihrem zeitlichen Verhältnis zueinander aufgetragen. Jüngere Befunde stehen weiter oben, ältere darunter. Befunde, die gleichzeitig entstanden sind, werden auf gleicher Höhe dargestellt. Befunde, die ein gemeinsames Interface aufweisen, werden möglichst nahe zueinander aufgetragen und mit einer Linie verbunden. Horizontale Linien teilen die verschiedenen Strata voneinander ab.

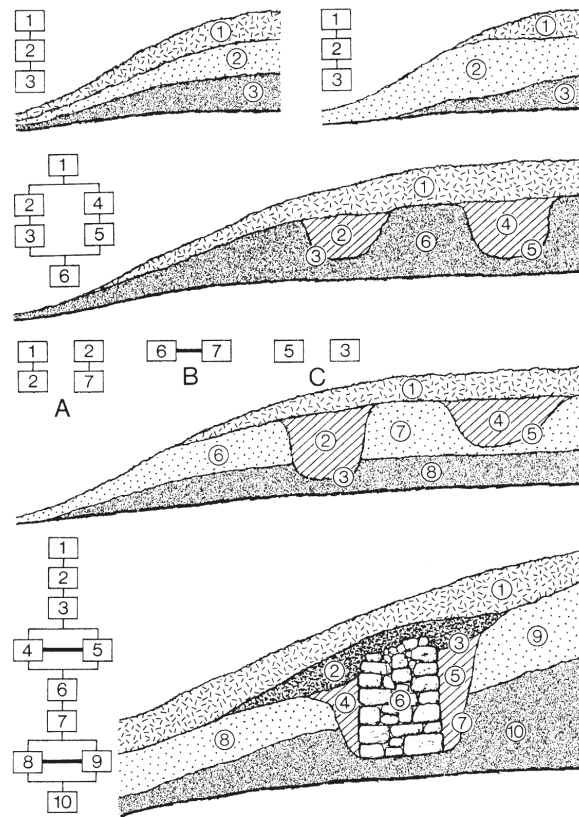


Abbildung 1.6: Beispiele von Harris-Matrizen⁵²

⁵¹ Harris 1993.

⁵² Vieweger 2012, Abb. 129.

1.4.4 Gruppe, Struktur und Komplex

Der Befund ist die kleinste Einheit, die auf einer Grabung dokumentiert wird. Während der Auswertung werden die Befunde verschiedenen Strata zugeordnet. Die zu einem Stratum gehörenden Befunde einer Siedlungsgrabung ergeben zusammen größere Einheiten wie Räume, Gebäude, Wege etc. Diese Sinneinheiten werden durch *Gruppe, Struktur und Komplex* formalisiert.

Eine *Gruppe* (engl. *Feature*) ist eine architektonische oder konstruktive Einheit, wie zum Beispiel eine Mauer, die aus einem oder mehreren Befunden bestehen kann. Das kommt zum Beispiel vor, wenn sich eine Mauer durch mehrere Quadranten zieht, denn dann wird dieselbe Mauer nach Dokumentationslogik in jedem Quadranten ein eigener Befund mit eigener Nummer. Diese Gruppe bekommt eine eigene Bezeichnung, mit der sie angesprochen werden kann. Ein Befund selbst kann nur einer Gruppe zugehören.

Mehrere zusammengehörige Gruppen bilden zusammen eine Struktur. Zum Beispiel können mehrere Mauern zusammen mit einem Fußboden einen Raum bilden. Da zum Beispiel eine Mauer verschiedenen (benachbarten) Räumen zugeordnet bzw. auch in späterer Zeit als Teil eines ganz anderen Gebäudes wiederverwendet werden kann, können Gruppen mehreren Strukturen zugeordnet werden. Hierbei werden komplexe Vorgänge bei der Entstehung des archäologischen Ortes reflektiert.

Mehrere Strukturen bilden zusammen einen Komplex, z.B. können mehrere Räume zusammen ein Gebäude bilden. Dies ist die größte Einheit, die auf den Grabungen des BAI/DEI Verwendung findet.

Alle Stufen dieser Zusammenfassungen können einem bzw. mehreren Strata zugeordnet werden. Sind die Datierungen mit den zugeordneten Strata vollständig und widerspruchsfrei, ist die Stratifizierung der Grabung abgeschlossen.

Mit der Strukturierung in Gruppen, Strukturen und Komplexe als Sinneinheiten kann die Architektur des ausgegrabenen Ortes viel besser im Zusammenhang beschrieben werden als durch Befunde allein.

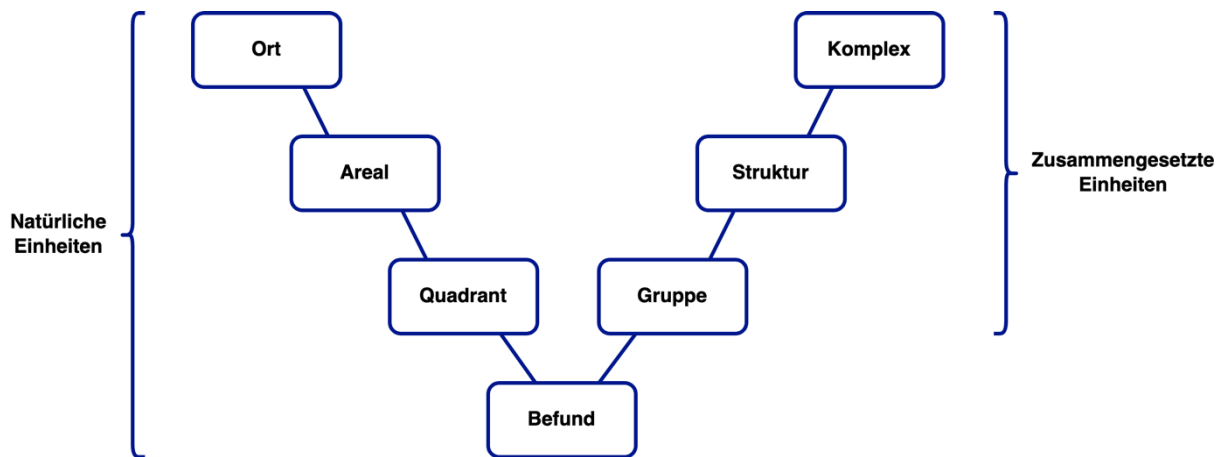


Abbildung 1.7: Hierarchie der Grabungseinheiten⁵³

⁵³ Copyright: Autor.

2 Archäologische Projekte – Vom ersten Spatenstich bis zur Publikation

2.1 Interpretieren – Strukturieren – Dokumentieren

Eine Ausgrabung ist ein einmaliges, nicht wiederholbares Experiment. Damit entzieht sich die archäologische Wissenschaft der Reproduzierbarkeit, wie sie in den Naturwissenschaften üblicherweise gefordert werden kann.⁵⁴ Übrig bleibt nach einer Grabung neben den aufgefundenen Artefakten im Wesentlichen nur die Dokumentation, insbesondere bei Ausgrabungen, die nach Projektende wieder verfüllt oder gar überbaut werden. Daher fällt der Grabungsdokumentation eine zentrale Rolle zu, muss sie doch die fehlende Reproduzierbarkeit durch Nachvollziehbarkeit und Plausibilität ersetzen.

Allerdings ist alle Dokumentation immer auch eine Interpretation. Das wird schon offensichtlich bei der Beschreibung eines Artefaktes: Welche Ansprache wird gewählt? Welche Eigenschaften werden gemessen oder beschrieben?⁵⁵

Diese Aussage gilt aber genauso für vermeintlich objektive Dokumentationsmethoden wie Fotografie oder Vermessung. Die Auswahl der zu fotografierenden Objekte als auch die Perspektive der Fotografien sind ebenfalls Teil einer Interpretation. Selbst die Auswahl der Punkte, deren Lage und Höhe vermessen werden, wird durch eine subjektive Priorisierung der Ausgrabenden bestimmt. Interpretation bedeutet hier zuvorderst Fokussierung auf die wesentlichen Charakteristika der beschriebenen oder vermessenen Befunde.⁵⁶

Neben der oben geforderten Nachvollziehbarkeit und Plausibilität muss eine Grabungsdokumentation auch der Forderung nach der Vollständigkeit der Beschreibung aller

⁵⁴ Vgl. Johnson 2020.

⁵⁵ Vgl. Carver 1990, Hummler 2015, Hodder 1999.

⁵⁶ Für eine ausführliche Diskussion siehe Buccellati 2017.

Befunde und Funde in einem vorgegebenen methodischen Konzept genügen. Das heißt, dass für den Auswertungsprozess, für die Bestimmung der Strata und mithin die Rekonstruktion des Ortes in den verschiedenen Zeitepochen, alle notwendigen Informationen vorhanden sein müssen.

Um die Bedingung der Vollständigkeit zu erfüllen, kann man zunächst fordern, möglichst Vieles und das so ausführlich wie möglich zu dokumentieren. Dies kann aber auch zu einer unfokussierten „Über-Dokumentation“ führen, da digitale Methoden die Aufnahme einer nahezu unbegrenzt großen Menge an Information erlauben. Ohne jegliche Auswahl, ohne bewusste methodisch geprüfte Fokussierung leidet die Nachvollziehbarkeit an hemmungslos und ziellos gesammelten Informationsmengen. Die Fülle und die Komplexität einer Grabung sind auf diese Weise nicht zu reproduzieren.

Selbst einer vollständigen filmischen Aufnahme der Grabungstätigkeit und angeschlossenen Einzel- sowie Gruppeninterviews mit allen Beteiligten nach dem Grabungstag (zu deren Intentionen und den vollzogenen Entscheidungen) wäre die Materialfülle erdrückend (und zu einem großen Teil irrelevant). Ein überaus eindrückliches Experiment dazu wurde von der Brown-University in Apollonia, Israel, durchgeführt.⁵⁷ Die Lehre daraus ist völlig überzeugend: Ohne Interpretation und Fokussierung macht eine Dokumentation keinen Sinn. Die Publikationsfähigkeit einer Grabung verlangt zwingend die Reduzierung der Fakten auf das Wesentliche. Dieser Vorgang wird in der Methodenlehre der Archäologie beschrieben und kritisch reflektiert.⁵⁸

Die finale Grabungspublikation – soll sie je mit Gewinn von Dritten zur Kenntnis genommen werden – muss auf einem überschaubaren Raum die wesentlichen Informationen enthalten. Dabei ist es unausweichlich, zwischen den vorliegenden Informationen zu gewichten und die vermeintlich maßgeblichen Daten herauszufiltern.

Die für ein archäologisches Projekt „richtige“ oder besser „korrekte“ Dokumentation ist daher auch immer Ergebnis von Erfahrung und der Abwägung im Hinblick auf die zu erfolgende Publikation einer Grabung und deren Nachprüfbarkeit durch Außenstehende. Dokumentationen ermöglichen spätere Korrekturen der vorgelegten Interpretationen. Es sollten daher also immer alle vorhandenen Daten gespeichert werden, auch wenn sie bei

⁵⁷ Galor et al. 2009.

⁵⁸ Siehe z.B. Hester et al. 1997 und Hodder 2004.

der Auswertung zunächst für weniger bedeutend angesehen werden. Im Blick zurück könnten sich stets auch neue Gesichtspunkte ergeben.

Prozessplan einer Grabung (Abbildung 2.1)

Der Prozessplan zeigt von links nach rechts die notwendigen Arbeitsschritte einer Grabung (insbesondere im BAI/DEI) von den Aufgaben im Feld auf der linken Seite (Kästen rot/lila) bis zur fertigen Grabungspublikation (rechts Bestandteile der Veröffentlichung in grün). Der linke Teil des Plans beschreibt die *Feldarbeit* (siehe Kapitel 2.2), während der rechte Teil die Auswertung (siehe Kapitel 2.3) in den Teil *Nachbearbeitung und Vorbericht* und *Analyse und Publikation* gliedert.⁵⁹

Der Teil *Nachbearbeitung und Vorbericht* enthält diejenigen Arbeitsschritte, welche im Allgemeinen direkt nach Grabungskampagnen begonnen werden. Ein Vorbericht zwingt zur Analyse des Jahresergebnisses und stellt die formale Voraussetzung für die Genehmigung einer weiteren Grabungskampagne dar. Während der Analyse und Publikation werden alle gewonnenen Daten und Erkenntnisse in der Grabungspublikation zusammengefasst. Auch die erhaltenen Funde werden restauriert und evtl. öffentlich zugänglich gemacht. Diese Aufgaben schließen den Prozess einer Grabung ab.

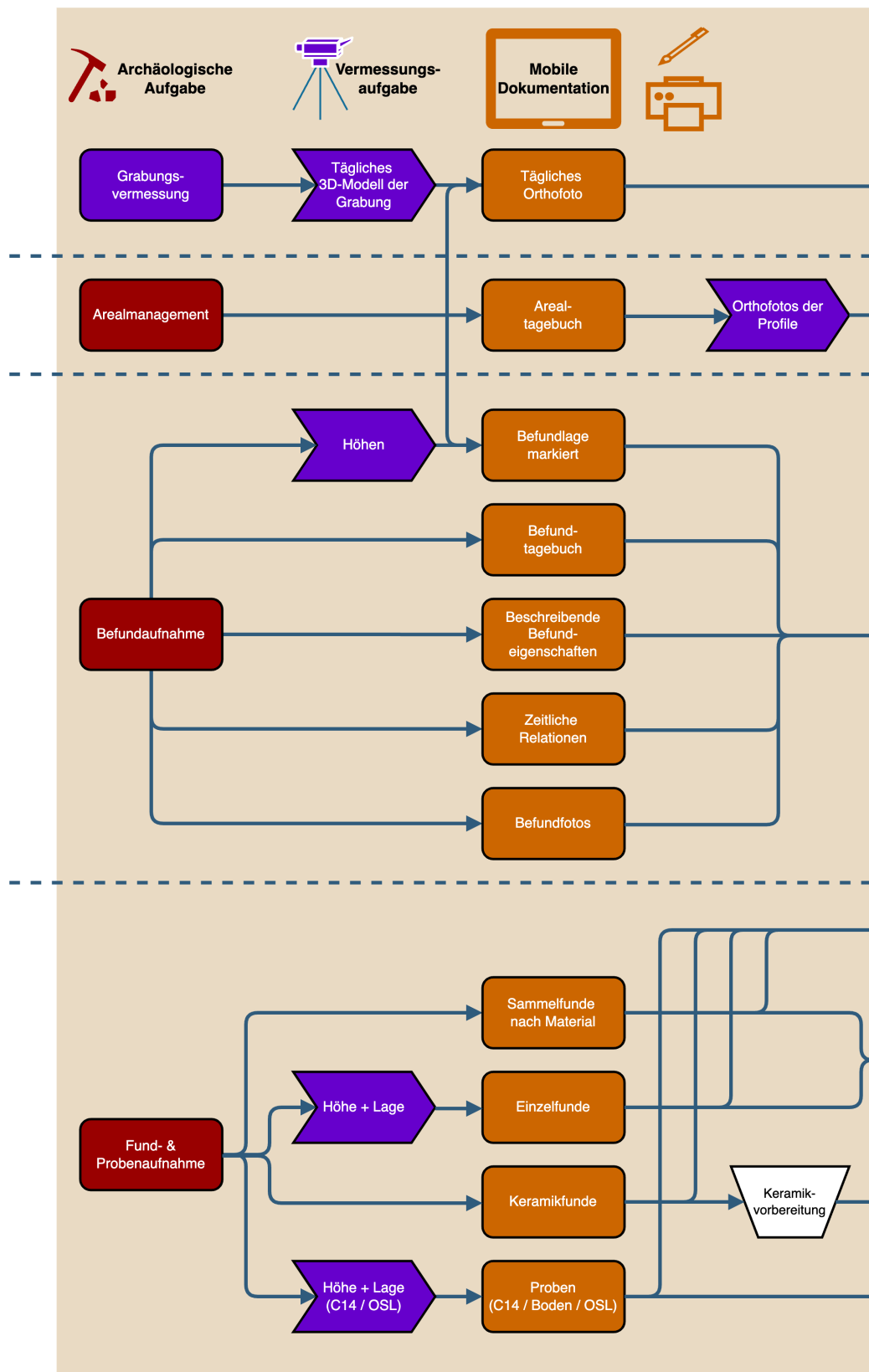
Die Grundaufgaben der Felddokumentation sind neben der Befundaufnahme, die Fund- und Probenaufnahme (Kapitel 2.2.2), das Arealmanagement und die Vermessung (rote und lila Kästchen) (Kapitel 2.2.3). Daraus ergeben sich Einzelaufgaben (orange Kästchen). Die Datenerfassung wurde hier vollständig mit mobilen Geräten (Tablets und Drucker) umgesetzt. Die Vermessung steuert dazu an entsprechender Stelle die entsprechenden Daten als Höhenpunkte bzw. Orthofotos hinzu (lila Pfeile). Keramik als häufigstes Fundmaterial wird schon während der Grabung vorbereitet (d.h. gewaschen und sortiert).

Zur Nachbearbeitung gehören vor allem die weitere Aufarbeitung der Funde und Proben (Kapitel 2.3.1 und 2.3.2). Insbesondere für die Fundbearbeitung und das Bestimmen der Keramik bietet sich die Nutzung von Tablets an (orange), da diese Arbeitsschritte häufig im Fundlager stattfinden. Auch Fotos lassen sich mit den Tablets machen und direkt in die Datenbank integrieren. Die Vermessung erstellt in dieser Phase den Grabungsplan. Wichtig ist auch die Bereitstellung aller Daten und Listen, die für den Vorbericht notwendig sind.

Während der *Analyse und Publikation* müssen alle Informationen und Erkenntnisse gebündelt werden. Über die Harris-Matrix erhalten wir die Stratigrafie mit der aus den Grabungsplänen Strata-Pläne (Kapitel 2.3.3) erstellt werden können. Befund- und Fundkatalog fließen mit den weiteren Erkenntnissen in die Grabungspublikation ein (Kapitel 2.3.4).

⁵⁹ Vgl. Carver 2009, S. 39ff.

Feldarbeit



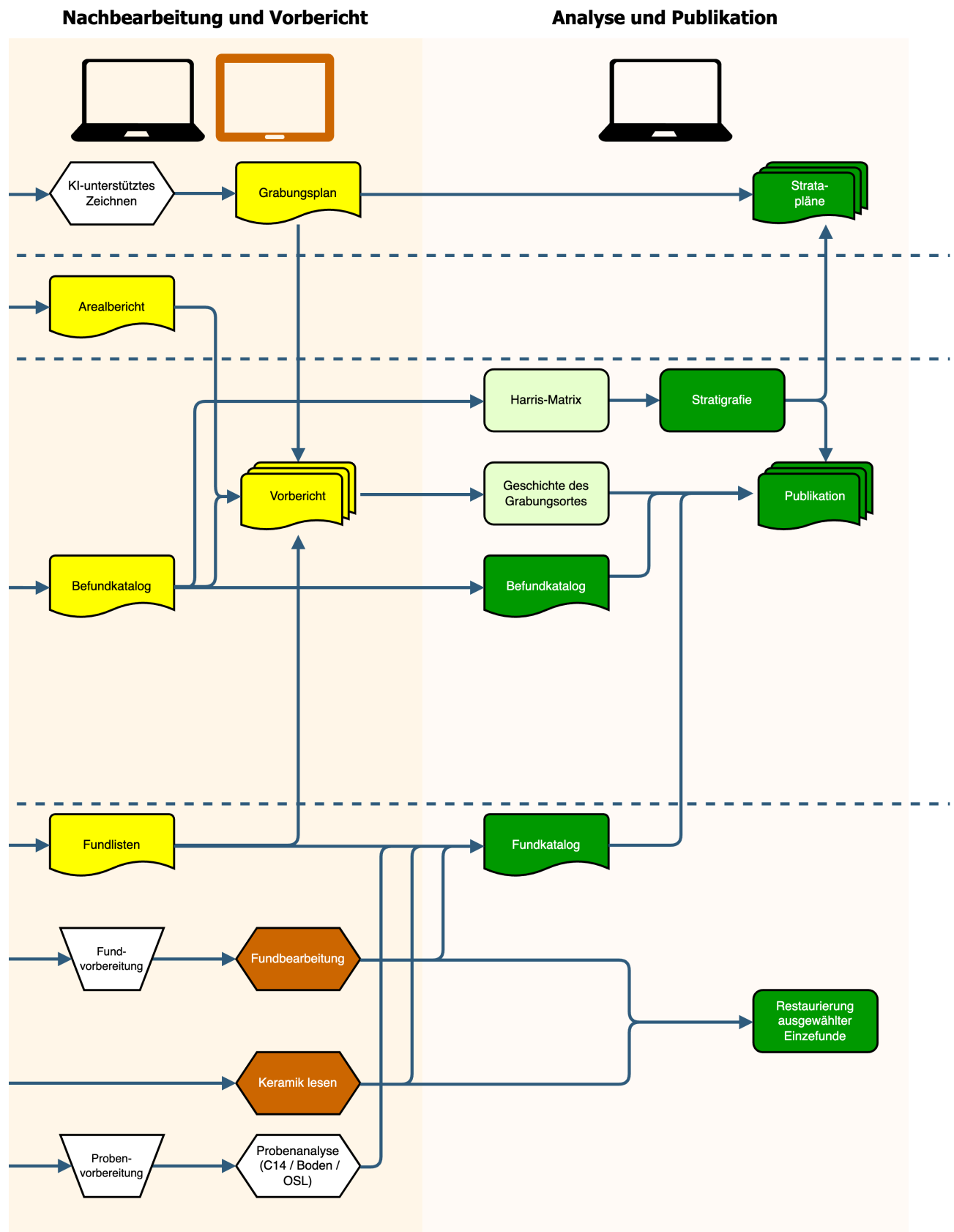


Abbildung 2.1: Prozessplan einer Grabung⁶⁰

⁶⁰ Copyright: Autor.

2.2 Workflow während der Kampagne

2.2.1 Aufgaben⁶¹

Auf einer Grabung werden verschiedene Aufgaben von unterschiedlichen Spezialisten erledigt. Bei einem kleinen Team kann eine Person allerdings auch mehrere Aufgaben übernehmen. Die hier vorgestellte Aufgabenverteilung entspricht der auf den Grabungen des BAI/DEI.

Leitung, Schnittleitung und Fundbearbeitung

Die Grabungsleitung ist für Planung und Organisation sowie für die Teamleitung verantwortlich. Dazu gehören zuerst auch die zeitliche Planung sowie die Finanzierung und das Einholen der notwendigen Genehmigungen. Da Grabungsteams vielfach aus oft wechselnden Mitgliedern bestehen, kommt der Leitung als Konstante eine besondere Bedeutung zu, besonders bei der Sicherung der Qualität der Dokumentation. Denn auf den Funden und der Dokumentation beruhen alle weiteren Arbeiten vom Vorbericht über Analyse und Interpretation, die in der Publikation münden, welche von der Grabungsleitung verantwortet wird.

Während der Grabung wird von Schnittleitern oder Arealleitern dokumentiert. Diese sind für die Durchführung der Grabung in ihrem Bereich verantwortlich. Dazu leiten sie Grabungsteilnehmer (meistens Volontäre) an. Damit die Qualität und Einheitlichkeit der Dokumentation gewahrt bleibt, wird diese in einer Grabungsdatenbank formalisiert. Dazu gehören neben der Aufnahme der stratigrafischen Befunde und der Funde auch das Führen von Tagebüchern für die aktiv bearbeiteten Areale und Befunde.

Die Fundbearbeitung ist ein umfangreicher Bereich der nicht nur während der Grabung stattfindet, sondern auch Teil der Aufarbeitungsphase ist. Weiterhin unterscheidet sich der Workflow je nach Material des Fundes. Darauf wird im nachfolgenden Unterkapitel eingegangen.

⁶¹ Vgl. Matsekvich 2015, S. 29.

2.2.2 Fundbearbeitung

Die Arbeitsabläufe in diesem Unterkapitel geben die in den Projekten des BAI/DEI üblichen Prozesse wieder.

Keramik-Workflow

Das bei weitem häufigste Fundmaterial ist Keramik in Form von Scherben. Die Auswertung der Keramik hat eine zentrale Bedeutung für die Ausgrabung. Charakteristische Formen und Dekorationen lassen den Herstellungszeitpunkt von Keramik datieren. Die Provenienz-Analyse kann Aufschluss über Handelsbeziehungen geben. Keramikgegenstände von Töpfen bis hin zu Kultgegenständen können Einblick in den historischen Alltag geben.

Die Keramik eines Befundes wird separat gesammelt und schon während der Grabung gereinigt. Bei einer großen Zahl an Keramikscherben, zum Beispiel in einem Erdbefund, werden auch mehrere Fundzettel angelegt. Rekonstruierbare oder fast vollständige Objekte erhalten eine eigene Fundnummer. Nach der Reinigung werden die Diagnostika, also die identifizierbaren und datierbaren Keramikscherben, von den anderen Scherben getrennt. Die nicht identifizierbaren Scherben (Bauchscherben) werden gezählt und in der Nähe der Grabung deponiert. Diagnostische Scherben werden mit einer jeweils eigenen Fundnummer⁶² beschriftet.

Weitere Fundgattungen

Funde werden mit Fundzettelnummern nach Material versehen. Für alle anderen Materialien jenseits von Keramik erfolgt die Bearbeitung durch Spezialisten/innen außerhalb einer Kampagne. Dabei kann auch für die Reinigung, wie zum Beispiel von Münzen oder anderen Metallobjekten, ein Spezialist notwendig sein.

2.2.3 Vermessung⁶³

Keine Grabung kommt ohne präzise Vermessung aus. Sie ist Grundlage für alle Grabungspläne. Die Lokalisierung in Lage und Höhe aller Befunde und Funde ist unverzichtbar für

⁶² Eine Fundnummer (z.B. 172346-002) besteht aus der Fundzettelnummer (im Beispiel 172346) erweitert um eine laufende Zahl (im Beispiel 2).

⁶³ Siehe auch Hester et al. 1997, S. 177ff.

die Dokumentation des Ortes. Dabei ist das Ziel für jedes ergrabene Stratum einen Plan zu erstellen. Während für die Aufnahme der Ober- und Unterkanten von Befunden sowie der Lagedaten von Funden ein RTK-GNSS⁶⁴ eingesetzt wird, stützen sich die Grabungen des BAI/DEI für die Planerstellung auf 3D-Modelle und den daraus gewonnenen Orthofotos, die mit der *Structure-from-Motion*-Technik aufgenommen werden.

3D-Modell, Orthofoto, Höhenmodell⁶⁵

Täglich nach Beendigung der Grabung werden Aufnahmen zur Erstellung eines 3D-Modells mit der *Structure-from-Motion*-Technik erstellt. Das Modell wird mit Passpunkten, die mit einem RTK-GNSS aufgenommen werden, georeferenziert. Aus dem georeferenzierten 3D-Modell wird ein Orthofoto und eine Höhenmodell generiert. Diese werden in das Grabungsinformationssystem in der Weise eingepflegt, dass die Schnittleiter im Feld die Ausdehnung der Befunde einzeichnen können. Auch Höhen können direkt ausgelesen werden.

Befundhöhe, Befundlage

Die Lage eines Befundes, also die räumliche Ausdehnung, wird in den Grabungen des DEI den georeferenzierten Orthofotos entnommen. Im Feld wird die Ausdehnung durch die Schnittleiter als Polygonumriss markiert. Die Umzeichnung der Architektur in eine Vektorgrafik erfolgt in einem GIS⁶⁶ entweder manuell oder auch mit Unterstützung⁶⁷.

Zu jedem Befund wird die maximale Höhenausdehnung bestimmt. Dazu misst man die Ober- sowie Unterkante des Befundes. Die gemessenen Punkte werden auf den Grabungsplänen vermerkt. Wie oben gesehen liefert das täglich aufgenommene 3D-Modell auch ein Höhenmodell, dem man Höhenpunkte entnehmen kann. Diese eignen sich aber nicht zur Bestimmung der Ober- bzw. Unterkanten der Befunde, da die Aufnahmen im Allgemeinen nicht zum Zeitpunkt der Öffnung bzw. Beendigung eines Befundes gemacht wurden. Daher werden diese Höhenpunkte während der Grabungstätigkeit mit Totalstation oder RTK-GNSS aufgenommen (siehe Abbildung 8.17).

⁶⁴ Siehe Kapitel 4.3.

⁶⁵ Siehe Kapitel 5.4.

⁶⁶ Im DEI wird die frei verfügbare GIS-Desktop-Software QGIS eingesetzt. Siehe Kapitel 6.4.

⁶⁷ Siehe auch Kapitel 9.2.

2.2 Workflow während der Kampagne

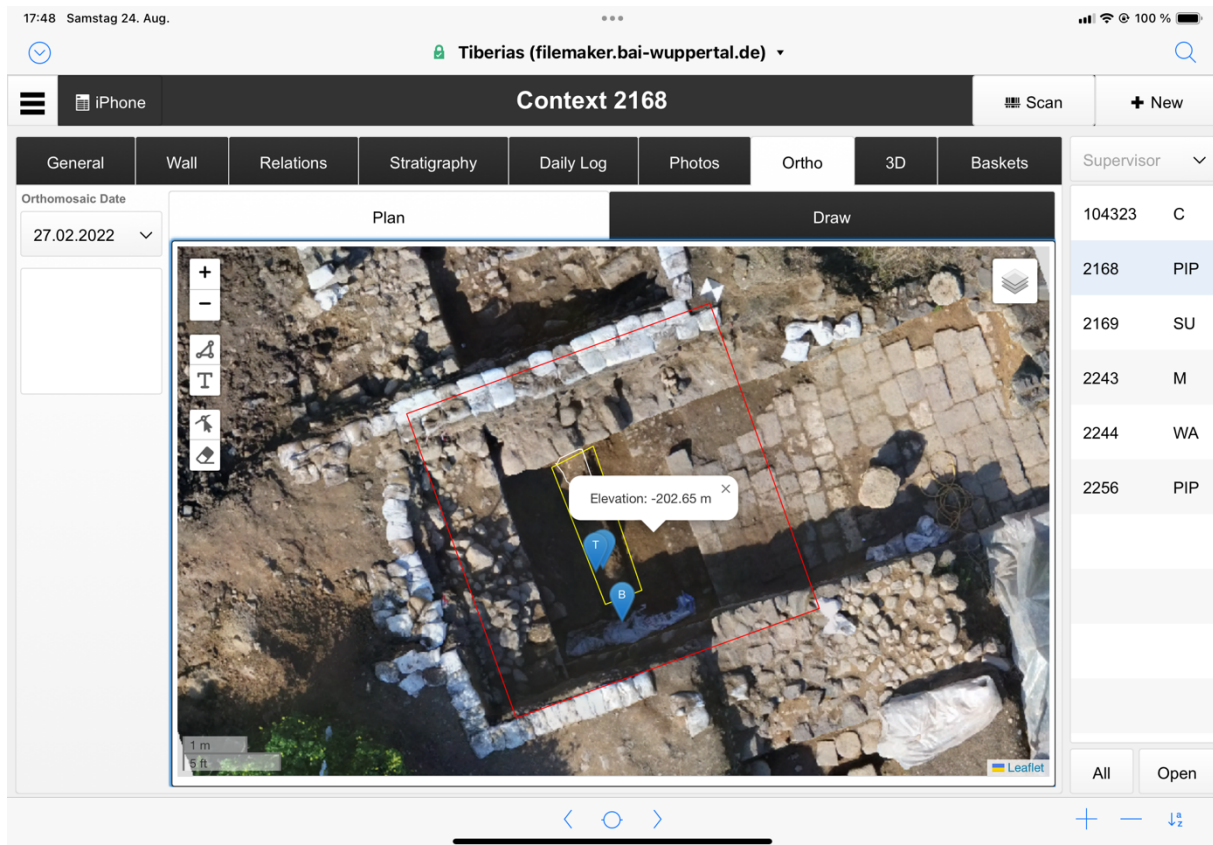


Abbildung 2.2: Nachträgliche Höhenmessung im Orthofoto eines Befundes

Fundlage

Im Allgemeinen werden Kleinfunde, wie Keramik- oder Glasscherben, nicht eingemessen. Eine Vermessung erfolgt allerdings für Metallfunde, Holzkohle (zur C14-Datierung) und besonderen Einzelfunden wie vollständigen oder rekonstruierbaren Objekten.

Grabungsplan für den Vorbericht

Aus der Umzeichnung der Orthofotos in einem GIS in eine Vektorzeichnung wird ein maßstabsgerechter Plan der ausgegrabenen Architektur am Ende der Kampagne erstellt. Da die Befunde noch nicht stratifiziert wurden, entsteht ein einzelner Plan, der alle ergrabene Architektur unabhängig der Datierung enthält.

Profilaufnahmen

Am Ende der Grabungskampagne werden die Profile der Grabungsschnitte mit der *Structure-from-Motion*-Technik aufgenommen. Diese werden aber nicht aus dem allgemeinen 3D-Modell entnommen, da die Profile für die Aufnahmen besonders gereinigt werden müssen.

Vorbericht

Am Ende jeder Kampagne wird ein Vorbericht erstellt. Dieser enthält eine Beschreibung der unternommenen Grabungsarbeiten durch die verantwortlichen Ausgräber. Ergänzt wird der Bericht durch den Grabungsplan, einen Katalog der Befunde und Fundlisten. Der Befundkatalog und die Fundlisten werden direkt aus der Datenbank als PDF-Datei erzeugt.

2.3 Workflow während der Auswertung

2.3.1 Archäometrische Datierungsmethoden

C14-Datierung⁶⁸

Die C14-Datierung, auch 14C-Datierung oder Radiokohlenstoffdatierung genannt, beruht auf dem Zerfallsprozess der in Organismen vorhandenen radioaktiven 14C-Atome. In lebenden Organismen ist das Verhältnis von 14C- zu den stabilen 12C- und 13C-Atomen konstant. Stirbt der Organismus, verändert sich das Verhältnis durch den Zerfall der 14C-Atome. Aus dem Verhältnis der Kohlenstoffisotope in einer Probe wird daher auf das Sterbealter des Organismus zurückgeschlossen. Die C14-Datierung erfolgt in speziellen Laboren. Wegen des finanziellen Aufwandes wird nur ein Teil der gefundenen organischen Überreste (meistens Holzkohle) analysiert. Die Auswahl der Funde erfolgt aufgrund einer Relevanzbewertung des jeweiligen Befundes für die zu erstellende Stratigrafie.

OSL-Datierung⁶⁹

Die Optisch-stimulierte-Lumineszenz ist eine weitere Datierungsmethode. Während die Radiocarbonmethode eine Datierung organischer Materialien erlaubt, wird die OSL-Methode auf anorganische Materialien angewendet. Das Prinzip beruht darauf, dass in Quarz- und Feldspatkörnern natürliche Radioaktivität gespeichert wird. In Dunkelheit akkumuliert sich diese im Laufe der Zeit und kann gemessen werden.⁷⁰ Wird ein Korn allerdings dem Sonnenlicht ausgesetzt, so geht diese Energie verloren. Daher geschieht eine Probenentnahme für eine OSL-Laboruntersuchung unter Lichtabschluss. Erdproben für

⁶⁸ Renfrew/Bahn 2016, S. 146ff.

⁶⁹ Renfrew/Bahn 2016, S. 161.

⁷⁰ Siehe auch <https://www.uibk.ac.at/de/newsroom/2018/phvon-photonen-und-aeonen/> (abgerufen am 01.06.2024).

die OSL-Datierung bekommen eine eigene Fundnummer in der Grabungsdatenbank und werden in Lage und Höhe eingemessen.

Allerdings sind OSL-Datierungen recht ungenau und in ihrer unkalibrierten Art derzeit noch umstritten. OSL-Datierungen werden daher nur benutzt, wenn andere Datierungsmöglichkeiten entfallen (z.B. Verschüttung einer Zisterne; Bau von Terrassenmauern).

2.3.2 Fundauswertung

Keramik

Die Keramik bzw. der diagnostische Teil der gefundenen Keramik wird anhand der Form, des Dekors und der Keramikware typologisiert, das heißt das ursprüngliche Objekt wird in seiner Gestalt und Funktion durch den Vergleich mit katalogisierten Vergleichsstücken bestimmt. Die zugrundeliegenden Keramiktypologien lassen auch eine relativchronologische Datierung zu, da Formen und Techniken einem ständigen Wandel unterliegen. Die Keramikbestimmung wird durch Spezialisten durchgeführt. Alle gewonnenen Informationen werden in der Datenbank abgebildet. Ausgewählte Funde werden im BAI/DEI in Kooperation mit der Hebräischen Universität Jerusalem dreidimensional eingescannt. Aus den Scans werden Zeichnungen generiert.⁷¹

Metalle

Metallfunde lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen, in Münzen und sonstige Metallkleinfunde. Münzen werden durch Numismatiker bestimmt. Auch schon die Reinigung und Konservierung erfordert spezielle Restauratoren. Der Aufwand wird dann belohnt, wenn in günstigen Fällen die Herstellung einer Münze auf das Jahr genau bestimmt werden kann. Metallene Kleinfunde können von einfachen Nadeln und Nägeln bis hin zu Türschlössern oder auch Kultgegenständen, wie zum Beispiel Kruzifixe, reichen. Auch diese werden von Experten bestimmt. Die Restaurierung erfolgt hier aber nur in besonderen Fällen. Die Konservierung für die Archivierung der Fundobjekte steht im Vordergrund.

Knochen

Bei denen auf den Grabungen des BAI/DEI gefundenen Knochen handelt es sich weitestgehend um Tierknochen. Diese werden von Archäozoologen nach Tierart und Alter

⁷¹ Vgl. Karasik et al. 2014.

bestimmt. Dies ergibt insbesondere Einblicke in die Nutztierhaltung und den Speiseplan in verschiedenen Besiedlungszeiten. Isotopen-Analysen lassen auch Rückschlüsse auf die Ernährung sowie Wanderbewegungen bzw. Herkunftsorte von Tieren zu.

Erdproben

Aus ausgesuchten Erdbefunden (Ascheschichten, Fußböden etc.) werden Proben entnommen. Die Erde wird geschlämmt um die enthaltenen Samen, Kerne und andere organische Überreste zu separieren. Dies gibt Hinweise auf die lokal in einer Zeit vorhandene Flora. Insbesondere gibt dies Aufschluss über die angebauten und verarbeiteten Nutzpflanzen.

2.3.3 Stratifizierung und Strata-Pläne⁷²

Die Harris-Matrix der Grabung ergibt eine relative Chronologie der Befunde zueinander. Aus der Architekturdatering und der Datierung der Keramik oder anderer Funde und Proben werden Strata, also Kulturschichten einer bestimmten Zeit, definiert. Damit wird jeder Befund einem Stratum zugeordnet.

Im Grabungsinformationssystem ist sowohl die Umzeichnung eines jeden Befundes als auch das Stratum desselben vermerkt. Damit kann die Erstellung Strata-Pläne durch Abfrage in einem GIS-System erfolgen. Fehler in der Zuordnung eines Befundes, die in einem Plan sichtbar sind, werden durch Änderung in der Datenbank nicht durch zeichnerische Tätigkeit korrigiert.

2.3.4 Grabungspublikation⁷³

Grabungen werden nach Abschluss aller Kampagnen und Nacharbeiten in einer Grabungspublikation veröffentlicht, die unter Umständen auch mehrere Bände umfassen kann. Die Grabungspublikation enthält die Dokumentation aller archäologischen Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Grabung als auch die Interpretation der Forschungsergebnisse. Da sich in ihr die gesamte Forschung an einem archäologischen Ort akkumuliert, ist sie die wichtigste Form der wissenschaftlichen Kommunikation zu einem Grabungsplatz.

⁷² Harris 1989; Harris et al. 1993.

⁷³ Vgl. Carver 2015.

Sind alle Forschungen und Auswertungen in der Grabungsdatenbank, wie in den vorangehenden Abschnitten beschrieben, enthalten, so können die erforderlichen Informationen für die Befund und Fundkataloge aus der Datenbank systematisch exportiert werden, so dass der Aufwand für den umfangreichen Katalogteil minimiert werden kann.

2.4 Langzeitarchivierung

Die Funde und Proben, die während der Grabung gesammelt wurden, müssen langfristig aufbewahrt werden. Dabei soll neben den praktischen Fragen des Raumbedarfs oder der restauratorischen Sicherung empfindlicher Fundmaterialien vor allem die Auffindbarkeit der Objekte gewährleistet sein. Daher werden auch der Aufenthaltsort eines jeden Objektes bis hin zur entsprechenden Box in das Grabungsinformationssystem eingepflegt.

Es gibt gute Gründe, auch die digitale Dokumentation – die während der Laufzeit eines Projektes im Grabungsinformationssystem gesammelt und verarbeitet wurde – nach Veröffentlichung der Grabungspublikation digital verfügbar zu machen. Die Information steht damit Wissenschaftlern für weitere Forschungen zur Verfügung. Auch in Wissensmanagementsystemen, wie in Kapitel 9.3 angedeutet, können digitale Daten viel einfacher importiert werden als analoge Informationen aus klassischen Grabungspublikationen. Die Strategie des BAI/DEI für die langfristige Verfügbarkeit der digitalen Grabungsdokumentation wird in Kapitel 10 diskutiert.

3 Herausforderungen für die archäologische Arbeit – Vom Zettelkasten bis hin zur KI-gestützten Dokumentation

Die rasante technische Entwicklung seit den 1990er Jahren hat auch die archäologische Arbeit wesentlich verändert. Zunächst waren die Vermessungsarbeiten aufgrund der neu entwickelten Messgeräte deutlich schneller und exakter zu erledigen; zumal die notwendigen Geräte durch die Jahre auch für alle Grabungen erschwinglich wurden (siehe Kapitel 3.1). Arbeitete man bis in die 1990ern noch mit mechanischen Nivellieren, so wurde bald das Tachymeter, auch als Totalstation bezeichnet, zum Standard, um schließlich zumeist vom RTK-GPS abgelöst zu werden. Heute wird angesichts der Vielzahl weiterer Satelliten-navigationssysteme von RTK-GNSS⁷⁴ gesprochen. Der Preisverfall bei diesen Geräten, die ja keine Optik und Mechanik mehr benötigen, ist enorm. Die terrestrische oder drohnen-gestützte Fotogrammetrie ergänzt seit 2004 als Einbild-Fotogrammetrie und seit 2015 in der *Structure-from-Motion*-Technik die Vermessung des BAI/DEI und macht viele zeitaufwändige Einzelmessungen ohnehin überflüssig.

Wurden in den 1990er Jahren noch die meisten Funde und Befunde mit der Hand gezeichnet, was niemals ohne subjektive Interpretation möglich⁷⁵ und wesentlich von den künstlerischen Fähigkeiten des Dokumentierenden abhängig ist,⁷⁶ kamen bald Fund- und Befundfotografie in 2D und 3D hinzu (siehe Kapitel 3.4).

Dies alles erforderte eine stringente, nachvollziehbare und sichere Speicherung von Daten. In Datenbanken mussten große Datenmengen – nun eben elektronischer statt

⁷⁴ *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

⁷⁵ Was zeichnet man in den Plan ein? Was betont man? Was ignoriert/vergisst man?

⁷⁶ Kann der Leser die Darstellung verstehen und unabhängig hinterfragen?

papierner Art – korrekt und gut geordnet relational darzustellen sein, sodass die Dokumentation den Erkenntnissen des Fund- und Befundzusammenhanges auf Grabungen möglichst originalgetreu widerspiegeln konnte. Schließlich sollte die Bearbeitung der Funde durch die Experten für die einzelnen Fundgattungen im Nachhinein den Befunden eindeutig zuzuordnen sein. Letztlich waren deshalb neue Strukturen von archäologischen Datenbanken zu erstellen, die vom Autor zumeist mit dem Datenbankmanagementsystem *Claris FileMaker* sowie *PostgreSQL/PostGIS* geschaffen und im Vollzug verwaltet wurden (siehe Kapitel 8.2).

Die Integration immer weiterer Arbeitsabläufe in ein gesamtes digitales System ist seither so weit gediehen, dass die gesamte Grabungsdokumentation in *einem* System abgebildet wird. Daher muss man bei dem Stand der digitalisierten Dokumentation auf dem Zionsberg und in Tiberias von *Grabungsinformationssystemen* anstelle von herkömmlichen Datenbanken sprechen (siehe Kapitel 1.1).

All diese grundsätzlichen Veränderungen wurden in ca. zwei Jahrzehnten vollzogen, wie die chronologische Dokumentation in den nachfolgenden Kapiteln 3.1 bis 3.5 zeigt.

3.1 Die Herausforderungen während der Grabungen auf dem *Tall Zirā‘a* (2003–2011)

Zunächst waren dem Autor bei den bereits 2001 begonnenen Arbeiten auf dem *Tall Zirā‘a* – ein Survey des gesamten Talls und seiner unmittelbaren Umgebung – die Vermessungsarbeiten, die digitale Befundfotografie und die Organisation der Ausgrabungsergebnisse auf Papier übertragen worden. Sehr bald kam auch die Betreuung der elektronischen Medien hinzu. Dabei entstand schon 2003 eine erste Datenbank, die kontinuierlich in ihrem Bestand mit den wachsenden Anforderungen einer großen Grabung ergänzt und erweitert werden musste. Zusammen mit der Grabungsleitung (Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Dieter Vieweger und Dr. Jutta Häser⁷⁷) bestand in den nächsten Jahren eine wichtige Aufgabe darin, Optimierungsmöglichkeiten bei der Dokumentation der Grabungen wahrzunehmen und Möglichkeiten für deren Umsetzung auszutesten und zu implementieren. Hauptziel war es, eine Datengrundlage für eine umfassende Dokumentation der Grabungen zu schaffen

⁷⁷ Damals DEI Amman, heute Bethlehem University, Bethlehem.

und künftigen Forschern die Möglichkeit zu geben, die vorliegenden Interpretationen unabhängig zu überprüfen.



Abbildung 3.1: Der *Tall Zirā'a* von Norden aus gesehen⁷⁸

Die Integration von Befund- und Fundfotos sowie die der digitalen Messergebnisse stellen unter den damaligen Bedingungen die ersten großen Schritte der Befunddokumentation dar. Schon im Jahr 2004 nutzten das BAI und das DEI die digitale Fotografie, um alle Fund- und Befundfotos direkt im Datenpool zu integrieren. Seit 2007 erfolgten auch die Messungen im täglichen Grabungsgeschehen und später beim Survey in den Jahren 2009–2012 mit RTK-GPS⁷⁹, statt mit einem Tachymeter⁸⁰. Diese wurden fortan direkt – zunächst per Datenkabel, bald auch per Speicherkarte und schließlich via Internet-Verbindung – in die Datenbank übertragen (siehe Kapitel 6.5).

⁷⁸ Copyright: BAI/DEI.

⁷⁹ Bei dem RTK-GPS handelte sich um ein *Leica GPS 900*-System.

⁸⁰ Bei dem Tachymeter handelte sich um ein *Sokkia Set 5e*.



Abbildung 3.2: *Helikite*-Ballon mit Kamera⁸¹

Von besonderer Bedeutung für die Dokumentation und die nachfolgende Publikation von großen Grabungsflächen war die Luftbildfotografie. Wenn auch Senkrechtfotos von einer Kamera an einer 5 m langen Messtange einen 5 x 5 m großen Grabungsquadranten recht sinnvoll dokumentieren können – zumal man das Foto noch entzerren kann –, so sind doch große Grabungsflächen nur mit einem höher fliegenden Objekt zu sichern. Dazu wurde zunächst einen Heliumballon benutzt⁸², der eine maximale Flughöhe von etwa 100 m erreichte und mit Seilen in die richtige Stellung gezogen werden konnte. Ab 2011 wurde der Ballon durch einen Oktokopter⁸³ mit einem Durchmesser von etwa einem Meter ersetzt. Seit 2018 sind die weiterentwickelten, mit einer fest eingebauten Kamera ausgestatteten und damit viel kleineren Drohnen⁸⁴ die steten Grabungsbegleiter, welche

⁸¹ Copyright: BAI/DEI.

⁸² Es wurde ein *Skyhook Helikite* der Firma *Allsop Helikites Ltd.* (UK) eingesetzt. Der Ballon besitzt ein Leitwerk ähnlich einem Flugdrachen, der für eine größere Flugstabilität sorgt.

⁸³ Modell der Firma *Mikrokopter*, die seit 2007 die ersten in Deutschland verfügbaren *Consumer*-Drohnen als Bausatz vertrieb. Gebaut wurde die Drohne von Götz M. Bongartz im Rahmen seiner Masterarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal.

⁸⁴ Das BAI/DEI verwendet die Quadrokopter-Drohne *Parrot Anafi*. Mit einem Startgewicht von 320 g ist der Einsatz der Drohne heute viel weniger aufwendig als mit dem viel größeren Oktokopter, der ein Startgewicht von über 2 kg besaß und eine Spiegelreflexkamera tragen musste, die per Fernbedienung (Ausrichtung der Linse und Auslösen) gesteuert werden konnte.

zielgerichtet Flächen in der gewünschten Höhe abfliegen und aus deren Daten schließlich dreidimensionale Modelle erstellt werden können (siehe Kapitel 5.4.2).



Abbildung 3.3: Der Autor mit der „Giraffe“, inkl. Videobrille⁸⁵

Erste Erfahrungen mit 3D-Aufnahmen wurden auf dem *Tall Zirāʿa* bereits 2010 gemacht. Es standen aber noch keine integrierten Programme für die Anwendung der *Structure-from-Motion*-Technik zur Verfügung.⁸⁶ Mit mehreren Kommandozeilenprogrammen für die

⁸⁵ Copyright: BAI/DEI.

⁸⁶ *Agisoft Metashape* (damals *Agisoft Photoscan*) kam als eines der ersten integrierten Fotogrammetrie-Anwendungen im Laufe des Jahres 2010 auf den Markt. 2011 wurde durch das BAI eine Lizenz angeschafft.

verschiedenen Teilschritte konnten 3D-Modelle erstellt werden. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit war wegen der fehlenden Optimierung der Programme, aber vor allem auch wegen der fehlenden Leistungsfähigkeit der damaligen Computer, sehr gering. Daher sicherte das Grabungsteam aufgrund des großen Aufwandes, der betrieben werden musste, nur besondere Grabungsbefunde, aber auch herausragende Funde im Grabungsbereich mit Hilfe der sogenannten „Giraffenfotografie“⁸⁷ dreidimensional.

3.2 Die Herausforderungen durch die Publikation der Grabung auf dem *Tall Zirāʿa* (2011–2024)

Eine grundlegende Revision erfuhren diese Grabungs-Dokumentationstechniken, als nach der 18. Grabungskampagne im Herbst 2011 die damals bestehende Datenbank zur Grundlage der im Jahr 2024 mit 10 Grabungsbänden abgeschlossenen Publikation zum *Tall Zirāʿa*⁸⁸ genutzt wurde. Dabei wurden die großen Stärken dieser Grabungsdokumentation, aber auch bestehende Schwachstellen analysiert und verbesserte Dokumentationstechniken eingeführt.

Die Datenbank, die Fotos und die Pläne zur Grabung *Tall Zirāʿa* lagen zwar digital vor und ihre Information waren durch die jeweilige Benennung für die Auswertenden mit Befund und Fundnummern verbunden. Aber die simultane Anzeige erforderte mehrere Arbeitsschritte, da Fotos, Zeichnungen und Pläne in einem je eigenen Verzeichnissystem gespeichert waren. Im BAI/DEI wurde zu diesem Zweck ein Cloudspeichersystem, bei dem die Dateien der Projekte zwischen den Standorten in Wuppertal, Jerusalem und Amman synchronisiert wurden, eingerichtet.⁸⁹ Daher waren die Dokumente an allen Orten, an denen die Auswertung der Grabung durch die verschiedenen Spezialisten erfolgte, lokal verfügbar. Dies war ein wesentlicher Fortschritt. Allerdings konnte man sich noch wesentliche Weiterentwicklungen vorstellen, die in den folgenden Jahren in Angriff genommen wurden. Eine Integration aller erhobenen Daten in *ein* System erschien als das anzustrebende Ziel. Doch bis zu dessen Erreichung waren viele weitere Probleme zu klären, die insbesondere mit der Art der Datenspeicherung im Zusammenhang standen:

⁸⁷ Siehe zu diesem eigengeprägten Ausdruck die Ausführungen in Kapitel 5.3.

⁸⁸ Vieweger/Häser 2017–2025, Kenkel 2020, Schmidt 2019.

⁸⁹ Es werden *Synology* NAS-Systeme mit der systemeigenen Synchronisation eingesetzt. Auch für den Backup stehen diese Systeme an den Standorten des BAI/DEI zur Verfügung.

- Die täglichen Grabungspläne lagen nur als PDF-Dokument vor. Die offenen Quelldateien der Pläne waren in einem proprietären CAD-Format gespeichert, welches nur den externen beauftragten Architekten, aber nicht den Mitarbeitenden im Institut zugänglich war. Deren Integration in einen digitalen Workflow erschien unter den damals gegebenen Software-Voraussetzungen nicht trivial. Der beschrittene Weg von proprietären CAD-Systemen hin zum GIS-Paradigma, welches erst die Verknüpfung zu Datenbanken ermöglicht, wird ausführlich in Kapitel 6 beschrieben.
- Die verwendeten Papierformulare für die Befunddokumentation (siehe Abbildung 3.4) enthielten auch einen Skizzenbereich. Dieser lag anfangs als Papierendokument vor. Erst spät im Vorfeld der Auswertungsphase konnten diese Befundblätter eingescannt und tatsächlich komplett in die Datenbank integriert werden. Teilweise musste man hier auch Differenzen zwischen den Feldformularen und den Einträgen in der Datenbank nachgehen.
- Während der Grabungskampagnen wurden täglich „Senkrechtfotos“ mit der schon erwähnten „Giraffe“, einer fünf Meter langen Latte, von den Grabungsquadranten gemacht (siehe dazu Kapitel 5.3). Diese wurden entzerrt und ausgedruckt. Die Ausgräber konnten in den ausgedruckten Ergebnissen am Folgetag im Feld die Befunde auf diesen Fotos leicht und präzise einzeichnen, was herkömmliche Arbeitsschritte an Präzision und Übersicht weitaus übertraf. Diese handschriftlich ergänzten PDF-Dokumente wurden nunmehr Teil der umfangreichen Papierendokumentation. Bald wurden auch diese bearbeiteten Fotoskizzen eingescannt und lagen dann zumindest als PDF-Dokument digital vor.

Dieser Vorgang, der zwischen analogem und digitalem Arbeiten hin- und herwechselte, erzeugte neue Daten(blätter), die separat in der Datenbank zu suchen und auszuwerten waren. Außerdem doppelte sich eine große Menge der Informationen mit Skizzen der Befundformulare.

Während der Auswertungsphase fiel insbesondere auf, dass die Einträge in die Befundformulare stets nur einen – und zwar den letztgeäußerten Stand der Erkenntnis zu einem Befund widerspiegeln. Im Gegensatz dazu wird aber an einem Befund – vor allem an den wichtigen erkenntnisreichen Tagen über lange Zeit gearbeitet. Die archäologische

Erkenntnis wächst im Laufe des Ausgrabens deutlich an. Dieser Erkenntnisfortschritt ist selbst eine wichtige Information für das Verständnis (und die Evaluation) der Grabung. Natürlich konnte dieser Fortschritt aus den für jeden Tag vorhandenen Senkrechtfotos rekonstruiert werden. Doch wurde deutlich, dass es einer Erweiterung des Dokumentationsprozesses und einer grundlegenden Neuorganisation der Grabungsdaten-Organisation bedurfte, um ausreichend relevante Dokumentationen zu den Interpretationen der Arealleiter zu erhalten. Als Ergebnis aus all diesen Problemen entstanden die Tagebuchfunktionalitäten für Areale und Befunde. Auch diese mussten in die Datenbank integriert werden (siehe Kapitel 8.5.2).

Fundplatz Tall Zira'a	Areal II	Quadrant AW 132	Befund 111 23												
Blatt 1 von 1	Bearbeiter/in KL	Geöffnet 14.08.2011	Geschlossen 15.13.2012												
Sediment <input checked="" type="checkbox"/> sandig <input checked="" type="checkbox"/> lehmig <input checked="" type="checkbox"/> schluffig <input type="checkbox"/> humos Konsistenz <input type="checkbox"/> sehr hart <input checked="" type="checkbox"/> hart <input type="checkbox"/> locker <input checked="" type="checkbox"/> sehr locker Verunreinigungen <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> gering <input checked="" type="checkbox"/> stark Gründe Brandstätten		Farbe <input checked="" type="checkbox"/> weißlich <input type="checkbox"/> gelblich <input type="checkbox"/> grünlich <input checked="" type="checkbox"/> bräunlich <input checked="" type="checkbox"/> schwärzlich <input type="checkbox"/> rötlich	Einschlüsse viel wenig keine <input checked="" type="checkbox"/> viel <input type="checkbox"/> wenig <input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> Asche <input checked="" type="checkbox"/> Holzkohle <input type="checkbox"/> gebrannter Lehm <input type="checkbox"/> Mörtel-/Ziegelreste <input type="checkbox"/> Grus (< 6 cm, kantig) <input type="checkbox"/> Kies (< 6 cm, rund) <input type="checkbox"/> Steine (6-20 cm) <input checked="" type="checkbox"/> Blöcke (> 20 cm)												
Beschreibung Tabun / Feuer innen Füllung → ganz weiß viel Asche → siehe 11083 ovale Form, die sich von NO nach SW zieht, ein äußerer Ring aus sehr harter, kalkhaltiger Erde und vielen kleinen Kieselsteinchen, wenig Keramik, aber Holzkohle, Asche und Lehm (11089). Zum inneren Ring hin wird Erde sehr weich, es finden sich eingedrückte Lehmziegel, kleine Holzkohleknoten Ø ~ 10cm, verkohlte Knochen, Interpretation verkohlte Keramik, ab und zu mittelgroße Feldsteine (< 20cm), unterste Schicht dunkelbrauner Sand ganz locker, darauf folgt rote Lehm-schicht, dann wieder brauner Sand, zum Schluss Ascheschicht durchsetzt mit Keramik. An einer Seite zieht Asche bis nach unten durch - hier nicht locker, sondern sehr fest. Oben auf dieser letzten Ascheschicht Versiegelung mit harter Kalkschicht und kompletter Entfernung → nur Boden des Tabun keine Füllung!															
Lageskizze 		Vermessungspunkte <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Punktnr.</th> <th>Höhe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OK</td> <td>28353</td> <td>-21,17</td> </tr> <tr> <td>UK</td> <td>28422</td> <td>-21,28</td> </tr> <tr> <td>Fund</td> <td>28421</td> <td>-21,18</td> </tr> </tbody> </table>			Punktnr.	Höhe	OK	28353	-21,17	UK	28422	-21,28	Fund	28421	-21,18
	Punktnr.	Höhe													
OK	28353	-21,17													
UK	28422	-21,28													
Fund	28421	-21,18													
unter 10533 wird versiegelt von verfüllt mit wird geschnitten von		gleichzeitig mit innerhalb enthält äquivalent zu 11089 gleicher Bef. wie zieht an													
über versiegelt Verfüllung von schneidet															

Abbildung 3.4: Befundformular mit Skizzenbereich⁹⁰⁹⁰ Copyright: BAI/DEI.

3.3 Die Herausforderungen durch den *Wādī al-‘Arab*-Survey (2009–2012)

Beim großen *Wādī al-‘Arab*-Survey im weiten Umfeld um den *Tall Zirā‘a* (2009–2012) wurden GPS-Handgeräten eingesetzt. Dies brachte im Workflow wichtige Verbesserungen mit sich.⁹¹



Abbildung 3.5: Auf dem Survey *Wādī al-‘Arab*⁹²

Während des Surveys wurden Koordinaten an allen Fundorten mit GPS-Handgeräten aufgenommen. Auch die abgelaufenen Wege wurden ständig durch die GPS-Empfänger protokolliert. In den ersten Jahren kamen dazu Geräte der Firma *Garmin* zum Einsatz, die nur eine rudimentäre Punktaufnahme ermöglichten. Ab 2010 wurde ein Handgerät eingesetzt, welches schon eine einfache GIS-Datenaufnahmen erlaubte.⁹³ Auch erste Erfahrungen mit *iPads* zur Datenaufnahme im Feld wurden gemacht, wenn auch die geringe Bildschirmhelligkeit der damaligen Geräte ein Arbeiten im hellen Tageslicht praktisch unmöglich machte. Auch die Qualität der Kameras der Mobilgeräte war damals

⁹¹ Soennecken/Leiverkus 2021.

⁹² Copyright: BAI/DEI.

⁹³ Es handelte sich um den *Magellan Mobile Mapper 6* mit Betriebssystem *Microsoft Windows Mobile 6*. Darauf war *Esri ArcPad* als GIS-Datenerfassungstool installiert.

unzureichend, sodass zusätzlich eine dedizierte Digitalkamera eingesetzt werden musste. Diese ersten Versuche zeigten zwar Möglichkeiten auf, waren aber wegen ihrer technischen Beschränkungen noch von einem komplett integrierten digitalen Workflow weit entfernt.

Dennoch wurde erste Schritte getan: Bilder wurden bereits integriert und standen fortan simultan zur schriftlichen Dokumentation zur Verfügung. Die gemessenen GPS-Koordinaten wurden ebenso in der Datenbank gespeichert. Es gab eine Kartenansicht zu jedem Fundplatz. Zur Erstellung der Übersichtskarten existierte eine Exportfunktion, die Fundplätze mit Koordinaten in einer für ein Desktop-GIS lesbaren Form exportieren konnte (siehe Kapitel 8.4.3). Damit war die Erstellung der Verteilungskarten anhand des detaillierten Datierungssystems in der Datenbank deutlich vereinfacht (siehe Abbildung 8.12).

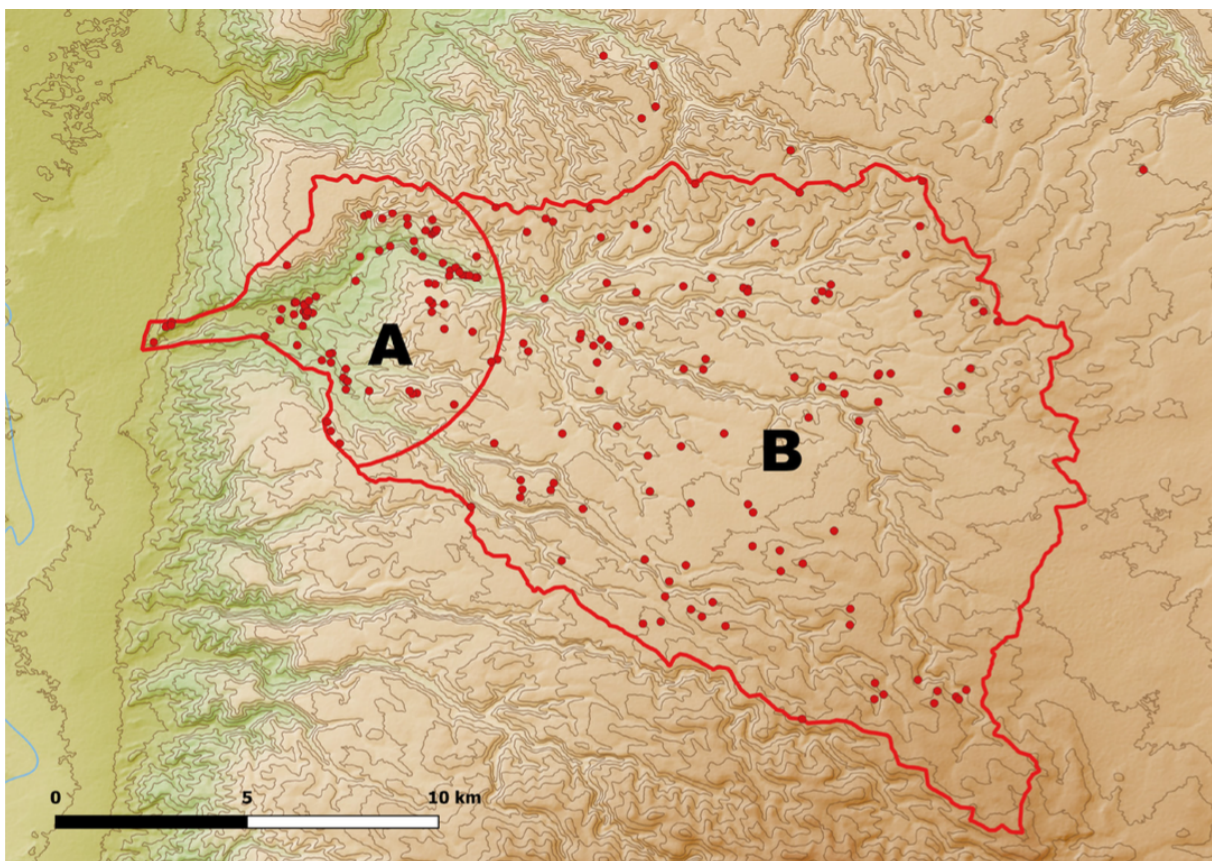


Abbildung 3.6: Fundplätze im *Wādī al-‘Arab*⁹⁴

⁹⁴ Copyright: BAI/DEI.

3.4 Die Herausforderungen durch die Grabungen auf dem Zionsberg (2015–2024)

Seit 2015 gräbt das BAI/DEI auf dem Zionsberg in Jerusalem.⁹⁵ Für das Projekt in Jerusalem entstand eine komplett neu überarbeitete Datenbank. Dazu wurden im Hintergrund mehrere Serverdienste bereitgestellt und damit neben der schriftlichen Dokumentation auch alle weiteren Formen (Vermessung, Planerstellung, Foto, 3D-Aufnahme) erfasst. Daher wird im Folgenden von Grabungsinformationssystemen gesprochen, wie in Kapitel 1.1 beschrieben.



Abbildung 3.7: Der Zionsberg in Jerusalem⁹⁶

Von der israelischen Antikenbehörde, der *Israel Antiquities Authority (IAA)*, wird nach jeder Kampagne ein Bericht und eine umfangreiche Grabungsdokumentation eingefordert. Die Einreichung dieser Dokumente ist Voraussetzung für die Genehmigung der Folgegrabung. Bei der Weiterentwicklung der Systeme wurde daher darauf geachtet,

⁹⁵ Vieweger et al. 2020.

⁹⁶ Copyright: BAI/DEI.

Informationen für die Erfordernisse einer schnellen ersten, rein formalen Publikation des Grabungsgeschehens besser geordnet zur Verfügung zu stellen. Dadurch wurde auch die Abgabe der geforderten jährlichen Grabungsdokumentation am Ende der Kampagne ‚per Knopfdruck‘ möglich.

Als zentrales Element der papierlosen Dokumentation wurde auf dem Zionsberg 2019 die Nutzung von Tablets zur Dokumentation eingeführt. Die Befundformulare verschwanden damit von den Grabungen des BAI/DEI. Ab 2020 wurden Fundzettel im Feld gedruckt statt per Hand beschrieben (siehe Kapitel 7.2 und 8.5.1).

Bis 2018 konnte die Grabung einmal am Ende der Kampagne dreidimensional mit der Fotogrammetrie aufgenommen werden. Schon diese wenigen Modelle waren für die Erstellung der Grabungspläne sehr nützlich. Ab 2019 wurde daher auch immer häufiger während der Kampagnen fotogrammetrische Aufnahmen der Grabung erstellt. Dies erlaubte auch die Zwischenstände zu dokumentieren, wie es auch schon auf dem *Tall Zirā‘a* mittels Senkrechtfotos üblich war (siehe Kapitel 3.1). Dabei mussten die Aufnahmen terrestrisch erstellt werden, da in der Altstadt von Jerusalem, zu der der Zionsberg gehört, Drohnenflüge verboten sind.

Im Bereich der Vermessung wurde schon ab 2015 die eigene Referenz für das differentielle RTK-GPS zugunsten der Nutzung eines Korrekturernetzes⁹⁷ aufgegeben. Fortan gestaltete sich die landesweite Vermessungsdatenaufnahme deutlich einfacher. 2020 wurde das in die Jahre gekommene RTK-GPS *Leica GPS 900* durch ein neues System ersetzt. Das *Emlid Reach RS2* ist ein komplettes RTK-GNSS⁹⁸ integriert in eine Antenne. Bedient wird das Gerät über ein Tablet. Im Gegensatz zum geschlossenen alten System stand damit eine ganze Reihe von unterschiedlicher Drittanbietersoftware zur Verfügung. Dies ermöglichte die Integration der Vermessung in den digitalen Workflow (siehe Kapitel 8.5.1).⁹⁹

⁹⁷ Es werden dazu Korrekturdaten über Mobilfunk der Firma *Eli Etkes* abonniert. Siehe Kapitel 4.3.

⁹⁸ Da heute nicht mehr nur das amerikanische Positionierungssystem GPS verwendet wird, sondern auch das europäische (Galileo), russische (GLONASS), chinesische (Beidou), spricht man allgemein von einem *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

⁹⁹ Siehe dazu auch Kapitel 6.5.

3.5 Die Herausforderungen durch die Grabungen in Tiberias (2022–2024)

Seit 2021 wird das Grabungsprojekt in Tiberias in Kooperation zwischen der *Hebrew University Jerusalem* (Dr. Katia Cytryn¹⁰⁰) und dem DEI (Assist.-Prof. Dr. Katja Soennecken) durchgeführt. Für das laufende Projekt, das 2009 begann, bestand schon eine Datenbank seitens der *Hebrew University*. Die Datenbank, auf Basis von *Microsoft Access* erstellt, war allerdings nicht mehrbenutzerfähig. Außerdem war die Lauffähigkeit nur bis zur Version *Microsoft Access* 2013 gegeben. Mit der aktuellen Version *Microsoft Access* 365 stürzte die Datenbank bei den meisten Interaktionen ab. Aufgrund dieses Zustandes wurde entschieden, eine neue gemeinsame Datenbank für das Projekt zu erstellen. Die Altdaten sollten aus Gründen der Kontinuität und zur Referenz in der gemeinsamen Datenbank enthalten bleiben. Weitergehend war gefordert, die Benutzerschnittstelle, die Abfragemöglichkeiten und die Datenstruktur in ihrer bisherigen Form zu erhalten. Auf der anderen Seite sollten aber auch die auf der Zionsberg-Grabung erreichten Fortschritte der papierlosen Dokumentation in die Konzeption einfließen.

Eine weitere Hürde dabei war, dass die bisherige Dokumentation in Tiberias sich am althergebrachten *Locus*-System (siehe Kapitel 1.4.2) orientierte. In der Kommunikation mit der Co-Grabungsleiterin Dr. Katia Cytryn stellte sich heraus, dass zwar zwischen Mauern und Loci in der Dokumentation unterschieden wurde, wie es das *Locus*-System vorgibt. Tatsächlich waren die Einträge in die Mauer- und *Locus*-Tabelle in der Datenbank aber alles Befunde im Sinne des Befundsystems. Mauerbefunde wurden nur getrennt in einer separaten Tabelle gespeichert. Damit war die Alt-Dokumentation mit dem im BAI/DEI verwendeten Befundsystem kompatibel.

In einem ersten Schritt wurde die alte Datenbank des Projektes in einer *Claris FileMaker*-Server-Datenbank mit dem bisherigen Interface nachgebaut und alle Daten übernommen. Die Fotos, die schon mit der bisherigen Datenbank gespeichert wurden, konnten auch in das neue System transferiert werden. Mit dieser Konvertierung war die neue Datenbank schon mehrbenutzerfähig. Damit hatten alle Projektbeteiligten einen Zugriff auf die Daten über das Internet. In einem zweiten Schritt wurde erreicht, dass Mauern und Loci einheitlich als Befunde in der Datenbank ansprechbar waren. Für diese erweiterte Struktur, die nun dem Befundsystem entsprach, wurde eine Benutzerschnittstelle mit Formularen und Arbeitsabläufen entworfen und programmiert, die weitgehend dem bewährten Workflow der Grabung auf dem Zionsberg entsprach.

¹⁰⁰ Senior Lecturer für Islamische Archäologie an der Hebräischen Universität Jerusalem.

Anders als bei den Kampagnen auf dem Zionsberg, wurden in Tiberias Keramikfunde während der Kampagnen gelesen (siehe Kapitel 2.3.2). Das führt dazu, dass sich Keramikfunde parallel in den verschiedenen Stadien der Bearbeitung (Waschen, Sortieren, Beschriften und Lesen) befinden. Um den Überblick über den Stand der Keramikfundbearbeitung herzustellen, wurde ein Workflow-Management eingeführt. Jeder Keramikfund (ein Basket) bekam damit einen Status, der den aktuellen Stand in der Fundbearbeitung wiedergab. Das entsprechende Formular musste nun für jede Statusänderung aufgerufen werden. Dabei können leicht Lesefehler der entsprechenden Basket-Nummer unterlaufen. Außerdem addiert sich die aufzuwendende Zeit für das Starten der manuellen Suche bei der großen Anzahl an Keramikfunden in Tiberias. Daher wurde ein Barcode für die Basket-Tags (Fundzettel) eingeführt. Damit konnte schnell und fehlerfrei zu einem Basket-Tag der passende Eintrag in der Datenbank aufgerufen werden. Der aus der speziellen Herausforderung der Tiberias-Grabung entwickelte Workflow erscheint auch von allgemeiner Sinnhaftigkeit, so dass er in die weiteren Grabungssysteme eingebaut wird.

Die Lagerung der vielen Funde an verschiedenen Orten in Kisten (Boxen) war ein weiteres Problem, das gelöst werden musste. Die Funde wurden gesammelt in Kisten eingelagert. Diese wurden aus verschiedenen Gründen, wie z.B. der weiteren Auswertung, an mehreren Stellen (Grabung, DEI Jerusalem, *Hebrew University*) deponiert. Dafür wurde ein passendes System in der Datenbank eingeführt. Jeder Fund konnte einer Kiste (Box), welche eine eigene Bezeichnung besitzt, zugeordnet werden. Der Inhalt jeder Kiste (Box) konnte tabellarisch angezeigt werden.



Abbildung 3.8: Grabung Tiberias zum Ende der Kampagne 2023¹⁰¹

Auch im Bereich der Vermessung und Fotogrammetrie gab es neue Herausforderungen. In der Kontinuität des bestehenden Projektes war es gegeben, das *lokale* Koordinatensystem, bzw. Grabungs-Grid, weiterzuverwenden. Im BAI/DEI wird allerdings in der Regel nur noch mit satellitengestützten Systemen vermessen. Die Vermessungsdaten werden in ein Geografisches Informationssystem (GIS) (siehe Kapitel 6.2) integriert und auch darin bearbeitet. Für eine effektive Nutzung in einem GIS müssen allerdings alle Koordinaten als Weltkoordinaten (oder in einem Landeskoordinatensystem) vorliegen. Damit verbietet sich aber die Speicherung der Grabungsvermessung in einem *lokalen* Koordinatensystem. Um diesen Widerspruch zu lösen wurde eine Transformation der Weltkoordinaten (Längen-/Breitengrad) in das Koordinatensystem der Tiberias-Grabung berechnet. Diese wurde im Desktop-GIS-Client und im mobilen Client auf dem Tablet, welches zur Vermessung diente, installiert. Im Grabungsinformationssystem, genauer in der GIS-Datenbank

¹⁰¹ Copyright: BAI/DEI.

(siehe Kapitel 8.2.2) wurden aber alle Koordinaten als Weltkoordinaten¹⁰² gespeichert. Damit wurden die Koordinaten für die Anzeige in den Clients umgerechnet. Konnten so mit Angaben im lokalen Koordinatensystem erstellt werden, ohne dass die Koordinaten so gespeichert werden mussten. Auch Vermessungsaufgaben, wie das Ausstecken der Grabungsquadranten, waren im gewohnten Raster einfach möglich.

2021 wurden mehrere archäologische Orte in Israel und der Westbank mit drohnenbasierter Fotogrammetrie aufgenommen (siehe den Kapitel 5.8). Die gewonnenen Erfahrungen konnten während der Tiberias-Kampagnen 2022 und 2023 erfolgreich eingebracht werden, da in Tiberias das Drohnenfliegen erlaubt ist.

Mit der Drohne gelangen 3D-Aufnahmen des gesamten aktiven Grabungsbereichs verlässlich, schnell und konsistent. In der Folge etablierte sich die tägliche 3D-Aufnahme zur Dokumentation des Grabungsfortschritts. Die enge zeitliche Taktung erlaubte es nun, ähnlich wie auf dem *Tall Zirā ‘a* auf den Orthofotos die Befunde zu markieren. Zuerst wurde eine Malfunktion benutzt, mit dem die Befunde auf den Orthofotos eingezeichnet wurden. Diese konnte schon im Feld aktiviert werden. Für die Planerstellung mussten diese Bilder aber wieder separat evaluiert werden. Das erschien auf Dauer zu umständlich. Das Grabungsinformationssystem wurde daher um echte GIS-Serverkomponenten erweitert. Damit wurden die Markierungen der Befunde in echten georeferenzierten Vektoren möglich, die sich nun nahtlos in den Workflow zur Erstellung der Pläne eingliedern ließen. Der Workflow, wie er bei der Evaluation der Grabung *Tall Zirā ‘a* formuliert wurde, war somit praktisch komplett umgesetzt und die Dokumentation erhielt die in Kapitel 8 beschriebene Qualität (siehe Kapitel 8.5.1).

¹⁰² Vektoren (Punkte, Linien und Polygone) wurden als Längen-/Breitengrad im WGS84-Format gespeichert.

4 Vermessungstechnik – Vom Nivellier zum zentimetergenauen GPS

Die verwendeten Techniken und ebenso die verfügbaren Geräte für eine zuverlässige Vermessung haben sich in den letzten Jahrzehnten mit dem rasanten technischen Fortschritt grundlegend geändert. Dennoch finden die verschiedenen Ansätze von optisch-mechanischen bis hin zu elektronisch-satellitengestützten Techniken noch immer parallel auf verschiedenen Grabungen im Heiligen Land ihren Einsatz.

Die Vermessung kann auf Grabungen unterschiedlich organisiert werden: Zumeist ist sie einem oder mehreren Spezialisten (Vermessern, Grabungstechnikern oder Archäologen mit entsprechenden Kenntnissen) vorbehalten. Dass während der Feldarbeit ständig eine Vermessung mit Tachymeter oder RTK-GNSS zur Verfügung steht, ist nicht immer der Fall. Es ist nicht unüblich, dass im größten Teil der Zeit nur Höhen mit Hilfe eines Nivelliers gemessen werden. Nur zu bestimmten Zeitpunkten etwa zum Ausstecken der Grabungsschnitte und am Ende der Grabung (Aufnahme der Grabung) steht ein Vermessungsgerät zu Verfügung, welches nicht nur die Höhe – sondern auch die Lage – messen kann.

Die Abwägung dazu, wie oft und mit welcher Technik die Vermessung durchgeführt wird, hängt von mehreren Faktoren ab: Welche Messungen werden für die jeweilige Grabungsdokumentation benötigt (nur die Höhen oder auch die Lage des Vermessungspunktes)? Wie präzise müssen die Messungen sein? Auch der Kostenaspekt spielt eine Rolle: Wie hoch sind die Kosten für die Technik? Wird ein Spezialist (z.B. ein Vermesser) zur Durchführung benötigt, was wiederum Kosten verursacht?

Bei den Projekten des BAI/DEI haben sich folgende Richtlinien als Handlungsmaximen bewährt:

- Im BAI/DEI ist die Vermessung auf den Grabungen über alle Grabungstage durchgehend im Einsatz. Die zeitnahe Vermessung von Befundkanten und Fundlagen verhindert Verzögerungen des Grabungsfortschrittes. Dies steigert auch die Effektivität einer Grabung. Gegenüber einem sporadischen Einsatz werden keine Messpunkte vor deren Sicherung abgegraben und es können so viel mehr Punkte flächendeckend vermessen werden.
- Alle Punkte werden in Lage und Höhe eingemessen. Das gilt auch für die Ober- und Unterkanten aller Befunde. Nur so kann man diese problemlos an korrekter Position in den Grabungsplan einzeichnen.
- Alle Messungen geschehen elektronisch und werden möglichst direkt im Grabungsinformationssystem gespeichert. Das ist die am wenigsten fehleranfällige Methode im Feld. Da die Nacharbeit mit separater Sicherung von Dateien entfällt, ist dies auch eine zeitlich sehr effektive Methode, weil die Messdaten unmittelbar auch den ausgrabenden Archäologen zur Verfügung stehen.

Im den folgenden Unterkapiteln werden die drei gängigen Vermessungsgerätetypen auf Grabungen vorgestellt und auf ihre Eignung gegenüber den oben formulierten Anforderungen evaluiert.

4.1 Das Nivellier

Das einfachste Vermessungsgerät, das auf einer Grabung eingesetzt wird, ist das Nivellier. Mit dem Nivellier, welches im Wesentlichen aus einem drehbaren, horizontierten Fernrohr besteht, kann man die relative Höhendifferenz zweier Punkte mit Hilfe eines zentimeterweise markierten Stabes, der Nivellierlatte, bestimmen. Ist die absolute Höhe eines der Punkte bekannt, erhält man somit die absolute Höhe des zweiten Punktes durch Berechnung. Auf diese Weise wurden und werden Ober- und Unterkanten von Befunden (siehe Kapitel 2.2.3) eingemessen. Die Lagekoordinaten erhält man mit einem Nivellier nicht. Diese wird muss man manuell in Planskizzen eingetragen.

Mögliche Fehlerquellen sind Ablesefehler auf den Nivellierlatten sowie Berechnungsfehler. Hinzu kommen Übermittlungsfehler, wenn Mess- oder Rechenergebnisse vom Vermesser zum Dokumentierenden mündlich übertragen werden.

Die Umrechnung von Messergebnissen in die absolute, zu dokumentierende Höhe ist im Prinzip recht einfach – verursacht aber in der Hektik des Grabungsgeschehens (unter Umständen in extremer Hitze) immer wieder Diskussionen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Grabungen auf dem *Tall Zirā'a* und in Tiberias unter dem Meeresspiegel liegen. Da sind Vorzeichenfehler bei der Berechnung ein häufiges Problem.¹⁰³



Abbildung 4.1: Nivellier¹⁰⁴

¹⁰³ Eine einfache Suche in der Datenbank Tiberias zeigt schon, dass 1097 von 2125 Befunden einen Vorzeichenfehler bei der Oberkante aufweisen. Es handelt sich dabei um Befunde, die vor der Beteiligung des BAI/DEI am Projekt erstellt wurden. – Fehler bei denen z.B. Addition und Subtraktion verwechselt wurden, sind im Allgemeinen schwer nachzuvollziehen und zu korrigieren.

¹⁰⁴ Copyright: Leica Geosystems <https://leica-geosystems.com/> (abgerufen am 16.08.2024).

Dem gegenüber sind Nivelliergeräte sehr günstig in der Anschaffung¹⁰⁵, praktisch wartungsfrei und ihr Messprinzip ist leicht zu verstehen. Sie binden bei Verwendung zwei Arbeitskräfte. Für einen digitalen Workflow ist diese Technik allerdings völlig ungeeignet. Aus diesem Grund, der fehlenden Lagemessung und der hohen Fehlerquote spielen Nivelliergeräte keine Rolle mehr in der Grabungspraxis des BAI/DEI, obwohl während der Grabungen zumeist ein (unbenutztes) Nivelliergerät bereitstand.

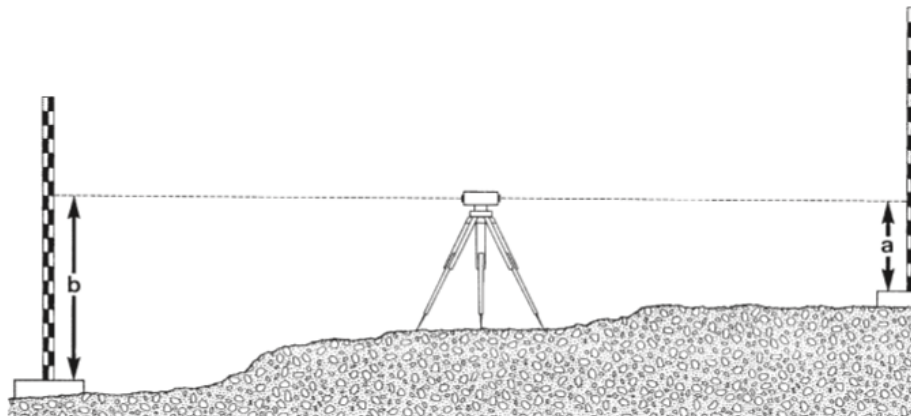


Abbildung 4.2: Nivellierprinzip¹⁰⁶

4.2 Das Tachymeter

Im Gegensatz zu einem Nivelliergerät lässt sich bei einem *Theodolit* das Fernrohr neigen. Horizontal und Vertikalwinkel lassen sich ablesen. Damit kann man die Winkel zwischen anvisierten Punkten messen. Man erhält ein Netz von Dreiecken, deren Winkel bekannt sind. Geometrisch lassen sich dann aus bekannten Punkten unbekannte Punkte bestimmen und das nicht nur in der Höhe, sondern auch in der Lage.

In dieser rein mechanischen Form werden Theodoliten schon lange nicht mehr in der Archäologie eingesetzt. Heutige Theodolite besitzen einen Laserentfernungsmesser, der in das Zielfernrohr integriert ist. Damit kann man entweder Reflektoren anvisieren oder

¹⁰⁵ Ein Beispiel für ein einfaches Nivellier für eine Grabung ist das *Leica NA320*. Der Listenpreis liegt bei 240,- Euro (Stand 31.07.2024). Mit einem Stativ und einer Nivellierlatte liegt der Systempreis bei unter 500 Euro.

¹⁰⁶ Vieweger 2012, Abb. 93.

reflektorlos Oberflächen anpeilen. Die zusätzliche Entfernungsinformation zwischen Gerät und Objekt vereinfacht die geometrische Berechnung. Diese Theodolite werden im Allgemeinen als Tachymeter oder Totalstation bezeichnet. Sie besitzen in aller Regel einen eingebauten Computer, der die notwendigen Berechnungen zur Bestimmung der Punktkoordinaten (Reflektor oder Oberfläche) übernimmt und die Daten in einen Speicher schreibt. Ein Tachymeter misst unbekannte Koordinaten neuer Punkte aus Koordinate bekannter Punkte.¹⁰⁷ Daher müssen vor der Grabung Festpunkte in der Nähe der Grabungsareale genau in ihrer Lage bestimmt sein.



Abbildung 4.3: Tachymeter im Einsatz auf dem *Tall Zirā'a*¹⁰⁸

Für die Arbeit an einem Tachymeter werden zwei Personen benötigt. Eine Person, die den Reflektorstab senkrecht¹⁰⁹ auf den zu messenden Punkt stellt und eine Person, die das Tachymeter selbst bedient. Eine Ausnahme bilden motorisierte Tachymeter (Robotik-Tachymeter), die über eine Fernbedienung vom Reflektorstab aus bedient werden.

¹⁰⁷ Im einfachsten Fall wird ein Tachymeter über einen Punkt mit bekannten Koordinaten aufgestellt. Mit dem Fernrohr wird ein weiterer bekannter Punkt angepeilt und damit die horizontale Winkelmessung kalibriert. Mit einem so eingestellten Tachymeter können dann neue Punkte vermessen werden.

¹⁰⁸ Copyright: BAI/DEI.

¹⁰⁹ Der Reflektorstab besitzt zu diesem Zweck eine Dosenlibelle.

Da bei einer flächenmäßig großen Grabung, wie dies bei den Projekten des BAI/DEI der Fall ist, nicht die gesamte Grabung von einem Standpunkt aus sehen kann, muss ein Tachymeter häufig für Messungen auf eine neue Position gestellt werden. Die Vermessung kann weniger spontan reagieren, was den Grabungsfortschritt unter Umständen verlangsamen oder behindern kann.

Bei adäquater Bedienung sind die Fehlerquellen während der Vermessung kleiner als beim Nivelliergerät. Dies gilt vor allem deshalb, weil meist nur ausgebildete Vermesser oder Archäologen solche Messgeräte benutzen.

Tachymeter werden heute weitverbreitet eingesetzt. Auch in den Projekten des BAI/DEI wurden sie standardmäßig bis 2006 eingesetzt. Die Kosten für ein manuelles Tachymeter liegen im mittleren vierstelligen Euro-Bereich. Ein in der Archäologie gern verwendetes Tachymeter ist das *Leica FlexLine TS07*.¹¹⁰ Die Kosten für ein solches Gerät beginnen aktuell bei ca. 9000,- Euro.¹¹¹

Zusammengefasst ergeben sich folgende Vor- und Nachteile von Tachymetern:

- Tachymeter erlauben eine Vermessung von Punkten in Lage und Höhe, und zwar auch dort, wo dies mit satellitengestützten Systemen (siehe nächstes Unterkapitel) nicht möglich ist.
- Die Anschaffung ist deutlich teurer als bei Nivellieren.
- Da viele (fein-)mechanische Elemente verbaut sind, ist auch in der Regel eine Wartung (durch den Hersteller) notwendig.
- Es sind zwei Personen zur Durchführung der Vermessung notwendig.¹¹²
- Bei großen Grabungen mit mehreren Arealen ist die Vermessung weniger spontan möglich, da das Tachymeter häufig aufwändig umgestellt werden muss.

¹¹⁰ Siehe <https://www.arctron.de/produkte/leica-flexline-tachymeter/> (abgerufen am 16.08.2024).

¹¹¹ Siehe <https://www.vermessen.de/> (abgerufen am 16.08.2024).

¹¹² Ausnahme: ein motorisiertes Tachymeter kann von einer einzelnen Person bedient werden. Der Preis dafür liegt aber nochmals deutlich höher.

4.3 Satellitengestützte Vermessung – GPS und GNSS

Erfahrungen mit geliehenen RTK-GPS-Systemen seit 2003¹¹³ haben das BAI/DEI dazu bewogen, 2006 ein eigenes RTK-GPS anzuschaffen¹¹⁴ und die Vermessung ab 2007 standardmäßig mit diesem durchzuführen. Viele der oben genannten Nachteile können mit dieser Technik vermieden werden. Dazu gehören

- RTK-GNSS brauchen nur einen Bediener.
- Die langwierige Aufstellung bzw. Umsetzung entfällt vollständig. Ein RTK-GNSS ist an jedem Punkt der Grabung sofort einsetzbar, wenn Satellitenempfang besteht. Damit ist jederzeit eine spontane Vermessung möglich.
- Die Kosten für ein RTK-GNSS sind *heutzutage* deutlich geringer als für ein Tachymeter (siehe Kapitel 4.4).
- Es ist keine Wartung mechanischer Teile notwendig, da ein RTK-GNSS ein rein elektronisches System ist.

Bei einem GPS, oder GNSS, werden in einer Antenne Signale von Satelliten empfangen, bei denen vor allem die Position der Satelliten übertragen wird. Aus Laufzeitunterschieden (die Satelliten besitzen alle Atomuhren) kann der Empfänger die eigene Position relativ zu den Satelliten und damit die absolute Position in Koordinaten bestimmen. Diese Berechnung ist mit einer Genauigkeit verbunden, die von der Art des Empfängers abhängt. Einfache Empfänger können die eigene Position bis auf etwa 5–15 m genau bestimmen. Professionelle Geräte kommen auf eine Genauigkeit von unter einem Meter. Eine noch höhere Genauigkeit wird erst mit Korrekturdaten erreicht. Dazu werden bei einem RTK-GNSS¹¹⁵ zwei Systeme zusammen verwendet. In Nähe der zu messenden Punkte¹¹⁶ wird ein GNSS, die sogenannte Referenz, über einem Punkt mit bekannten Koordinaten positioniert. Die Differenz zwischen aktuell gemessener Position und echter Position wird live an das zweite GNSS, den *Rover*, gesendet, welches damit die eigene Positionsmessung

¹¹³ Ein Dank gebührt hier Jens Kleb, Erfurt, der das BAI/DEI bei der ersten Nutzung eines RTK-GPS unterstützt hat.

¹¹⁴ Es handelte sich um ein *Leica GPS 900* System mit eigener Referenz. Selbst die hohen Anschaffungskosten von über 24.000 Euro erschienen in Abwägung der Vor- und Nachteile lohnend. Im Rückblick bestätigt sich diese Einschätzung.

¹¹⁵ RTK ist die Abkürzung für Real-time Kinematic Positioning (Echtzeitkinematik).

¹¹⁶ „Die maximale Entfernung des Empfängers (Rovers) von der Referenzstation beträgt bei temporären Referenzstationen unter günstigen Bedingungen bis zu 10 km.“ Siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Echtzeitkinematik> (abgerufen am 16.08.2024).

korrigieren kann.¹¹⁷ Auf diese Weise können Genauigkeiten in der Positionsbestimmung von unter 2 cm erreicht werden. Dies ist für die archäologische Vermessung völlig ausreichend.

Diese Arbeitsweise mit einem RTK-GNSS war für viele Jahre Standard. Das BAI/DEI hat von 2007–2015 mit einem solchen System gearbeitet.

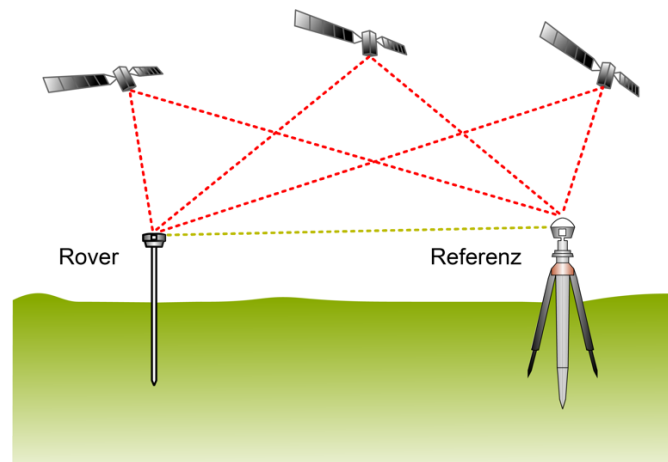


Abbildung 4.4: Schemabild RTK-GNSS¹¹⁸

Inzwischen haben private Firmen oder staatliche Ämter (in Deutschland die Landesvermessungsämter) ein Netz von festen Referenz-Antennen errichtet und bieten die Korrekturdaten über das Internet an. Per Mobil Daten kann dann im ganzen Bereich dieses Referenznetzes hochgenau gemessen werden.

Damit entfallen das Aufstellen und die Überwachung der eigenen Referenz. Dies hat mehrere Vorteile:

- Die Anschaffung des Referenz-GNSS entfällt. Der Kosten für ein Gesamtsystem werden dadurch deutlich geringer.
- Die Überwachung der eigenen Referenz hinsichtlich technischer Fehler ist nicht mehr notwendig.
- Die Gefahr von Diebstahl (oder Vandalismus) der Referenz ist nicht gegeben.
- Ein Festpunkt mit bekannten Koordinaten in der Nähe der Grabung, über den die Referenz aufgestellt wird, ist nicht mehr notwendig.

¹¹⁷ Für mathematisch-technische Details der Berechnungskonzepte siehe Bauer 2010.

¹¹⁸ Copyright: TS Eriksson, Wikimedia Commons, Lizenz: [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/).

- Es kann spontan hochgenau vermessen werden. Der Zeitaufwand für die Aufstellung entfällt.



Abbildung 4.5: RTK-GNSS *Emlid Reach RS2* im Einsatz in Tiberias¹¹⁹

In der Benutzung ist ein RTK-GNSS einfacher als ein Tachymeter. Ist das Gerät (bestehend aus einer Antenne mit interner Elektronik und Akku) eingerichtet, muss es nur eingeschaltet werden. Nach dem Startup steht direkt ein stetiger Strom von Koordinaten für die Vermessung zur Verfügung. Auf einem Mobilgerät – sei es ein Tablet oder ein Smartphone – lässt sich dieser Koordinatenstrom in verschiedene Apps einspeisen. Die Benutzung dieser Apps ist mit einfacher Einweisung möglich. Spezialkenntnisse zur Vermessung sind keine Voraussetzung.

¹¹⁹ Copyright: BAI/DEI.

Diese Flexibilität und Einfachheit macht eine sinnvolle und praktische Integration der Vermessung, also das Speichern der Vermessungspunkte in das Grabungsinformationssystem, praktisch möglich.

Ein Nachteil von RTK-GNSS ist, dass die Technik nicht überall funktioniert. Wie oben schon erwähnt, funktioniert sie nur bei freier Sicht zu den Satelliten. Unter ausladenden Bäumen, in Gebäuden und direkt neben hohen Gebäuden ist der Satellitenempfang schlecht und es kann häufig nicht mit einem RTK-GNSS gemessen werden. Das passiert bei Grabungen in einer Stadt und auch bei Messungen in großer Tiefe (z.B. in einem Grabungsschnitt). Um den Empfang zu verbessern kann der üblicherweise der zwei Meter hohe Stab, auf dem sich die Antenne befindet, verlängert werden. Eine Verlängerung um ein oder zwei weitere Meter sind möglich. Mit mehr ist die Messtange mit der aufgeschraubten GNSS-Antenne nicht mehr praktisch zu handhaben.

Ein weiteres Problem ist die Abhängigkeit der Vermessung von externen Dienstleistern. Das Mobilfunkdatennetz kann ausfallen. Die Korrekturdatenserver können zeitweise nicht erreichbar sein. Auch die Satellitennavigationssysteme können aus militärischen Gründen, das heißt im – im Nahen Osten nicht unwahrscheinlichen – Konfliktfall, nicht nutzbar sein.

Alle diese verschiedenen Ereignisse sind realistisch. Ist ein schlechter Satellitenempfang auf der Grabung zu erwarten oder sind längere Ausfälle möglich, lohnt es ein Tachymeter als Backup-Lösung bereitzuhalten.

Dennoch sind generell die Vorteile von RTK-GNSS unschlagbar. Ein Zurückwechseln zum Tachymeter erscheint nicht sinnvoll. Nur als Ersatzlösung hat das Tachymeter im BAI/DEI noch seinen Platz.

4.4 RTK-GNSS-System des BAI/DEI

Im BAI/DEI wurde 2020 das in die Jahre gekommene RTK-GPS *Leica GPS 900*¹²⁰ durch ein neues System ersetzt. Die Wahl fiel auf ein *Emlid Reach RS2*¹²¹ (siehe Abbildung 4.5). Mit einem Systempreis von unter 3000,- Euro¹²² (ohne eigene Referenz, siehe vorheriges

¹²⁰ Anschaffung im Jahr 2006.

¹²¹ Für eine Evaluation des Vorgängermodells *Emlid Reach RS* siehe Cobb et al. 2019.

¹²² Siehe <https://hk.store.emlid.com/> (abgerufen am 16.08.2024).

Unterkapitel) ist die Anschaffung viel günstiger als dies 2006 für das alte RTK-GPS (Systempreis *Leica GPS 900* ca. 24.000 Euro) war.

Das *Emlid Reach RS2* kann im Gegensatz zum *Leica GPS 900* neben den amerikanischen (GPS) Satelliten auch die europäischen (*Galileo*), russischen (GLONASS) und chinesischen (*Beidou*) Satelliten empfangen, was die Empfangsleistung verbessert.¹²³

Zur Bedienung des *Emlid Reach RS2* wird eine App auf dem Smartphone oder Tablet (*Android* oder *iOS/iPadOS*) eingesetzt. Neben der herstellereigenen App *Emlid Flow* gibt es weitere Apps, die die Vermessung mit dem Emlid-Gerät erlauben. Im BAI/DEI werden drei verschiedene Apps eingesetzt:

- Mit *Emlid Flow* werden Software-Updates am System durchgeführt und Grundeinstellungen vorgenommen.
- *MicroSurvey FieldGenius For Android* wird für einfache Vermessungsaufgaben (Punktaufnahme in eine Datei, Ausstecken) eingesetzt.
- Mit *QField* können Punkte direkt vermessen und im Grabungsinformationssystem gespeichert werden (siehe Kapitel 6.5).

4.5 Fazit

Die satellitengestützte Vermessung mit einem RTK-GNSS hat für die Projekte des BAI/DEI entscheidende Fortschritte im Hinblick auf die in Kapitel 1.1 formulierten Ziele gebracht. Es liegt einerseits nicht nur ein vollständig digitaler Workflow vor, sondern der Einsatz ist auch noch einfacher und weniger fehleranfällig als die anderen verfügbaren Methoden. Darüber hinaus wird nur noch eine Person zur Vermessung benötigt und nicht mehr zwei wie bei Tachymeter oder Nivellier. Damit halbiert sich im Feld der Arbeitsaufwand.

Eine weitere Optimierung würde sich nur noch dann erreichen lassen, wenn die dokumentierenden Archäologen selbst eine Vermessung spontan und einfach durchführen könnten. Einen Hinweis darauf, wie das praktisch gehen könnte, liefert eine neue Gerätegeneration der RTK-GNSS. Die weitere Miniaturisierung der Elektronik erlaubt es mittlerweile, das RTK-GNSS direkt an Tablet oder Smartphone anzubringen. Ein solches RTK-

¹²³ Bei Verwendung aller vier Satellitensysteme sind die Unterschiede der Messgenauigkeit zwischen einem *Emlid Reach RS2* und einem traditionellen (teuren) RTK-GNSS minimal. Siehe Øvstedal et al. 2022.

GNSS ist das Modell *viDoc*¹²⁴ der Firma *Vigram* (Abbildung 4.6). Mit diesem Gerät können Punkte mit Hilfe eines eingebauten Lasers angezielt und eingemessen werden. Dadurch kann auf eine Antennenstange verzichtet werden. Ein solches RTK-GNSS in das Grabungsinformationssystem auf dem Mobilgerät integriert, würde die Vermessung ähnlich einfach machen wie die Befundfotografie. Ein Vermesser wäre somit überflüssig. Es bleibt abzuwarten, ob oder wann die Anschaffungspreise ein solches Vorgehen möglich machen werden.



Abbildung 4.6: RTK-GNSS *Vigram viDoc*¹²⁵

¹²⁴ <https://vidoc.com/> (abgerufen am 24.08.2024).

¹²⁵ Abbildung von <https://www.geoweeknews.com/news/pix4d-s-vidoc-rtk-rover-sees-us-and-canada-release>.

5 Fotogrammetrie – Von der Feldskizze zum Orthofoto

5.1 Einführung

In der archäologischen Feldforschung haben sich über Jahrzehnte feste Standards etabliert. Im Zentrum steht die exakte Dokumentation der Ausgrabungsbereiche. Das Erstellen von Skizzen bzw. Zeichnungen von Grabungsquadranten, -arealen oder Gesamtplänen ist klassisch einer der wichtigsten und gleichzeitig zeitintensivsten Arbeitsschritte. Je präziser sie sein sollen, desto aufwändiger wird es. Das bindet Arbeitskraft von qualifizierten Mitarbeitenden. Außerdem verzögert dies den Grabungsfortschritt. Ein Bereich, der gezeichnet wird, kann nicht parallel ausgegraben werden. Diese Form der Dokumentation ist also teuer.

Umso schwerer wiegt dies in Kampagnen fern der Heimat, denn die Zeit der Ausgrabung ist begrenzt. Die eingesetzten qualifizierten Mitarbeiter „fehlen“ zeitgleich bei der archäologischen Feldarbeit.

Aus diesem Grunde steht bei der Dokumentation der Grabungsbereiche, insbesondere des Grabungsfortschritts im gleichen Quadranten oder Areal, die Frage nach möglichen Rationalisierungen im Raum. Kann man mit technischen Mitteln die Mitarbeitenden entlasten und vielleicht sogar die Präzision erhöhen?

Leider können Fotos nicht einfach Handzeichnungen oder -skizzen ersetzen. Fotos bilden zwar die Realität präziser als jede subjektiv-interpretierende Zeichnungen ab. Sie sind digital auch schnell, billig und einfach zu erstellen und zu speichern. Leider aber verzerren sie durch ihren Blickwinkel den aufgenommenen Bereich erheblich, sodass sie nicht maßstabsgerecht sind. In diesen Fotos kann man folglich auch keine Abstände messen. Um dieses Problem zu lösen, wird die Fotogrammetrie angewandt.

Fotogrammetrie ist der Oberbegriff für Vermessungsverfahren bei denen man aus Fotografien die Lage und (relative) Größe von abgebildeten Objekten rekonstruiert. Auch der Begriff der *Bildmessung* taucht synonym in der Literatur auf.¹²⁶ Diese Verfahren finden spätestens seit den siebziger Jahren des 20. Jh. in der Archäologie Anwendung.¹²⁷

5.2 Feldskizze/Feldzeichnung

Mit Feldskizzen werden einzelne Befunde oder auch die übergreifende Fundsituation zeichnerisch festgehalten. Im einfachsten Fall geschieht dies als Skizze maßstabslos mit Bleistift auf Paper. Steingerecht wird eine solche Zeichnung, wenn sie maßstäblich (in der Regel 1:20 auf Millimeterpapier) aufgenommen wird. Aus den zusammengesetzten Feldzeichnungen einer archäologischen Kampagne erhält man, in Tusche umgesetzt, den Grabungsplan auf klassische Weise. Konstruktive Elemente werden durch verschiedene Strichstärken markiert. Auch sollten die Konsistenz der Befunde, deren Art (z.B. Laufhorizont) als auch die Einschlüsse (z.B. Artefakte) auf eindeutige Weise sichtbar gemacht werden. Eine Legende schließt die gezeichneten Prinzipien auf. Bei mehreren Strata bzw. verschiedenen Phasen innerhalb eines Stratums werden je unterschiedliche Grabungspläne erstellt.

¹²⁶ Eckstein 1982, S. 60.

¹²⁷ Eckstein 1982, S. 61.

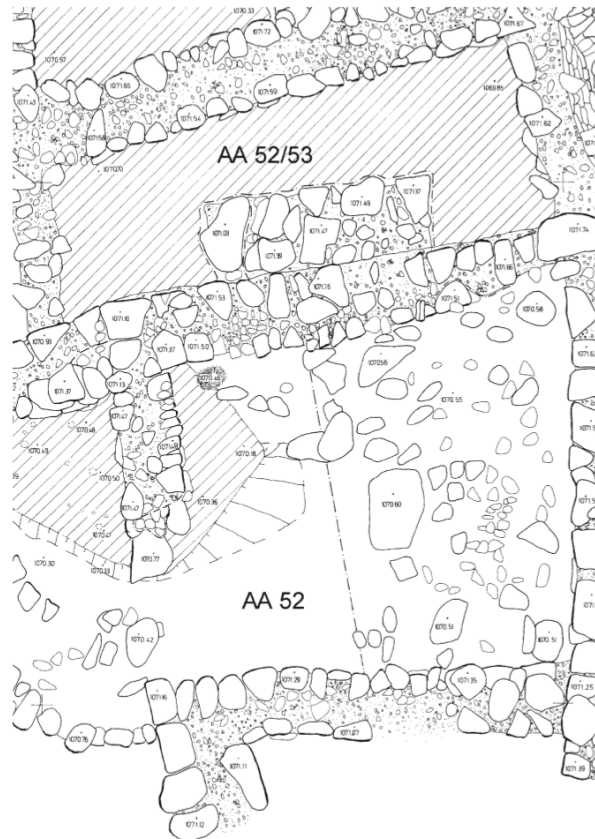


Abbildung 5.1: Ausschnitt aus einem handgezeichneten Grabungsplan von *Ba'gā I*, Jordanien¹²⁸

Ebenso werden die Grabungsprofile, die einen simultanen Einblick in die vertikale Abfolge der Strata erlauben, zeichnerisch dokumentiert. Hier sind die Grenzen zwischen den einzelnen Schichten und die unterschiedliche Konsistenz derselben wichtig und müssen über die Zeichnung kommuniziert werden. Da diese Zeichnungen im starken Maße aus subjektiver Interpretation gewonnen wurden, werden sie durch Fotos von Befunden, Installationen, Übersichtsfotos (z.B. in einem Quadranten) ergänzt.

Die Qualität der Zeichnungen ist im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

Zum einen von den künstlerischen Fähigkeiten des Zeichners/der Zeichnerin. Objekte müssen erkennbar wiedergegeben werden; seien es die Konsistenz des Bodens mit den richtigen zeichnerischen Mittel oder die Größenverhältnisse der aufgefundenen Objekte zueinander.

Hinzu kommt die notwendige archäologische Kompetenz. Bei einem Plan steht nicht die ästhetische Qualität im Vordergrund, sondern die Vermittlung archäologischer

¹²⁸ Vieweger 2012, Abb. 138.

Informationen. Welche Steine bilden konstruktiv eine Mauer? Handelt es sich beim abgebildeten Planum um eine Füllschicht oder einen Laufhorizont?

Für eine verlässliche Dokumentation ist eine Person mit beiden Kompetenzen nötig. Damit geht in der direkten Grabungstätigkeit ein/e wichtiger Mitarbeiter/in „verloren“, die dort für die Herausarbeitung und schriftliche Dokumentation des Grabungsfortschritts wertvoll sein kann.

Weitere Nachteile der Hand-Zeichnungen liegen auf der Hand:

- Skizzen und Zeichnungen unterschiedlichen Personen gewichten unterschiedliche Beobachtungen. Das gilt selbst, wenn zwei Dokumentierende den gleichen Quadranten unter den gleichen Vorgaben zur gleichen Zeit zeichnerisch umsetzen würden.
- Benachbarte Quadranten passen in der Anmutung oft nicht zueinander, weil zwei Zeichner/innen unterschiedliche Fähigkeiten besitzen, verschiedene Schwerpunkte setzen und daher das Gleiche bzw. Ähnliche auf unterschiedliche Art ausdrücken. Das führt zu Schwierigkeiten bei der Zusammenschau des Grabungsareals.
- Eine dauerhafte Qualitätskontrolle ist hier also vonnöten. Aus den Feldskizzen werden dann, häufig durch einen Architekten/eine Architektin, die Grabungspläne erstellt. Dieser Arbeitsschritt fügt der Interpretation durch die Zeichner dann aber noch eine weitere Interpretationsebene hinzu.

Diese klassische Vorgehensweise im Feld ist äußerst arbeits- und zeitaufwändig. Hinzu kommt, dass in einem Bereich, der steingerecht gezeichnet wird, in der Regel die Grabungstätigkeit ruhen muss. Dies geschieht immer dann, wenn ein Stratum oder eine Begehungsebene innerhalb eines Stratums freigelegt ist.

In den ersten Kampagnen der Grabungen auf dem *Tall Zirā 'a* wurde auf diese Weise auch im BAI/DEI noch mit Handzeichnungen gearbeitet. Der Anreiz, durch neue digitale Techniken diesen Teil der archäologischen Arbeit zu optimieren, war aus den dargestellten Gründen groß. Hinzu kommt, dass nach Beendigung einer Kampagne, der wiederholte Besuch des Grabungsortes, zur Klärung von sich bei der Nacharbeit ergebenden Fragen, nicht möglich ist. Damit musste man sich auf die von Hand erstellten Feldskizzen und die Befundfotos bei der Auswertung verlassen können.

In den Zeiten der analogen Fotografie war das Erstellen von Befundfotos technisch schwieriger (korrekte Belichtung), teuer (Entwicklung und Papierabzüge) und vor allem in der Regel erst nach der Grabungskampagne verfügbar, sodass damals in der Regel nur eine beschränkte Zahl von Fotos von Befunden oder Überblicksfotos gemacht werden konnten.

5.3 Einbild-Fotogrammetrie mit Senkrechtfotos

Ein häufig angewendetes Verfahren der Fotogrammetrie ist die Erstellung von Ortho- oder Senkrechtfotos mit Hilfe der Einbild-Fotogrammetrie. Das Verfahren wurde ursprünglich für die Architekturaufnahme entwickelt. Dabei wird ein Foto von einer möglichst ebenen Fläche, z.B. einer Hauswand, erstellt. Dieses Foto wird über bekannte Passpunkte (meistens die Eckpunkte eines Rechtecks) auf diese Ebene entzerrt. So entsteht für diese Ebene ein maßstabsgerechtes Foto in dem Längen und Winkel gemessen werden können.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass keine speziellen Geräte für die Durchführung benötigt werden – ein Fotoapparat und ein Vermessungsgerät (z.B. ein Tachymeter oder ein RTK-GNSS) sind ausreichend.

Ab 2004 wurde die klassische Feldskizze auf den Grabungen des BAI/DEI durch das Markieren von Senkrechtfotos weitgehend ersetzt. Zur Erstellung der Fotos wurde eine Digitalkamera mit Weitwinkelobjektiv¹²⁹ am oberen Ende einer fünf Meter langen Latte befestigt (siehe Abbildung 3.3). Im BAI/DEI hat sich der Begriff „Giraffe“ für diese Konstruktion durchgesetzt. Die Kamera wurde möglichst senkrecht nach unten ausgerichtet. Die Stange musste schräg mindestens auf Hüfthöhe über einen Grabungsquadranten gehalten werden. Ein 5 x 5 m Quadrant ließ sich so in einem Foto aufnehmen. Über eine Videobrille wurde der Bildausschnitt bestimmt. Mit einem Fernauslöser wurde das jeweilige Foto möglichst ideal gefertigt. Der Einsatz auf einer Grabung bei Hitze und Staub macht die Verwendung einer speziell dafür ausgelegten Kamera notwendig.

Als Zeitpunkt für die Aufnahmen wurde der Mittag direkt nach Beendigung der Feldarbeit ausgewählt. Zu diesem Zeitpunkt steht die Sonne am höchsten und es entstehen zwangsläufig zwar harte, aber sehr schmale Schattenwürfe auf den Fotos. Am Morgen vor

¹²⁹ Im BAI/DEI wurde eine Kamera mit einer kleinbildäquivalenten Brennweite von 28mm verwendet.

Arbeitsbeginn gibt es tatsächlich einen idealeren Zeitpunkt ohne Schatten direkt um den Sonnenaufgang. Praktisch ist dieser allerdings zu kurz – noch dazu im Orient, wo Sonnenaufgang und Untergang deutlich schneller erfolgen als in Mitteleuropa. Es lässt sich in dieser kurzen Zeitspanne eine große Menge an Quadranten bei einer ausgedehnten Grabung nicht mit der geforderten Präzision fotografieren.¹³⁰ Nach dem Sonnenaufgang wird die Lichtsituation allerdings sehr ungünstig, da lange Schatten geworfen werden, die eine Bildauswertung erschweren.

Auch arbeitstechnisch ist der Zeitpunkt mittags vorzuziehen. Vor dem Beenden der täglichen Arbeit müssen ohnehin alle Grabungsbereiche gereinigt werden. Damit werden die archäologisch relevanten Elemente, wie Mauern, gut sichtbar. Am Morgen würde gerade die kühlsste und damit angenehmste Arbeitszeit verschenkt, weil bei Grabungsbeginn die Senkrechtfotos nur gemacht werden können, wenn die Arbeit ruht und sich kein Werkzeug und keine Mitarbeiter/innen in den Quadranten befinden. Die Sicherung des Grabungszustandes nach einem Grabungstag, besonders am Wochenende, hilft auch, eventuelle Zerstörungen durch einheimische „Halbstarke“ – die immer einmal vorkamen – in der Dokumentation abfedern zu können.

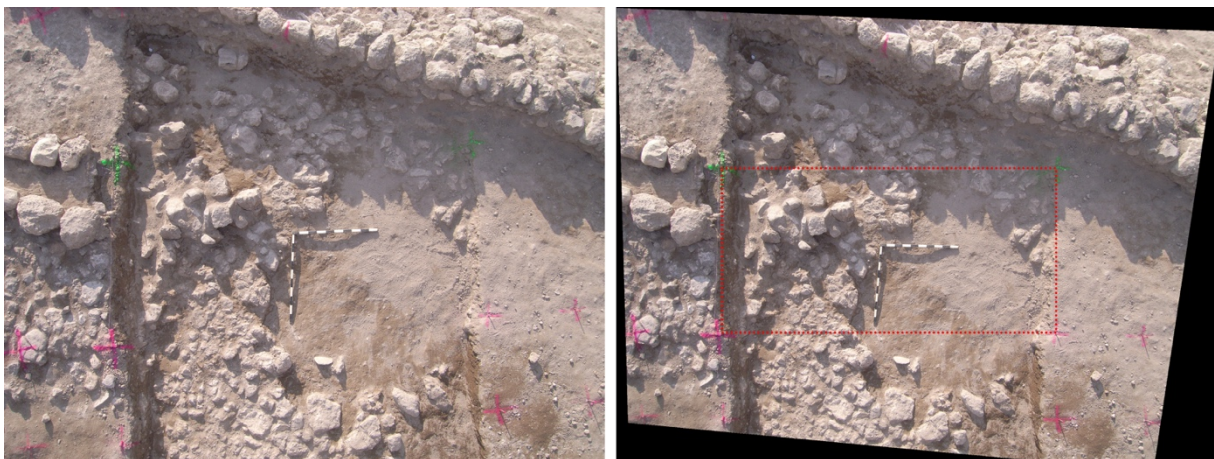


Abbildung 5.2: „Giraffenaufnahme“ (links nicht entzerrt, rechts entzerrt auf das eingezeichnete Rechteck)¹³¹

¹³⁰ Jedenfalls war dies auf den Grabungen auf dem *Tall Zirā'a* so. Es wurde in bis zu 29 Quadranten gleichzeitig gearbeitet.

¹³¹ Das Rechteck entspricht nicht dem Grabungsquadranten. Es wurde so gewählt, dass die Punkte in einer Ebene liegen, damit die zweidimensionale Entzerrung funktioniert. Copyright: BAI/DEI.

Nach der Feldarbeit werden die Bilder entzerrt. Dazu kann auf spezialisierte Software zurückgegriffen werden.¹³² Eine maßstabslose, aber korrekte Entzerrung gelingt ebenso in *Adobe Photoshop*. Auch die GIS-Software *QGIS* (siehe Kapitel 6.4), bietet Entzerrungsfunktionen an. Auf einem Farbdrucker ausgedruckt, stehen dann die Senkrechtfotos den Schnittleitern zur Verfügung. Diese können auf den Fotos die Befunde und Befundzusammenhänge am Nachmittag nach der Grabung während der Nacharbeit zu ihrer Dokumentation markieren.

Dieser Arbeitsablauf liefert eine realistische und lückenlose fotogrammetrische Dokumentation. Dafür steigt allerdings der technische Aufwand. Die Fotos müssen zeitnah entzerrt werden. Ein Drucker wird auf der Grabung benötigt, um die entzerrten Fotos den Arealleitern zur Verfügung zu stellen.

Dennoch, verglichen mit dem zeitlichen Aufwand für die Erstellung von Feldzeichnungen ist der Zeitgewinn für die Grabung insgesamt beträchtlich. Üblicherweise wird die Senkrechtfotografie und die Entzerrung durch einen Techniker durchgeführt werden. Die Archäologen können sich auf die Grabungsarbeit konzentrieren.

Auch die Informationsdichte steigt, da die Senkrechtfotos, im Gegensatz zu Handzeichnungen, täglich von jedem Ausgrabungsquadrant gemacht werden können. Hier liegt einer der großen Vorteile dieses Vorgehens. Es entstehen so viele Dokumentationsebenen, dass man bei der Aufarbeitung der Grabung man „fast wie in einem Daumenkino“ sich tageweise durch den Grabungsfortschritt bewegen kann. Unklarheiten beim Text der Dokumentation können so auch noch im Nachhinein geklärt werden.

Ein prinzipbedingter Nachteil bei diesem Verfahren liegt allerdings darin, dass das Verfahren nur auf eine Ebene korrekt entzerrt. Dinge die „dahinter“ liegen – d.h. aus der Ebene herausragen – werden zu klein gemessen, Objekte davor zu groß. In der Grabungsarchäologie wurde das Verfahren deshalb häufig für Aufnahmen von Plana in Grabungsschnitten verwendet. Ist ein Planum eben, ist die Methode gut anwendbar. Leider sind in der Biblischen Archäologie die Plana aufgrund der im Nahen Osten verwendeten Steinarchitektur selten eben.

¹³² Im BAI/DEI wurde dazu die Software *PhotoPlan*, die speziell für die Bauaufnahme im Denkmalschutz entwickelt wurde, eingesetzt.

Um diese Probleme zu umgehen, wurden mehrere Entzerrungsebenen für ein Foto gerechnet. Dabei entstanden Ergebnisse, die stets die handgefertigten Zeichnungen bei weitem an Informationskraft übertrafen, doch technisch noch nicht vollständig befriedigten.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass die notwendige Hardware für dieses Verfahren, vor allem die Videobrille, nicht für die strapaziösen Umweltbedingungen einer Grabung in der südlichen Levante mit Hitze und Staub ausgelegt war. Mehrfach mussten Reparaturen während einer Grabungssaison durchgeführt werden (Brüche von Kabeln). Wenigstens im Consumer-Bereich war aber etwas Robusteres nicht zu finden. So blieb dieses Verfahren auch immer anfällig.

5.4 Fotogrammetrie mit *Structure-from-Motion*

Einen entscheidenden Fortschritt in der Fotogrammetrie gab es mit der Etablierung der *Structure-from-Motion*-Technik. Die Idee und der Begriff *Structure-from-Motion* stammt aus den siebziger Jahren.¹³³ Das Prinzip beruht auf folgender Beobachtung: Bewegt man sich um ein Objekt herum und nimmt man dieses aus genügend unterschiedlichen Perspektiven auf, so kann man die dreidimensionale Gestalt des Objektes aus den Bildern rekonstruieren. Entscheidend dabei ist, dass man dieselben Teile des Objektes, z.B. Mauerkanten, auf verschiedenen Bildern aus unterschiedlicher Blickrichtung identifizieren kann. Dieses Grundproblem blieb lange ungeklärt. Erst im Jahr 2004 konnte David G. Lowe mit dem SIFT-Algorithmus eine robuste und befriedigende Lösung vorlegen.¹³⁴ In der Folge entstanden Programmpakete, die das *Structure-from-Motion* Problem erfolgreich anwandten und ab Ende des Jahrzehnts gab es auch vermehrt kommerzielle Anwendungen.

In der Archäologie findet häufig die Software *Metashape* (früher *Photoscan*) der Firma *Agisoft* Anwendung. Neben der Zuverlässigkeit ist hier auch der günstige Preis für die nichtkommerzielle (wissenschaftliche) Verwendung relevant.¹³⁵

¹³³ Ullman/Brenner 1979.

¹³⁴ Lowe 2004.

¹³⁵ Z.B. Brandolini/Patrucco 2019.

Heutzutage wird der Begriff Fotogrammetrie und *Structure-from-Motion* in der Archäologie fast austauschbar verstanden. Mittlerweile findet man *Structure-from-Motion*-Algorithmen schon in Mobilgeräten der Firma *Apple*, im Nahbereich unterstützt von einem LiDAR-Scanner¹³⁶. Diese Funktionalität in einem Mobilgerät eröffnet wiederum neue digitale Anwendungen (Digitale Transformation).¹³⁷

Erste Tests mit der *Structure-from-Motion*-Technik wurden auf dem *Tall Zirā‘a* schon ab 2010 unternommen. So wurden z.B. Modelle einzelner Mauern erstellt. Auch ein Modell des gesamten Tells konnte mit Fotos der damals neu eingeführten Drohne erstellt werden. Diese Aufnahmen blieben allerdings erst einmal Stückwerk. Für die gesamte Grabungsdokumentation waren sie zu aufwändig und konnten nur detailbezogen überzeugen. Die bewährte Technik der Senkrechtfotografie wurde bis zum Ende der letzten Grabungskampagne 2011 durchgeführt. Das Potenzial der neuen Methode war allerdings schon damals sichtbar.¹³⁸ In den Projekten am Zionsberg und ebenso in Tiberias setzte sich diese Form der Fotogrammetrie ab 2021 durch.

Dabei werden die Fotos in Tiberias mit der Drohne aufgenommen, auf dem Zionsberg in Jerusalem vom Boden aus (terrestrisch). Das liegt daran, dass der Zionsberg zur Drohnenflugverbotszone über der Altstadt von Jerusalem gehört. Eine Aufnahme mit Flugkörpern ist also nicht möglich.¹³⁹

5.4.1 Dimensionsbestimmung – Die Notwendigkeit von Passpunkten

Beim sogenannten *Sifting* nach Lowe¹⁴⁰ werden die Positionen und die Perspektive einer bestimmten Anzahl von Fotos eines Objektes relativ zueinander bestimmt. Daraus lässt sich ein 3D-Modell des Objektes erstellen. Dieses ist jedoch ohne Vergleichsgröße in den

¹³⁶ Ein LiDAR-Scanner (*Light Detection and Ranging*) ist ein Sensor, der mit (unsichtbaren) Laserstrahlen Entfernungen zwischen Sensor und einem reflektierenden Objekt messen kann. Der in *Apple-iPhone-Pro* Geräten seit der Generation 12 eingebaute Sensor hat Auflösung von 576 Pixeln und eine Reichweite von bis zu 5 m. Siehe Luetzenburg et al. 2021, Tamimi 2022 und Vogt et al. 2021.

¹³⁷ Siehe dazu Luetzenburg et al. 2021.

¹³⁸ Der Autor hat 2015 einen Vortrag *Biblical Archaeology and Archaeomathematics in Northern Jordan* auf einer Konferenz in Jerusalem gehalten, der die Möglichkeiten und die Praktikabilität von *Structure-from-Motion* für die Grabungsdokumentation diskutierte.

¹³⁹ Die Drohnen des Marktführers *DJI* kontrollieren über das Internet ihren Startpunkt auf Flugverbote und verweigern den Start. – Siehe <https://www.dji.com/global> (abgerufen am 10.08.2024).

¹⁴⁰ Lowe 2004.

Fotografien dimensionslos. Daher ist es unabdingbar, am Objekt ein Maß zur Skalierung zu nehmen.

Handelt es sich bei dem aufzunehmenden Objekt um einen Teil der Erdoberfläche, z.B. ein Grabungsschnitt, so werden üblicherweise Passpunkt in Lage und Höhe vermessen. Mit drei Passpunkten kann man die Lage und Größe der Aufnahme bestimmen. Mit mehr Passpunkten sind Fehler- und Ausgleichsrechnung möglich. Die genaue Zahl von Passpunkten hängt von der Größe des Aufnahmebereiches ab. Bei den Dimensionen der Grabung von Tiberias in einer Größe ca. 600 qm kommt man im Allgemeinen mit sechs bis zwölf Passpunkten gut aus.¹⁴¹ Die erreichbare Genauigkeit liegt dabei innerhalb der für die Archäologie akzeptablen Größen von 2 cm in der Lage und 4 cm in der Höhe.¹⁴²

5.4.2 Terrestrische und drohnengestützte Fotogrammetrie

Grundsätzlich können die notwendigen Aufnahmen zu Erstellung eines 3D-Modells einer Flächengrabung von einer Drohne aus¹⁴³ als auch vom Boden aus als auch gemacht werden. Nur im Ausnahmefall muss man bei einer drohnengestützten Aufnahme noch Fotos vom Boden ergänzen, wenn der Sichtbereich der Drohne keinen vollständigen Einblick auf jeden Grabungsbereich erlaubt. Die Entscheidung zwischen diesen beiden Methoden hängt im von verschiedenen Faktoren ab, die im Folgenden beschrieben werden.

Nicht überall ist die Verwendung einer Drohne erlaubt. Im urbanen Umfeld, wie zum Beispiel in Jerusalem, ist sind Drohnen grundsätzlich verboten. Neben der rechtlichen Frage ist die Nutzung einer Drohne bei vorhandenen Hindernissen problematisch. Zu diesen Hindernissen gehören Gebäude, Bäume aber auch die Sicht versperrende Büsche und andere Objekte, die entweder den Flug oder die Sicht behindern.

Jedes Objekt, das dreidimensional aufgenommen werden soll, muss von mehreren Perspektiven aufgenommen werden, damit ein dreidimensionales Modell rekonstruiert werden kann.¹⁴⁴ Die Anzahl und Richtungen können bei Drohnenaufnahmen sehr gut

¹⁴¹ Die gewünschte Auflösung bestimmt die Anzahl der benötigten Passpunkte. Man kann als Daumenregel annehmen, dass man für 1 cm / Pixel alle 100 m Passpunkte benötigt. Zur Grabungsaufnahme sind 0,2 cm / Pixel schon sehr hochauflösend. Damit würde alle 20 m ein Passpunkt benötigt werden. Siehe <https://www.jouav.com/blog/ground-control-points.html> (abgerufen am 31.07.2024).

¹⁴² Iheaturu et al. 2020.

¹⁴³ Vgl. Smith et al. 2014.

¹⁴⁴ Agisoft 2024, S. 10f.

vorgeplant werden. Bei Aufnahmen „aus der Hand“ vom Boden aus ist der Dokumentierende auf sich selbst gestellt. Dabei haben sich folgende Prinzipien bewährt:

- Der aufzunehmende Bereich wird systematische von einem Ende zum anderen durchlaufen.
- Bei routinemäßigen Aufnahmen sollten möglichst immer die gleiche Route abgelaufen werden.
- Wenn Zweifel entstehen, ob ein Objekt schon aufgenommen wurde, sollten einfach mehr Fotos aufgenommen werden. Einerseits steigt der Rechenaufwand quadratisch mit der Anzahl der Fotos, andererseits sind fehlende Fotos auf einer Grabung praktisch kaum nachzuholen.

Bei terrestrischen Aufnahmen hat man im Allgemeinen einen geringen Aufnahmeabstand. Daher ist die erreichbare Auflösung der errechneten Modelle und mithin der Orthofotos sehr hoch. Für die Verwendung als Grundlage der archäologischen Dokumentation hat sich eine Auflösung von 0,5 cm/px als in der Praxis ausreichend herausgestellt. Diese wird bei der Verwendung aktueller Kameras oder Smartphones (Auflösung von 12 Megapixel oder höher) um ein Mehrfaches übertroffen.

Bei Drohnenaufnahmen ist das Vorgehen weitgehend durch die Erstellung eines Flugplanes automatisiert. Es wird ein Raster zweimal in Zick-Zack-Linien abgeflogen: das erste Mal in Längsrichtung, das zweite Mal in Querrichtung. Die Kamera wird in einem Winkel von 70 Grad ausgerichtet und Fotos mit einer Überlappung von 80\% aufgenommen.¹⁴⁵ Die erreichbare Auflösung hängt dann von der Höhe der Drohne über Grund ab.

Für die im DEI verwendete Drohne¹⁴⁶ wird eine Flughöhe von 15 m verwendet. Einerseits ist dies höher als Bäume und Überlandleitungen vor Ort in Tiberias. Andererseits liegt dann die erreichbare Auflösung des Orthofotos bei 5 mm x 5 mm pro Pixel.¹⁴⁷ In Tiberias konnte 2023 mit diesen Parametern die Grabungsfläche in einem Rechteck von 76 m x 47 m in ca. 20 Minuten täglich abgeflogen werden. Es wurden dabei jeweils 401 Fotos gefertigt.

¹⁴⁵ Agisoft 2024, S. 10.

¹⁴⁶ Die vom BAI/DEI verwendete Drohne *Anafi* der Firma *Parrot* besitzt eine Kamera mit einem 20 Megapixel-Sensor.

¹⁴⁷ Laut der Aufnahme-Software Pix4Dcapture der Firma Pix4D.

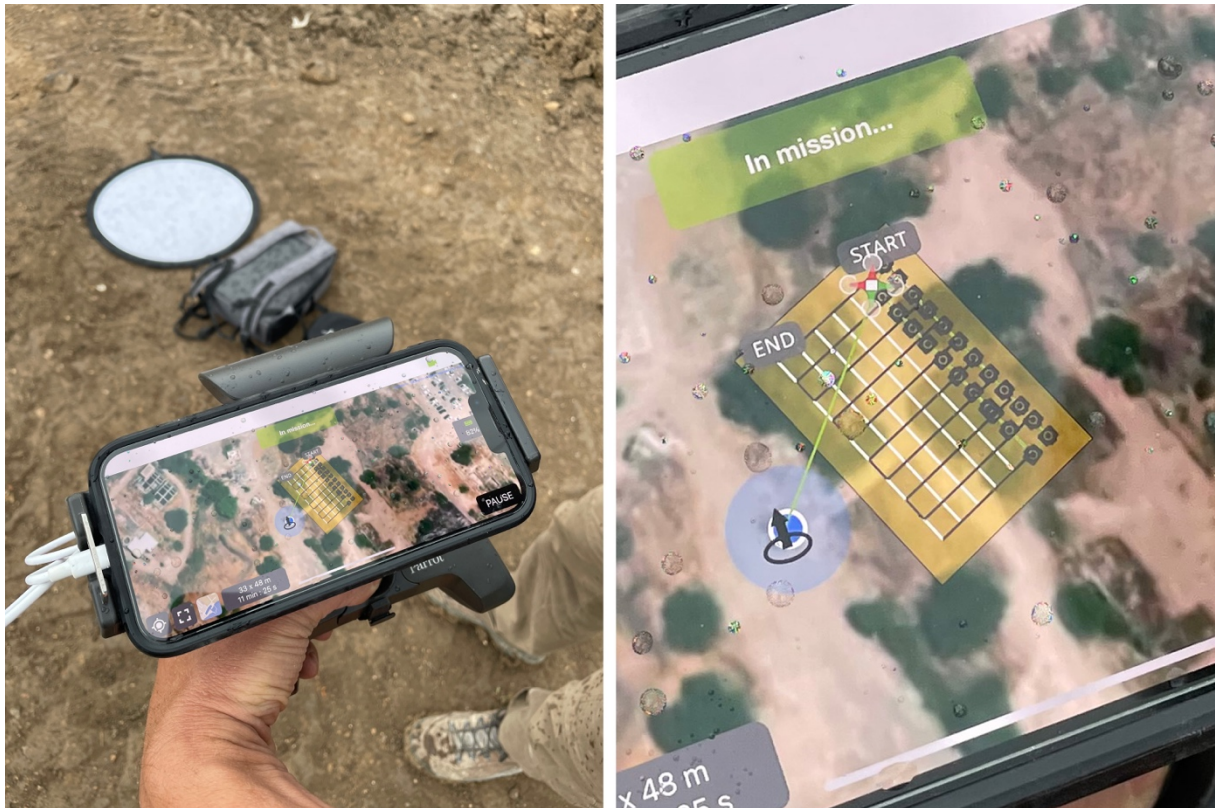


Abbildung 5.3: Drohnenfernsteuerung mit Flugplan¹⁴⁸

Die Vor- und Nachteile der drohnengestützten gegenüber der terrestrischen Fotogrammetrie lassen sich, liegen auf der Hand: Drohnenflüge lassen sich vorprogrammieren und sind deutlich schneller in der Durchführung. Bei mehrfachen Wiederholungen, wie bei der täglichen Aufnahme der Grabung, werden konsistente Ergebnisse erzielt. Andererseits müssen alle Personen den ganzen aufzunehmenden Bereich verlassen, damit sie nicht von der Drohne aufgenommen werden und wichtige Befunde verdecken.

Dieses Problem kann man bei der terrestrischen Aufnahme, also aus der Hand, besser steuern. Immer nur der dokumentierte Bereich muss von Menschen und Werkzeug freigeräumt werden. Die Aufnahmen dauern allerdings länger, da der/die Fotograf/in den Aufnahmebereich „begehen“ muss. Dazu ist auch eine gewisse Erfahrung nötig, um die Objekte aus ausreichend verschiedenen Perspektiven aufzunehmen.

Für beide Methoden gilt, dass die Passpunkte, so wünschenswert es wäre, im Grabungsalltag nicht über einen längeren Zeitraum fixiert bleiben. Dazu ist das Grabungsgeschehen zu dynamisch und die mit langen Nadeln befestigten Passpunkte zu leicht

¹⁴⁸ Copyright: BAI/DEI.

versehentlich zu bewegen. Folglich müssen die Passpunkte täglich neu ausgelegt und eingemessen werden.

5.4.3 Fotogrammetrie und Laserscanning

Als Alternative zur dreidimensionalen Aufnahme großer Grabungsflächen kommt auch das Laserscanning infrage. Ein Laserscanner ist ein um alle Achsen drehbarer Laserentfernungsmesser.¹⁴⁹ Auf einem Stativ befestigt kann der Laserscanner die von seinem Standpunkt aus sichtbaren Oberflächen (bis zu einer Maximalentfernung) in einer Punktwolke aufnehmen. Folglich sind immer mehrere Standpunkte notwendig, um eine große Grabungsfläche aufzunehmen. Gemeinsame Passpunkte, die jeweils von mehreren Standpunkten aus sichtbar sind, erlauben das Zusammensetzen der verschiedenen Punktwolken.¹⁵⁰

Aufgrund des Messprinzips Laserentfernungsmessers ist die Genauigkeit und die Auflösung der dreidimensionalen Punktwolke deutlich höher als beim Einsatz der Fotogrammetrie mittels *Structure-from-Motion*. Demgegenüber steht der wesentlich höhere Kostenaufwand für die Laserscanner.¹⁵¹

Auch ein erhöhter Aufwand im Feld liegt vor, da der zu scannende Bereich möglichst personenfrei bleiben muss und daher an diesem nicht weitergearbeitet werden kann.

Aufgrund dieser Nachteile wird die *Structure-from-Motion*-Technik für die archäologische Grabungsdokumentation beim BAI/DEI deutlich bevorzugt.

5.4.4 Genauigkeit fotogrammetrischer (Höhen)modelle

Bevor die Fotografien für ein 3D-Modell aufgenommen werden, müssen wie oben geschildert, Passpunkte gelegt werden. Diese werden über den Rand der Grabungsareale verteilt und eingemessen. Dabei ist die Messung der Passpunkte mit dem RTK-GNSS auch fehlerbehaftet. Dieser Fehler addiert sich zu einem „Modellfehler“. Die Genauigkeit der

¹⁴⁹ Manchmal ergänzt durch eine Kamera zur Farbaufnahme.

¹⁵⁰ Vgl. Lindstaedt et al. 2007.

¹⁵¹ Preise für kommerzielle Laserscanner, z.B. *Faro Focus*, liegen im fünfstelligen Euro-Bereich. Bei der *Structure-from-Motion*-Technik muss in der Regel in keine Hardware investiert werden, da jede handelsübliche Digitalkamera (auch Smartphone-Kameras) ausreichend sind. Die Lizenz für *Agisoft Metashape* kostet für die kommerzielle Nutzung \$ 3499 (Stand: August 2024).

Höhenmessung eines RTK-GPS liegt bei 15 mm + 1 ppm je nach Abstand zur Referenz.¹⁵² Verringern kann man diesem Fehler, indem die Modelle über weitere Referenzpunkte immer in der Höhe angeglichen werden. Aus praktischen Gründen dient dabei das erste Modell als Referenz. Daran werden die weiteren Modelle in der Höhe angepasst, um eine Konsistenz der Höhenmodelle zu erreichen.¹⁵³

Um praktisch die Genauigkeit der Höhenmodelle zu bestimmen, wurde während der Grabung in Tiberias im Jahr 2023 die gleichen Passpunkte (und die gleichen Koordinaten) über eine Woche verwendet. Damit spielt der Fehler der RTK-GNSS-Messung keine Rolle mehr. Die verschiedenen Höhenmodelle erreichten eine Abweichung von ca. 3 cm zueinander. Damit sind die Höhenmodelle für der archäologischen Praxis genau genug und man kann sie sinnvoll auch für nachträgliche Höhenmessungen einsetzen (siehe Kapitel 8.5.3).¹⁵⁴

Handgezeichnete Pläne in gängigen Maßstäben von 1:20 oder 1:25 erreichen eine Genauigkeit (Standardabweichung) von 8–10 cm.¹⁵⁵ Während die Genauigkeit von Orthofotos von Grabungsarealen, wie sie im BAI/DEI erstellt werden, bei 1–3 cm liegen.¹⁵⁶ Damit ist die digitale Umzeichnung aus Orthofotos der klassischen Handzeichnung klar überlegen.

5.5 Eingesetzte Fotogrammetrie-Software – *Agisoft Metashape*

Für die Erstellung der 3D-Modelle, Orthofotos und Höhenmodelle aus den aufgenommenen Fotos und Passpunkten wird eine geeignete Fotogrammetrie-Software benötigt. Neben der Kernfunktionalität, der Erstellung der 3D-Modelle mit der *Structure-from-Motion*-Technik, ist vor allem die Georeferenzierung des Modells mittels Passpunkten eine notwendige Aufgabe. Dazu sollten auch „Werkzeuge“ für die Manipulation der Modelle, wie Ausschneiden, Zusammenfügen oder Bereinigen in der Software vorhanden sein. Ziel war es eine einzige Software als Standard für die Verwendung im BAI/DEI zu etablieren. Das macht die Modelle besser vergleichbar und sichert langfristige Konsistenz.¹⁵⁷

¹⁵² Siehe z.B. https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_kinematic_positioning (abgerufen am 10.05.2024).

¹⁵³ Vgl. Goetz et al. 2018 und Haala/Wolff 2009.

¹⁵⁴ Vgl. Kersten/Lindstaedt 2020.

¹⁵⁵ Prins et al. 2014, S. 193.

¹⁵⁶ Olson et al. 2013, S. 257; Prins et al. 2014, S. 193; Quartermaine et al. 2014, S. 116.

¹⁵⁷ Pell et al. 2022.

Als freie Software, welche die Georeferenzierung beherrscht, wurde vom BAI/DEI ODM (*Open Drone Map Toolkit*) mit der Benutzeroberfläche *WebODM* evaluiert.¹⁵⁸ Das Interface zur Markierung und Eingabe der Passpunkte ist kompliziert, eine kostenpflichtige Erweiterung (*GCP Editor Pro*¹⁵⁹) ist nur graduell benutzerfreundlich. Werkzeuge zur Bearbeitung des Modells existieren in der Software gar nicht. Die Berechnung der Modelle benötigte in ODM mehr als die doppelte Zeit als bei den unten evaluierten kommerziellen Lösungen.¹⁶⁰

Die Nutzung dieser Software erweist sich damit als nicht effektiv für den (zeitkritischen) Einsatz auf Grabungen, insbesondere im Hinblick auf die folgenden kommerziellen Angebote.

*RealityCapture*¹⁶¹ ist eine kommerzielle Fotogrammetrie-Software. Alle Forderungen an die Funktionalität werden erfüllt. Die Software setzt aber einen Windows-PC mit einer Grafikkarte der Firma *NVIDIA* voraus, was für den Einsatz im BAI/DEI nachteilig ist, da im Wesentlichen Desktop-Computer von *Apple* mit dem Betriebssystem *macOS* eingesetzt werden.

Im Jahr 2020 wurden von *RealityCapture* auch für akademische Zwecke laufende Lizenzkosten verlangt. Inzwischen (Juli 2024) ist die Software für den akademischen Gebrauch kostenfrei. Dennoch wird am BAI/DEI auf den Einsatz dieser Software, wegen der fehlenden Unterstützung von *macOS* verzichtet.

Damit blieb die Software *Agisoft Metashape* – ein weiteres kommerzielles Produkt für die Fotogrammetrie, das auf der *Structure-from-Motion*-Technik basiert. Das BAI/DEI setzt diese Software seit ihrem Erscheinen 2010 erfolgreich ein. Alle geforderten Funktionalitäten werden unterstützt.¹⁶² Die Software ist auf Windows, *macOS* und auf Linux-Distributionen lauffähig. Die Lizenz pro Arbeitsplatz für akademischen Gebrauch beläuft sich auf eine Einmalgebühr von 500,- €. ¹⁶³

¹⁵⁸ Siehe <https://www.opendronemap.org/webodm/> (abgerufen am 31.07.2024).

¹⁵⁹ Siehe <https://uav4geo.com/software/gcpeditorpro> (abgerufen am 31.07.2024).

¹⁶⁰ Für Evaluationen siehe Burdziakowski 2017 und <https://peterfalkingham.com/2020/07/10/free-and-commercial-photogrammetry-software-review-2020/> (abgerufen am 31.07.2024).

¹⁶¹ Siehe <https://www.capturingreality.com/> (abgerufen am 31.07.2024).

¹⁶² Agisoft 2024.

¹⁶³ Stand: Mitte 2024.

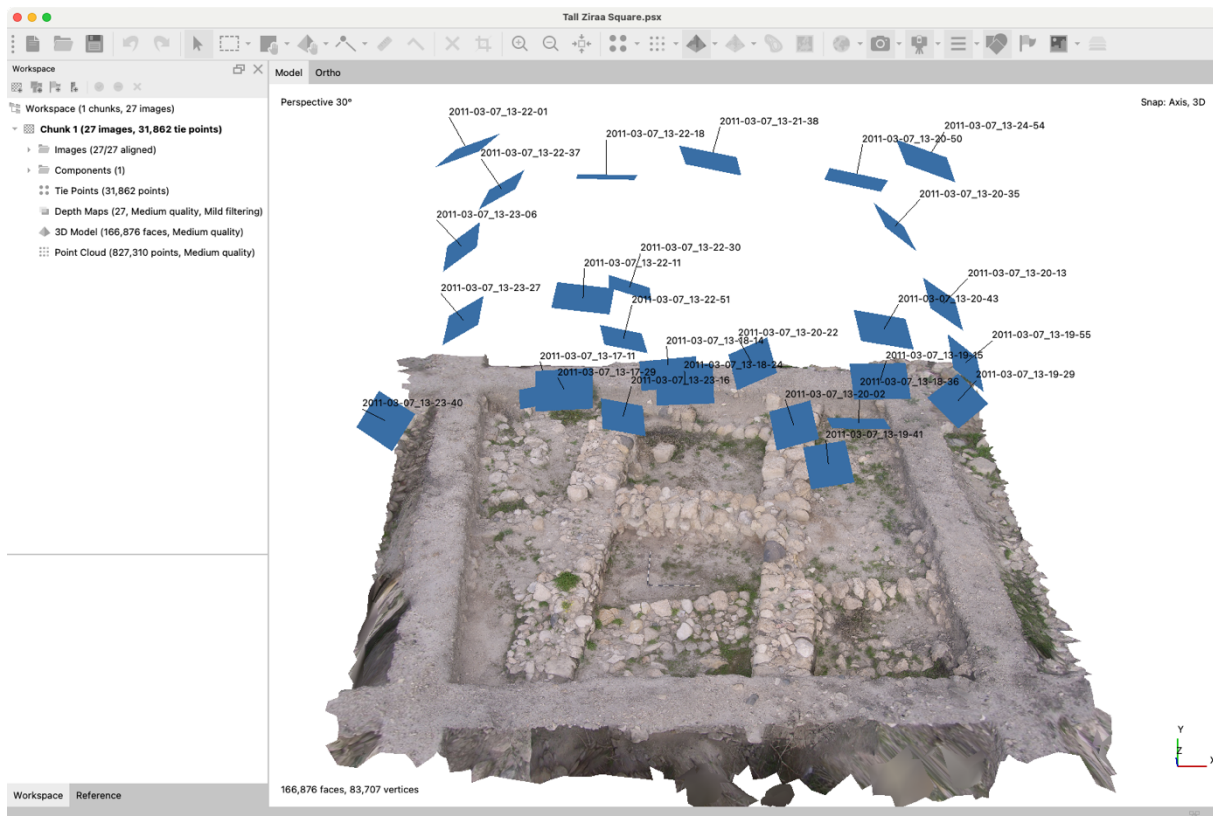


Abbildung 5.4: Erstellen eines 3D-Modells mit der Software *Agisoft Metashape*¹⁶⁴

5.6 Ergänzung: Retrospektiver Einsatz der Fotogrammetrie

Ab 2011 wurden Flüge mit einer Drohne über den *Tall Zirā'a* gemacht und auch 3D-Modelle mit Hilfe der *Structure-from-Motion*-Technik erstellt. Davor wurden Luftbilder des *Tall Zirā'a* von einem Wetterballon aus aufgenommen, der vom Boden über ein Seil geleitet wurde (siehe Abbildung 3.2).

Für die Fotos wurde die Intervallfunktion der Digitalkamera verwendet und alle fünf Sekunden eine Aufnahme ausgelöst. Aus diesem Grund liegen sehr viele überlappende Fotos der Grabung auf dem *Tall Zirā'a* vor, die während der jeweiligen Aufnahmetage gefertigt wurden. Diese konnten für die 3D-Modellierung des Grabungsplatzes nutzbar gemacht werden, so dass für die Grabung auch 3D-Modelle aus früheren Jahren vorliegen. Da keine speziellen Passpunkte vorlagen, wurden Messpunkte der Grabung, die wiedererkennbar waren, verwendet.

¹⁶⁴ Copyright: Autor.

Folglich liegen auch für die Jahre vor 2011 erstaunlich gute Aufnahmen 3D-Modelle der Grabung vom *Tall Zirā'a* vor. Wenn sie auch nicht für die Erstellung der Grabungspläne mehr verwendet werden können, da die Endpublikation längst abgeschlossen ist, so können sie doch zur Visualisierung eingesetzt werden.

Möglich wurde all das, weil die *Structure-from-Motion-Technik* eine reine softwarebasierte Innovation darstellt. Neue Hardware war nicht notwendig.

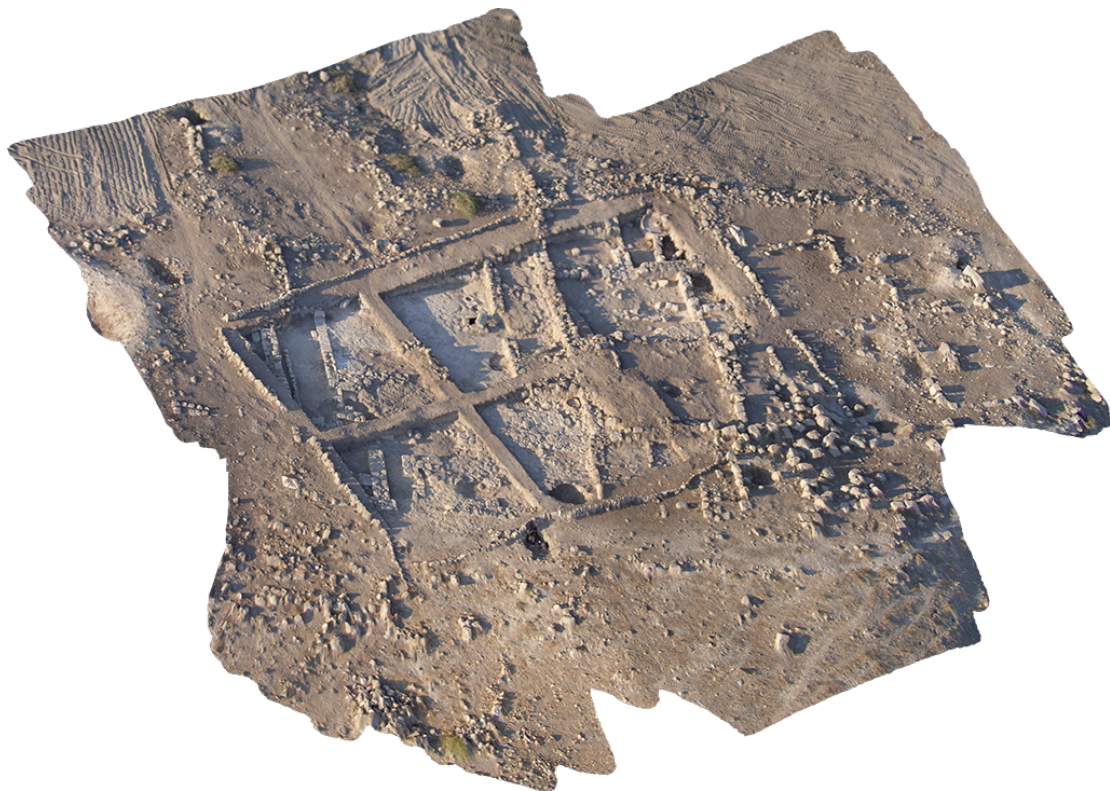


Abbildung 5.5: 3D-Modell von Areal III im Sommer 2008¹⁶⁵

5.7 Fazit

Mit der *Structure-from-Motion-Technik* steht ein universelles Werkzeug für die dreidimensionale Erfassung zur Verfügung. Für die Archäologie ergeben sich mehrere Vorteile:

- Es können Objekte von kleinen Funden (wenige Zentimeter Durchmesser) bis hin zu ganzen Grabungen (hunderte Quadratmeter) dreidimensional aufgenommen werden.

¹⁶⁵ Copyright: BAI/DEI.

- Es wird keine besondere Hardware für den Einsatz benötigt. Grundlage sind digitale Fotos. Dabei können diese auch von kleinen Sensoren, wie in Drohnen oder Smartphones kommen.
- Berechnung der Modelle erfolgt auf handelsüblichen Computern.¹⁶⁶
- Die Ausführung kann durch eine einzelne Person erfolgen, die allerdings die Expertise in dieser Technik mitbringen muss.
- Die Aufnahme erfolgt in der Regel sehr schnell. Insbesondere beim Einsatz einer Drohne kann eine ganze Grabung innerhalb weniger Minuten erfasst werden.
- Die 3D-Modelle besitzen eine Genauigkeit, die für die archäologischen Einsatzbereiche ausreichend ist.

Damit verursacht diese Methode nur wenige Kosten.¹⁶⁷ Dem geringen Aufwand stehen große Vorteile gegenüber, sodass diese für die archäologische Arbeit des BAI/DEI ohne Alternative ist.

5.8 Exkurs: Evaluation drohnengestützter Fotogrammetrie zur 3D-Darstellung, Vermessung und archäologischen Evaluierung von Ortslagen

5.8.1 Einführung

Die Vermessung (bzw. Bauaufnahme¹⁶⁸) größerer archäologischer Fundorte gehört zu den verbreiteten Aufgaben von Archäologen-Teams. Gründe dafür können die Vorbereitung archäologischer Arbeiten bzw. deren Dokumentation sein. Natürlich kann die Bauaufnahme auch der Vorbereitung von restauratorischen Arbeiten oder der Sicherungen des Gebäude-/Ruinenbestandes dienen. Ohnehin sind zur Erstellung von Plänen (Aufrissen) und topografischen Karten, aber auch von 3D-Darstellungen für die wissenschaftliche Literatur¹⁶⁹, für Reiseführer oder für die populäre Vermarktung genaue Angaben zum Gebäudezustand notwendig.¹⁷⁰

¹⁶⁶ Geschwindigkeitsgewinn wird durch eine schnelle Grafikkarte erreicht.

¹⁶⁷ Die im BAI/DEI eingesetzte Drohne *Parrot Anafi* kostet als Komplettsystem mit drei Akkus ca. 1000,- Euro.

¹⁶⁸ Vgl. Wood 2015, Busen 2017.

¹⁶⁹ Vgl. Ducke et al. 2021.

¹⁷⁰ Vgl. Parrinello/Bursich 2019. Für eine Diskussion zur nachhaltigen Verfügbarkeit von 3D-Daten siehe Richards-Risotto/von Schwerin 2017.

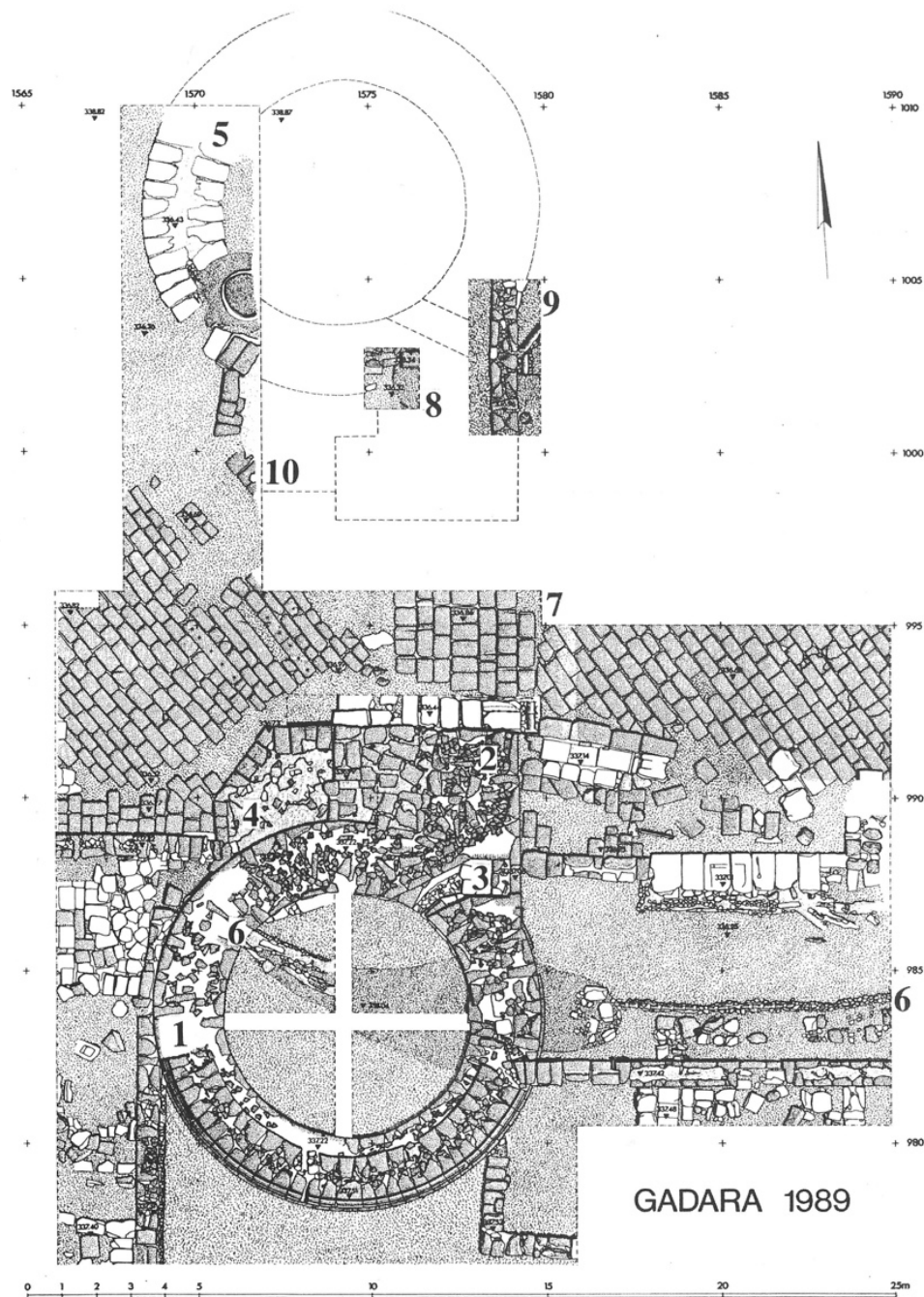


Abbildung 5.7: Beispiel einer Bauaufnahme mit Rekonstruktion:
Das ältere Bogenmonument in *Umm Qēs*¹⁷¹

Die Arbeit bei ausgedehnten Orten mit sichtbaren Architekturresten ist mit klassischen Vermessungsmethoden, wie mit einer Totalstation oder mit einem RTK-GNSS, aufwändig und zeitintensiv. Gerade in hier können fotogrammetrische Aufnahmen mit Hilfe von Drohnen eine enorme Zeitersparnis bringen. Außerdem sind die aufgenommenen 3D-Modelle auch nachträglich investigativ nutzbar. Fragen, die bei Auswertung später

¹⁷¹ Weber 2002, Abb. 48.

aufkommen, können bei einem vollständig aufgenommenen archäologischen Ort unter Umständen noch im Nachhinein überprüft werden.

Der geringe Zeitaufwand bei niedrigen Technikkosten macht es auch möglich, die Aufnahmen häufiger zu wiederholen, sodass diese Methode zur Dokumentation der fortschreitenden Zerstörung und des Zerfalls eingesetzt werden kann. In der Vorbereitung von Grabungsanträgen ist die großflächige Übersicht über den archäologischen Ort in aktuellem Stand von großem Nutzen.

Dadurch dass bei der Fotogrammetrie die hochauflösenden Fotos auf die Modelle projiziert werden, erhält man insbesondere bei den Orthofotos, seien es Plan oder Aufriss, detailreiche Darstellung. Nachteilig ist die etwas geringere Genauigkeit dieser Modelle gegenüber den mit z.B. terrestrischen Laserscannern erstellten Punktwolken. Beide Methoden können sich daher ergänzen.¹⁷²

Um die Praktikabilität, die erreichbare Qualität und auch den notwendigen Zeitaufwand für den Einsatz in der südlichen Levante abzuschätzen, wurden zwischen Juli und September 2021 vier Orte mit der fotogrammetrischen Methode exemplarisch aufgenommen.

Das erste Modell wurde von dem Wüstenschloss *Ḥirbat al-Minya* erstellt (siehe Kapitel 5.8.3). *Ḥirbat al-Minya* liegt am nordwestlichen Ende des Sees Genezareth in der Nähe von Tabgha. Es handelt sich um einen umayyadischen Palast, der in mamlukischer Zeit als *Ḥan*¹⁷³ Wiederverwendung fand. Die Anlage ist in einem vergleichsweise guten Zustand. Das macht sie für eine fotogrammetrische Aufnahme interessant.

Das subtropische Klima mit der entsprechenden Vegetation am See Genezareth bedingt aber, dass die Ruinen teilweise überwachsen sind. Dies macht den Ort interessant für eine technisch-methodische Frage: Inwieweit kann die Architektur trotz des Bewuchses sichtbar gemacht werden? Außerdem konnte noch ein weiteres Problem geklärt werden. Die Frage nach dem korrekten Zeitpunkt für die Drohnenflüge im Tagesablauf. In *Ḥirbat al-Minya* wurden morgens und mittags zu verschiedenen Uhrzeiten Aufnahmen gemacht, um die beste Lichtsituation für Drohnenaufnahmen zu eruieren.

¹⁷² Siehe Bouziani et al. 2021.

¹⁷³ Kleineres Gasthaus, zumeist ohne Innenhof.

Der Winterpalast des Herodes in Jericho (*Tulul Abu al-‘Alayiq*) aus dem 1. Jh. v. Chr. – ausgegraben von Ehud Netzer – wurde wegen der großen Ausdehnung der Anlage als zweites Beispiel ausgewählt (Kap. 5.8.4). Diese erstreckt sich über beide Seiten des *Wādī al-Qilt* und besitzt mit dem hügelartigen Südkomplex einen mit klassischen Methoden sehr aufwändig zu vermessenden Bereich.

Die Festung Hyrkania liegt in der judäischen Wüste zwischen Jerusalem und dem Toten Meer auf einer Bergkuppe (Kap. 5.8.5). Als Festungsanlage datiert sie in die hasmonäische und herodianische Zeit. Wiederbenutzt wurde der Ort als Kloster in der spätantiken bis in die frühislamische Zeit. Die Ortslage diene als weiteres Exempel, weil der Allgemeinzustand der archäologischen Überreste hier äußerst schlecht ist. Eine fortgesetzte Dokumentation des Verfalls, insbesondere der Hangbereiche, scheint notwendig.

Die Dokumentation mit klassischen Verfahren vom Boden aus wäre hier schon eine besondere Herausforderung. Die extravagante Lage auf einer Bergkuppe in der Wüste bringen für jede Art der Aufnahme einen Extraaufwand mit sich, da der Ort nur zu Fuß zu erreichen ist.

Der vierte aufgenommene Ort ist das Severianus-Kloster, *Ḥirbat ad-Dēr*; eine Klosterruine in der judäischen Wüste zwischen Hebron und dem Toten Meer (Kap. 5.8.6). Die Anlage befindet sich in und an einem engen Seitental des *Nahal Arugot* weit außerhalb moderner Siedlungen. Die Ruinen erstrecken sich sowohl durch das Wadi als auch über den anliegenden Hügelrücken. Damit stellt dieses Beispiel die drohnengestützte Fotogrammetrie, bei denen man üblicherweise in einem Raster in *einer* Höhe über dem Aufnahmebereich fliegt, vor besondere Probleme, da verschiedene Bereiche nicht aus der Luft einsehbar sind. Notwendig wurde deshalb ein hybrides Vorgehen bei der automatisierten Flüge durch manuelle Flüge und auch durch Aufnahmen vom Boden aus ergänzt werden mussten.

5.8.2 Methodik

Für die Erstellung der Fotos wurde eine *Parrot Anafi* eingesetzt. Die Kamera der Drohne hat eine Auflösung von 4608 x 3456 Pixel (16 Megapixel) mit einem horizontalen Bildwinkel von 75,5°. Der Sensor ist vom CMOS-Typ mit 1/2,4 Zoll Größe. Die maximale Flugzeit der

Drohne beträgt ca. 25 Minuten. Zur Flugplanung wurde *Pix4Dcapture* der Firma *Pix4D*¹⁷⁴ auf einem *Apple iPhone 11* eingesetzt. Alle Aufnahmen entstanden in einem Raster, das ein zweites Mal kreuzweise, um 90° gedreht, abgeflogen wurde. Die Kamera war um 70° zum Horizont geneigt. Die Überlappung der Bilder betrug 80%.¹⁷⁵ Geflogen wurde in 30 m Höhe über dem Startpunkt wodurch sich eine ungefähre Auflösung von ca. 1 cm/Pixel ergibt.¹⁷⁶

Durch die kreuzweise Befliegung wird erreicht, dass jedes Objekt aus vier Richtungen fotografiert wird. Die Kamera wird nicht senkrecht nach unten ausgerichtet, sondern schräg ungefähr in der Mitte zwischen senkrecht (90°) und horizontal (45°). Dann kommt man ungefähr auf einen Winkel von 70°. Damit erreicht man, dass die vertikalen Objekte, wie Mauern, auch von der Seite aufgenommen werden können. Da für die Fotogrammetrie jedes Detail aus mehreren Perspektiven aufgenommen werden muss, sollen sich die Fotos überlappen. Bei 80% Überlappung erhält man jedes Objekt auf fünf aufeinanderfolgenden Bildern. Die Auflösung des Fotos in cm/Pixel errechnet sich aus der Aufnahmeentfernung, dem horizontalen Bildwinkel und der horizontalen Pixelzahl. Mit 1 cm/Pixel erreicht man erfahrungsgemäß eine gute Auflösung, die auch für eine Planerstellung ausreichend ist. Die 30m Höhe beim Überfliegen wurden so gewählt, dass die Auflösung gerade diesen 1 cm/Pixel erreicht (siehe dazu die folgende Abbildung 5.8).

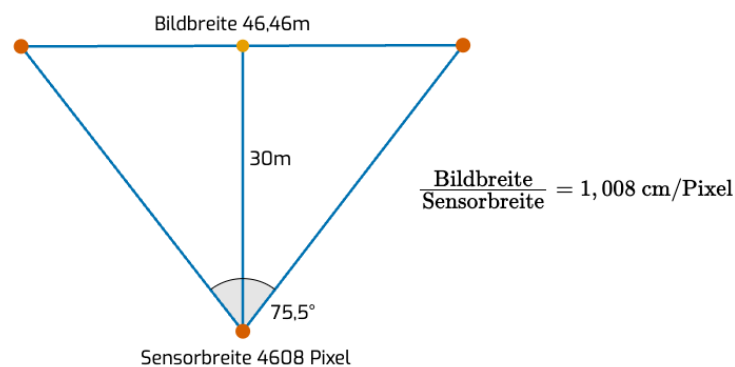


Abbildung 5.8: Skizze zur Berechnung der Aufnahmeauflösung¹⁷⁷

¹⁷⁴ Die Firma *Pix4D* gehört zur *Parrot*-Gruppe, die auch die im BAI/DEI eingesetzte Drohne *Anafi* herstellt. *Pix4Dcapture* wurde im Herbst 2023 durch *Pix4Dcapture Pro* ersetzt. Insbesondere wurde mit diesem Schritt ein neues Lizenzmodell etabliert. Die im BAI/DEI verwendeten Funktionen sind weiterhin kostenlos verfügbar.

¹⁷⁵ Für Hinweise zur Qualitätssicherung von Orthofotos siehe auch Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland 2024.

¹⁷⁶ Zur Berechnung siehe Abbildung 5.8.

¹⁷⁷ Copyright: Autor.

Die Modelle wurden mittels Passpunkten georeferenziert. Die Vermessung erfolgte mit einem *Emlid Reach RS2*. Die Korrekturdaten entstammen dem Korrekturnetz der Firma Eli Etke. Deren Korrekturberechnung erfolgt in der *Emlid RS2*-Antenne. Als Vermessungssoftware kam *Microsurvey FieldGenius for Android* auf einem Tablet (*Samsung Galaxy Tab Active 2*) zum Einsatz.

Für die Erstellung der Modelle wurde *Agisoft Metashape* genutzt. Die Georeferenzierung erfolgte in *Metashape*. Die Standardeinstellungen („mittlere Qualität“) wurden in allen Schritten genutzt. Das erstellte Modell wurde als Modell, Punktwolke und als Orthofoto exportiert.¹⁷⁸

Aufgrund der Größe der aufgenommenen Bereiche bestanden die Punktwolken aus vielen Millionen Pixel. Um diese effektiv in über das Internet in einem Browser darstellen zu können, wurde die Open-Source Software *Potree*¹⁷⁹ eingesetzt. Diese erlaubt die interaktive Darstellung großer dreidimensionaler Punktwolken über das Internet. Damit kann das Objekt auch dreidimensional in einem Webbrowser veröffentlicht werden und steht der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur weiteren Nutzung zu Verfügung.

5.8.3 Ein „Wüstenschloss“ am See Genezareth (*Hirbat al-Minya*)

Einführung

Hirbat al-Minya ist ein umayyadischer Palast am nordwestlichen Ende des Sees Genezareth in der Nähe von Tabgha. Der Palast wurde im frühen 8. Jahrhundert n. Chr. während der Herrschaft des Umayyaden-Kalifen al-Walid I. (705–715 n. Chr.) oder seines Nachfolgers al-Walid II. (743–744 n. Chr.) errichtet. Es ist eines von zwei frühislamischen Wüstenschlössern, das sich auf israelischem Staatsgebiet befindet. Der Bautyp entwickelte sich aus spätantiken Wehrkastellen, den Zentralhofkastellen oder Quadriburgus.¹⁸⁰ Sichtbar wird dies bei *Hirbat al-Minya* an dem rechteckigen beinahe quadratischen Grundriss und den vorspringenden Wehrtürmen. Wegen der luxuriösen Außen- und Innenausstattung in Dekor kann man bei den Wüstenschlössern, wie gerade auch in *Hirbat al-Minya*, auch einen repräsentativen Charakter der Anlagen annehmen.

¹⁷⁸ Vgl. Agisoft 2024.

¹⁷⁹ Siehe <https://potree.org> (abgerufen am 28.07.2024).

¹⁸⁰ Khouri 1988, S. 4f.

Die Palastbau hat eine Größe von ca. 67 x 73 m und ist nahezu perfekt Ost-West ausgerichtet. Das Hauptportal befindet sich auf der Ostseite.

Die Anlage umfasst einen Palast, eine Moschee und ein Badehaus. Die Innenarchitektur von *Ḥirbat al-Minya* ist durchaus luxuriös. Komplizierte ornamentale Wand- und Fußbodenmosaiken finden sich großen Teilen des Palastes. Der „Thronsaal“ war mit einem Marmorboden und einer Marmorwandverkleidung bis in 2 m Höhe ausgestattet.

Der Palast wurde nach einem schweren Erdbeben im Jahr 749 n. Chr. aufgegeben. Eine Wiederbesiedlung fand in der späten Mamlukenzeit (13.-15. Jahrhundert) statt. Dann wurde das Gebäude und aufgrund seiner Lage als *Ḥan* (Karawanserei) genutzt.



Abbildung 5.9: *Ḥirbat al-Minya*, Eingangstor¹⁸¹

Ḥirbat al-Minya blickt auf eine lange Forschungsgeschichte zurück. Die ersten systematischen Ausgrabungskampagnen wurden von der Görres-Gesellschaft ab 1932 unternommen. Die Ausgräber Andreas Evaristus Mader (erste Kampagne 1932), Alfons Maria Schneider (zweite Kampagne 1936)

¹⁸¹ Copyright: Autor.

und Oswin Puttrich-Reignard (dritte Kampagne 1937, vierte Kampagne 1937/38, fünfte Kampagne 1938/39) legten insgesamt die Hälfte der Palastanlage frei. Dabei wendete sich deren Interpretation von der ursprünglichen Vermutung eines römischen Kastells hin zur Identifizierung als umayyadische Palastanlage. 1959 fand eine Ausgrabung durch ein amerikanisch-israelisches Team unter der Leitung von Oleg Grabar statt, der den Grundriss ergänzen und die Nachnutzung in mamlukischer Zeit nachweisen konnte.

Die Aufarbeitung der Funde dieser Grabungen gelang erst in den 90er Jahren durch Markus Ritter, Franziska Bloch und Anja Dreiser. 2005 wurde eine Grabung von Miriam Rosen-Ayalon und Katia Cytryn-Silverman von der Hebrew University Jerusalem durchgeführt. Hans-Peter Kuhnen (Universität Mainz) führte 2016 eine Grabungskampagne durch. Dabei standen auch konservatorische Maßnahmen in seinem Fokus.

Ausgewählte Literatur: Bloch 2006, Dreiser 2006, Helmecke 2005, Kuhnen 2016, Kuhnen/Bloch 2014, Kuhnen et al. 2018, Ritter 1994, Ritter 2012, Ritter 2016, Ritter 2017, Rosen-Ayalon/Cytryn-Silverman 2005.

Eine besondere Herausforderung für *Hirbat al-Minya* ist, dass das Wüstenschloss in der Nähe des Seeufers hinter einer Ferienanlage liegt. Die Anlage ist weder vollständig eingezäunt, noch ist der Zugang gesichert. Eine museale Präsentation gibt es nicht. So ist die Ruine der Vegetation, den unkontrolliert agierenden Besuchern sowie dem natürlichen Verfall schutzlos ausgeliefert. Eine regelmäßige Beurteilung des Zustandes durch ein schnelles und günstiges Verfahren wie die Fotogrammetrie könnte hier helfen, das Bewusstsein für notwendige Gegenmaßnahmen zu wecken.

Modell

Die Aufnahmen wurden am 01.07.2021 zwischen 13.01 und 13.59 Uhr gemacht. Die gesamte Aufenthaltsdauer am Ort betrug ca. 2 Stunden.

Auf gleiche Weise wurden am Morgen und am Vormittag des 31.07. sowie am Morgen des 01.07.2024 Aufnahmen gemacht. Dies geschah, um den bestmöglichen Zeitpunkt, an dem die meisten Details im Modell sichtbar werden, festgestellt werden sollte. Es kann festgestellt werden, dass die Sichtbarkeit der Architektur zur Mittagszeit deutlich besser ist als am Morgen (siehe Abbildung 5.11). Dies entspricht den Erfahrungen bei der Senkrechtfotografie von Grabungen (siehe Kapitel 5.3). Daher wurde bei den weiteren Orte dieses Projektes jeweils die Mittagszeit als Aufnahmezeitfenster gewählt.

Flug	Bilder	Zeit
1a	277	20 Minuten
1b	20	3 Minuten
2	247	18 Minuten
3	87	8 Minuten
Gesamt	631	49 Minuten

Tabelle 5.1: Aufgenommene Bilder für *Ḥirbat al-Minya*. Der erste Flug konnte erst nach einem Akkutauch beendet werden

Die gesamten 631 Bilder wurde für die Erstellung des Modells herangezogen. Sechs Passpunkte wurden eingemessen. Das Modell besteht aus 25 969 108 Punkten, 674 659 Kanten und 1 344 118 Flächen.

Die Webansicht des Modells ist einsehbar unter: <https://potree.bai-wuppertal.de/mi-nye.html>.



Abbildung 5.10: Modell von *Ḥirbat al-Minya*¹⁸²

¹⁸² Copyright: BAI/DEI.

5.8 Exkurs



Abbildung 5.11: Orthofotos von *Hirbat al-Minya* (links morgens, rechts mittags)¹⁸³

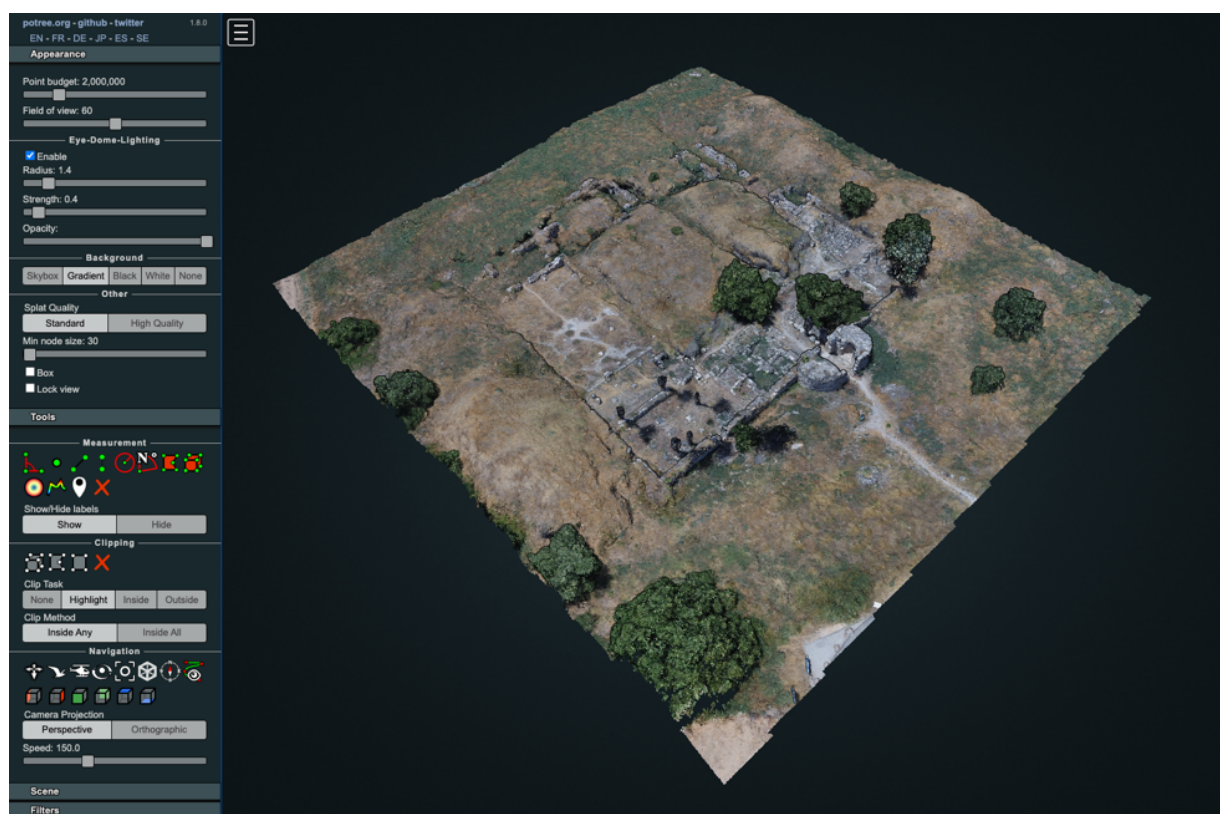


Abbildung 5.12: *Hirbat al-Minya* in der Webansicht¹⁸⁴

¹⁸³ Copyright: BAI/DEI.

¹⁸⁴ Copyright: BAI/DEI.

5.8.4 Der Herodespalast in Jericho (*Tulul Abu al-‘Alayiq*)

Einführung

Der Palast des Herodes in Jericho, auch bekannt als Winterpalast des Herodes, befindet sich etwa 2 km südlich vom *Tall as-Sultan* am westlichen Rand des modernen Jericho. Der Komplex wurde von Herodes dem Großen um 35 v. Chr. erbaut und war als luxuriöser Rückzugsort während der Wintermonate gedacht. Der Palast blieb bis zum jüdischen Aufstand gegen Rom 66–70 n. Chr. in Betrieb. Die Anlage befand sich in unmittelbarer Nähe der älteren hasmonäischen Paläste.

Der Komplex liegt günstig nahe der üppigen Oase von Jericho und profitiert vom reichlich vorhandenen Wasser der Quellen des *Wādī al-Qilt*, die durch Kanäle schon in der Antike dorthin geleitet wurden. Er verfügte über eine Reihe von Annehmlichkeiten, darunter palastartige Repräsentationsgebäude, Innenhöfe, einen Paradiesgarten und einen Badekomplex. Die Anlage überspannte die Schlucht des *Wādī al-Qilt*, wobei eine heute nicht mehr vorhandene Brücke die Abschnitte am nördlichen und südlichen Ufer verband.

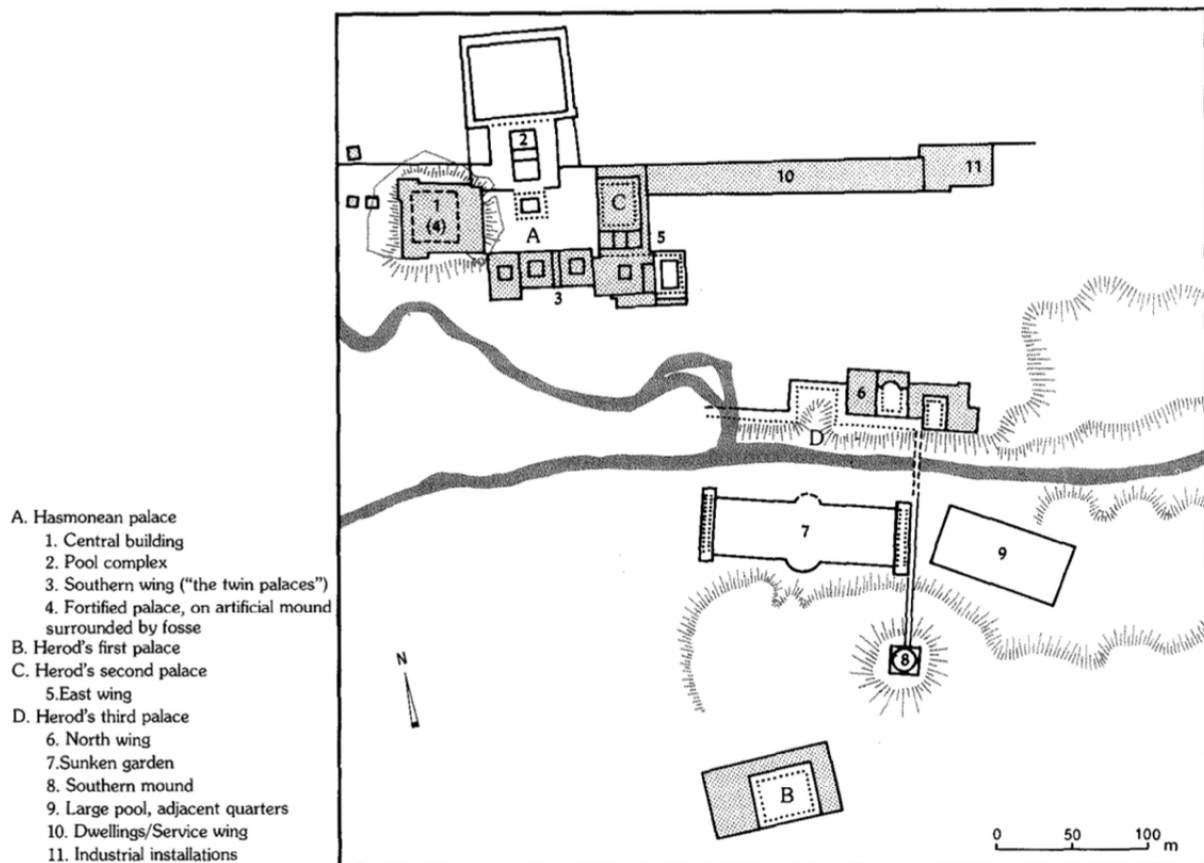


Abbildung 5.13: Übersichtsplan des Herodespalastes in Jericho¹⁸⁵

Schon Charles Warren und Ernst Sellin haben 1868 bzw. 1909/1911 Testschnitte an dem südlich des *Wādī al-Qilt* gelegenen Schutthügel angelegt. 1950/51 wurden zwei amerikanische Grabungskampagnen durchgeführt, wobei James B. Pritchard 1951 den ersten Palast des Herodes – ganz in der Nähe von *Tulul Abu al-‘Alayiq* – ausgrub. Der Großteil des sog. „Dritten Palastes“ nördlich des südlichen des Wadis wurde durch Ehud Netzer von der *Hebrew University Jerusalem* nach dem Yom Kippur-Krieg 1973 ausgegraben (1973 bis 1987).

Ausgewählte Literatur: Bar-Nathan 2001, Bar-Nathan/Gärtner 2013, Netzer 2001, Netzer 2004, Pritchard 1952, Rozenberg 2008.

Die Aufnahmen konzentrieren sich auf den Nord- und Südflügel des sog. dritten Palastes von Herodes der durch eine Brücke über das *Wādī al-Qilt* verbunden war.

Im nordwestlich des Palastes gelegenen Teil, dem zweiten Palast des Herodes und den hasmonäischen Vorgängerbauten, wurde zurzeit der Datenaufnahme ausgegraben. Daher musste von einer Befliegung dieses Bereiches abgesehen werden.

¹⁸⁵ Netzer 1993, S. 682.

Die weitläufige Anlage ist mit konventionellen Vermessungsmethoden vom Boden aus nur sehr aufwändig aufzunehmen. Der Einsatz einer Drohne erlaubt es hier den großen Geschwindigkeitsvorteil der drohnengestützten Fotogrammetrie zu demonstrieren.

Modell

Die Aufnahmen wurden am 18.09.2021 zwischen 13.08 und 14.02 Uhr gemacht. Insgesamt dauerte der Aufenthalt vor Ort ca. 3 Stunden. Für das 3D-Modell sind 586 Fotos in drei Flügen aufgenommen worden.

<i>Flug</i>	<i>Anzahl Bilder</i>	<i>Flugzeit</i>
1	276	20 Minuten
2	53	9 Minuten
3	257	19 Minuten
Gesamt	586	48 Minuten

Tabelle 5.2: Aufgenommene Bilder für den Herodespalast in Jericho

Alle 586 Bilder konnten für die Erstellung des 3D-Modells herangezogen werden. Dabei wurden 14 Passpunkte eingemessen. Das Modell besteht aus 47 190 986 Punkten, 4 229 101 Kanten und 8 451 100 Flächen.

Die Webansicht des Modells findet sich unter der Internetadresse <https://potree.bai-wuppertal.de/herodjericho.html>.



Abbildung 5.14: Modell des dritten Palastes des Herodes
(links Nordteil, rechts Südteil)¹⁸⁶

¹⁸⁶ Copyright: BAI/DEI.

5.8 Exkurs



Abbildung 5.15: Orthofoto des dritten Palastes der Herodes
(links Nordteil, rechts Südteil)¹⁸⁷



Abbildung 5.16: Dritter Palast des Herodes in der Webansicht¹⁸⁸

¹⁸⁷ Copyright: BAI/DEI.

¹⁸⁸ Copyright: BAI/DEI.

5.8.5 Die Festung Hyrkania (*Hirbat al-Mird*)

Einführung

Hyrkania, auf Arabisch auch als *Hirbat al-Mird* bekannt, ist eine antike Festung in der jüdischen Wüste, etwa 16 km östlich von Jerusalem entfernt und 5 km westlich von Qumran oberhalb des Hyrkania-Tals gelegen. Die Anlage überzieht eine Bergspitze und erstreckt sich auf eine Fläche von ca. 150 x 100 m.

Hyrkania wurde wahrscheinlich vom hasmonäischen Herrscher Johannes Hyrkanos I. (135–104 v.Chr.) oder seinem Sohn Alexander Jannäus (103–76 v. Chr.) errichtet. Die Anlage diente nach Flavius Josephus der Königin Salome Alexandra (76–67 v. Chr.) als Schatzkammer. Die Festung wurde 57 v. Chr. von den Römern zerstört und später von König Herodes dem Großen (37–4 v. Chr.) wiederaufgebaut und auch als Gefängnis genutzt. Nach dem Tod des Herodes wurde Hyrkania aufgegeben. In byzantinischer Zeit fand eine Wiederbesiedlung des Ortes statt, als dort 492 n.Chr. ein Kloster namens *Kastellion* vom Mönchsvater Sabas gegründet wurde. Eine Ikone im Kloster *Mar Saba* weist noch auf eine Nutzung bis in das Jahr 1355 hin.¹⁸⁹ Neben der eigentlichen Festungsanlage ist auch die Wasserversorgung mit 21 Zisternen und Aquaedukten besonders hervorzuheben.

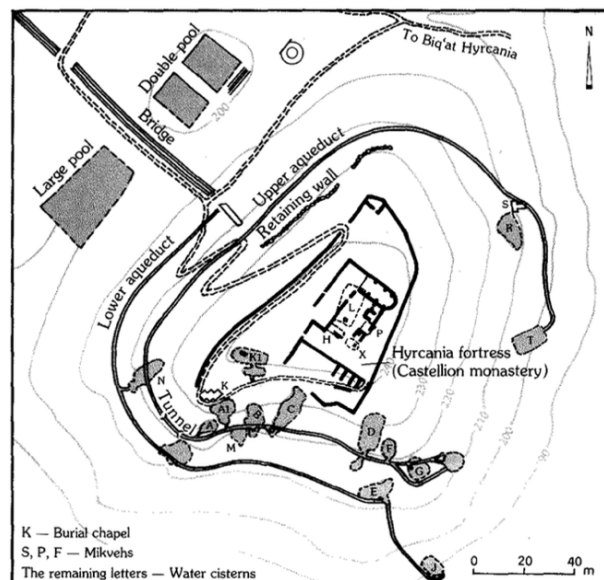


Abbildung 5.17: Plan der Festung Hyrkania¹⁹⁰

¹⁸⁹ Patrich 1993, S. 641.

¹⁹⁰ Patrich 1993, S. 640.

Die ersten Grabungen auf dem *Hirbat al-Mird* fanden 2023 unter der Leitung von Oren Gutfeld, Michal Haber und Stephen Humphreys als Projekt der Hebrew University Jerusalem statt.¹⁹¹ Bis dahin gab es nur Untersuchungen im Rahmen von Surveys. In einem Survey unter der Leitung von G.R.H. Wright wurde die Anlage 1960 untersucht und vollständig vermessen.

Ausgewählte Literatur: Garbrecht/Netzer 2001, Patrich 1993, Netzer 2006, Wright/Milik 1961.

Von der Architektur ist bis auf Grundmauern und Substruktionen wenig erhalten. Die exponierte Lage auf einer Bergkuppe setzt die Ruine der wetterbedingten Erosion aus. Der Komplex ist nicht gesichert. Nur der unwegsame Aufstieg erschwert den Zugang, der nur zu Fuß möglich ist. Auch hier erscheint wie bei *Hirbat al-Minya* eine Überwachung des Zustandes durch drohnengestützte Fotogrammetrie zumindest bedenkenswert – gerade auch wegen der topografisch exponierten Lage und der fortwährenden Zerstörung durch Beduinen und Touristen.

Modell

Die Aufnahmen wurden am 11.09.2021 zwischen 13.51 und 14.37 Uhr gemacht. Die gesamte Aufenthaltsdauer auf Hyrcania betrug ca. 2 Stunden.

<i>Flug</i>	<i>Bilder</i>	<i>Zeit</i>
1	244	18 Minuten
2	128	21 Minuten
Gesamt	372	39 Minuten

Tabelle 5.3: Aufgenommene Bilder für die Festung Hyrcania

Alle 372 Bilder wurden für die Erstellung des Modells herangezogen. Sechs Passpunkte wurden eingemessen. Das Modell besteht aus 20 739 672 Punkten, 1 433 158 Kanten und 2 857 086 Flächen.

Die Webansicht des Modells findet sich unter der Internetadresse <https://potree.bai-wuppertal.de/hyrcania.html>.

¹⁹¹ <https://archaeology.huji.ac.il/news/hyrcania-fortress-excavation-project-dr-oren-gutfeld-and-michal-haber> (abgerufen am 31.07.2024).



Abbildung 5.18: Modell der Festung Hyrkania¹⁹²



Abbildung 5.19: Orthofoto der Festung Hyrkania¹⁹³

¹⁹² Copyright: BAI/DEI.

¹⁹³ Copyright: BAI/DEI.



Abbildung 5.20: Hyrkania in der Webansicht¹⁹⁴

5.8.6 Das Kloster Severianus (*Ḥirbat ad-Dēr*)

Einführung

Ḥirbat ad-Dēr, das heute als das Kloster Severianus identifiziert wird,¹⁹⁵ liegt in der jüdischen Wüste auf halbem Wege zwischen Hebron und dem Toten Meer. Die Klosteranlage erstreckt sich in einem 30 bis 60 m breiten Nebenwadi des *Naḥal ʿArūgōt* auf einer Länge von ca. 200 m.

Die Gründung des Klosters lässt sich anhand der Mosaik auf das späte fünfte oder das frühe sechste Jahrhundert n. Chr. datieren. Die Aufgabe des Klosters wird für das siebte Jahrhundert angenommen. Die Ruinen der Kirche, des Baptisteriums, des Refektoriums und der Küche mit angeschlossenen Vorratsräumen befinden sich im Wadi. Auf dem Berggrücken oberhalb der Nordseite des Wadis liegen die Wohnräume der Mönche. Die

¹⁹⁴ Copyright: BAI/DEI.

¹⁹⁵ Siehe Hirschfeld 1999 und auch <https://dig.corps-cmhl.huji.ac.il/Monasteries/khirket-ed-deir-severianus>.

Anlage war ummauert und besaß zwei Tore. Außerhalb der Anlage sind ein Klostergarten, eine große Zisterne und Sicherungsanlagen zu erkennen.

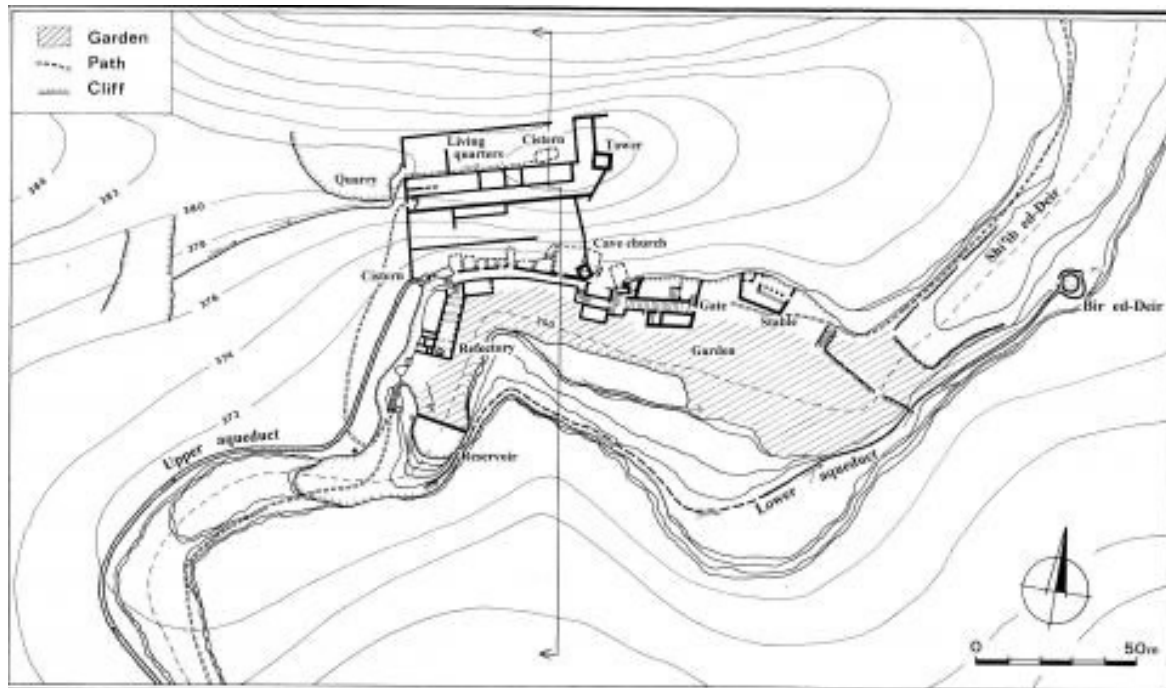


Abbildung 5.21: Übersichtsplan des Kloster Severianus¹⁹⁶

Der Fundplatz wurde schon 1873 durch Vermesser des Palestine Exploration Funds entdeckt. Die Identifizierung als byzantinisches Kloster gelang M. Marcoff und D. J. Chitty in den 1920er Jahren. Ausgrabungen fanden allerdings erst 1982–1987 unter der Leitung von Yitzhar Hirschfeld und Rivka Birger statt.

Ausgewählte Literatur: Marcoff/Chitty 1929, Di Segni/Hirschfeld 1987, Hirschfeld 1993, Hirschfeld 1999.

Von den exponierten Wohnquartieren sind nur Fundamentreste erhalten geblieben. Besser erhalten sind die Ruinen im Wadi-Bett. Dort werden Ruinen der teilweise in eine Höhle integrierten Kirche und des Refektoriums sichtbar. Direkt oberhalb des Refektorium-Küchen-Komplexes befindet sich ein modernes Wasserbecken, das der Lage nach einem antiken folgt. Damit befinden sich die archäologischen Überreste des Klosters auf unterschiedlichen Höhen, die teilweise nicht mit der Drohne einzusehen waren. Neben dem automatisierten Drohnenflug musste daher auch manuell geflogen werden. Zusätzlich wurden Aufnahmen vom Boden mit einer Digitalkamera gemacht.

¹⁹⁶ Hirschfeld 1999.

Modell

Die Aufnahmen wurden am 15.09.2021 zwischen 13.34 und 15.29 Uhr gemacht. Die gesamte Aufenthaltsdauer in *Ḥirbat ad-Dēr* betrug ca. 3 Stunden. Aufgrund der schwierigen Topographie eines engen Tales wurde der dritte Flug manuell gesteuert und die Modellerstellung durch vom Boden aus gemachte Aufnahmen ergänzt.

<i>Flug</i>	<i>Bilder</i>	<i>Zeit</i>
1	279	20 Minuten
2	259	19 Minuten
3	165	23 Minuten
Fotos vom Boden aus	150	12 Minuten
Gesamt	853	74 Minuten

Tabelle 5.4: Aufgenommene Bilder in *Ḥirbat ad-Dēr*

Von den 853 Aufnahmen konnten 834 in *Metashape* ausgerichtet werden. Sieben Passpunkte wurden eingemessen. Das Modell besteht aus 24 128 434 Punkten, 2 426 683 Kanten und 4 858 503 Flächen.

Die Webansicht des Modells findet sich unter der Internetadresse <https://potree.bai-wuppertal.de/deir.html>.

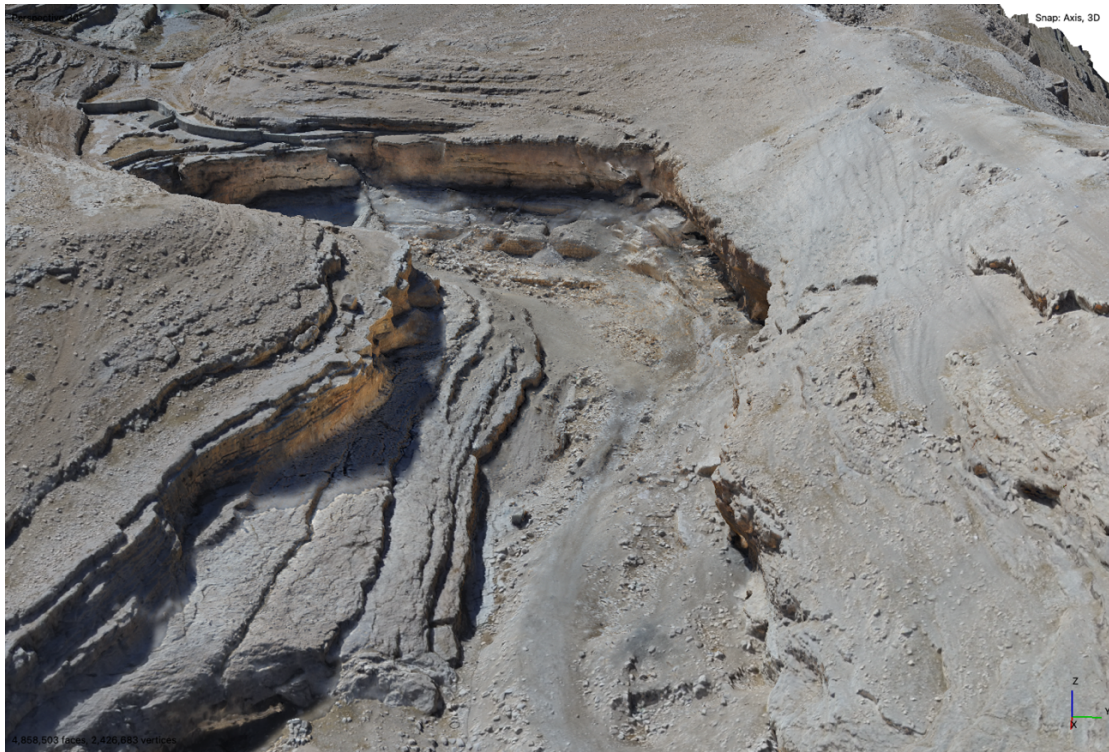


Abbildung 5.22: Modell des Kloster Severianus¹⁹⁷

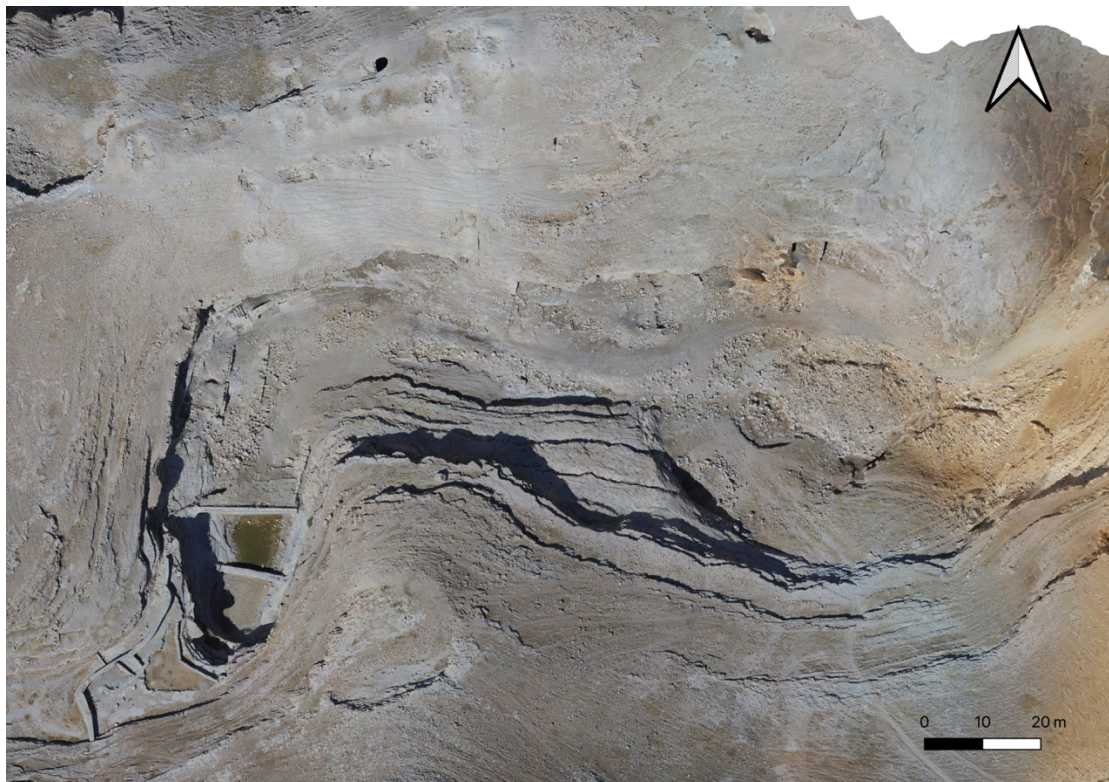
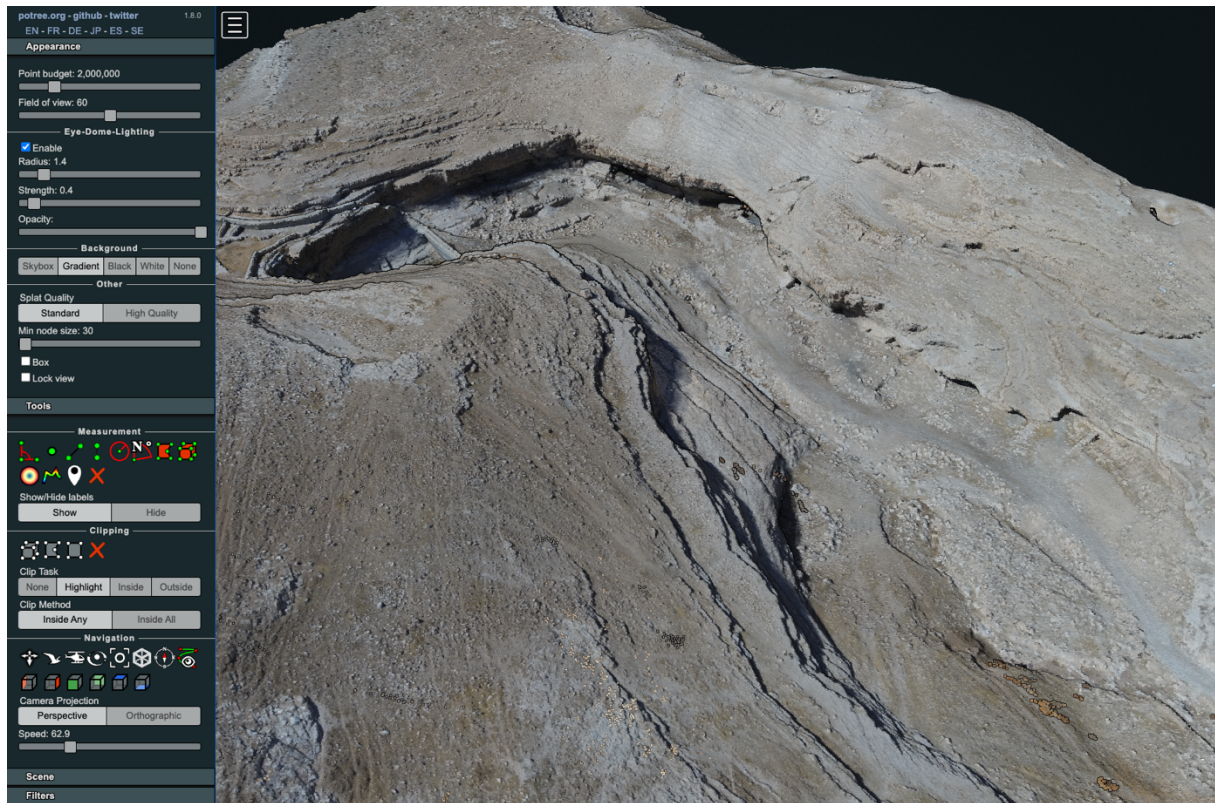


Abbildung 5.23: Orthofoto des Kloster Severianus¹⁹⁸

¹⁹⁷ Copyright: BAI/DEI.

¹⁹⁸ Copyright: BAI/DEI.

Abbildung 5.24: Kloster Severianus in der Webansicht¹⁹⁹

5.8.7 Nutzen und Nutzung

Alle Modelle, die jeweils in einem sehr begrenzten Zeitfenster von wenigen Stunden vor Ort erstellt wurden, erreichen eine Auflösung von 1 cm/Pixel. Die Genauigkeit ist bei ca. +/-2 cm horizontal anzunehmen. Dies erlaubt es, Übersichtspläne für die Orte mit der sichtbaren Architektur zu erstellen. Die Orthofotos sind georeferenziert, lassen sich also in einem GIS, wie die Grabungspläne im BAI/DEI, gleich in georeferenzierte Vektorpläne umzeichnen.

Damit können die entstandenen 3D Pläne in verschiedene Richtung weiterverwendet werden: Zuallererst entstehen übersichtliche Dokumentationen für den Betrachter. Große Anlagen lassen sich vom Boden aus nicht vollständig erfassen. Hier kann eine Übersicht für die Abschätzung des Baukomplexes und dessen Ausmaße nützlich sein (wiss. Publikationen, Reiseführer; Archive). Weitergehend lassen sich aus den fotogrammetrischen Daten, da sie vom Maß her korrekt sind, Grundpläne und Aufrisse erstellen. Wie im Kapitel 5.4 beschrieben, muss man hier die Grenzen der Auflösung des Modells von ca. 1 cm / Pixel beachten. Für Details sollten Extraaufnahmen in das System eingepflegt werden.

¹⁹⁹ Copyright: BAI/DEI.

Auch wenn man für einzelne Aufmaße oder Bereiche des Komplexes eine klassische (aufwändige) Methoden der Bauaufnahme bevorzugt, da sie höhere Genauigkeiten liefern können (evtl. notwendig für Baumaßnahmen), lohnt sich die schnelle und einfache Fotogrammetrie, um die speziellen Bereiche in einem größeren Plan zusammenzubinden. Im Hinblick auf restauratorische Aufgaben bzw. für die Feststellung von Konsolidierungsbedarf kann die Fotogrammetrie eine erste Diskussionsgrundlage bieten, da sie auch wiederholbar zu verschiedenen Zeitpunkten Übersichten liefern kann. Die Schadbereiche können dann wieder mit höherer Auflösung durch weitere aus der Nähe aufgenommene Fotos separat aufgenommen werden.

Eine hochaufgelöste Ansicht wie sie in Abbildung 5.25 zu sehen ist, kann mit herkömmlicher Fotografie gar nicht erreicht werden, da der ausgegrabene Bereich zu eng ist. So hilft die Fotogrammetrie mit wenig Aufwand Perspektiven herzustellen, die ohne ihren Einsatz nicht möglich wären.



Abbildung 5.25: Profildarstellung: Turm der Stadtmauer auf dem Zionsberg²⁰⁰

²⁰⁰ Copyright: BAI/DEI.



Abbildung 5.26: Turm der Stadtmauer auf dem Zionsberg²⁰¹

5.8.8 Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass die drohnengestützte Fotogrammetrie eine enorme Zeitersparnis für die Erstellung von Plänen großer archäologischer Orte mitbringt. Übersichtspläne der sichtbaren archäologischen Überreste sind ohne weiteres aus den Modellen zu erstellen. Aus konservatorischer Sicht ist das Verfahren zur schnellen und kostengünstigen Dokumentation des Verfalls von Bodendenkmälern praktisch sinnvoll einsetzbar. Die errechneten Modelle sind unmittelbar mit allen weiteren georeferenzierten Daten (Karten, Pläne, Modelle etc.) kombinierbar.

Für die Aufnahme spezieller Bereiche in hoher Auflösung müssen sich die Archäologen, Bauforscher oder Restauratoren mit den Techniken der Fotogrammetrie vorher verständigen.²⁰²

²⁰¹ Copyright: BAI/DEI.

²⁰² Vgl. Murtiyoso et al. 2018.

Der Aufwand für Detailaufnahmen bleibt auf die interessierenden Bereiche beschränkt. Das Modell in Abbildung 5.27 besitzt eine Auflösung von 0,1 cm/Pixel, also eine etwa zehnmal höhere Dichte als die üblichen Drohnenmodelle. Der große Daten- und Zeitaufwand²⁰³ begrenzt die praktische Anwendbarkeit auf ausgewählte Bereiche. Die hochauflösenden zu erfassenden Bereiche werden separat berechnet, lassen sich aber, da alle Daten georeferenziert sind, dann in das Übersichtsmodell integrieren.



Abbildung 5.27: Orthofoto eines Mosaiks auf dem Zionsberg, Jerusalem²⁰⁴

²⁰³ Der Berechnungsaufwand steigt mit dem Quadrat der Auflösung. Eine Erhöhung von 1 cm / Pixel auf 0,1 cm / Pixel bedeutet also den 100-fachen Zeitaufwand.

²⁰⁴ Copyright: BAI/DEI.

6 Pläne und Informationssysteme – Vom CAD zum GIS

6.1 *Computer-Aided Design* (CAD)

CAD-Systeme, wie z.B. das weitverbreitete *AutoCAD* der Firma *AutoDesk* werden seit langem in der Archäologie zur Erstellung jeglicher Pläne eingesetzt. Sie haben die Zeichnung mit Tusche auf Papier abgelöst.

Unter CAD wird „das rechnerunterstützte Erzeugen und Ändern [eines] geometrischen Modells“ verstanden.²⁰⁵ Anders ausgedrückt ist ein CAD-System eine Software für die Erstellung und Bearbeitung von geometrischen Zeichnungen (in zwei oder drei Dimensionen).

Folgende wichtige Merkmale kennzeichnen ein CAD-System:

- Es steht eine große Zahl an verschiedenen Zeichnungselementen zur Verfügung. Neben Punkt, Linie, Vieleck, Kreis und Oval können z.B. auch komplizierte Kurven erzeugt werden.
- Die korrekte Größe und Platzierung von Elementen, z.B. das Verbinden zweier Linien in einem genauen Winkel, wird in einem CAD-System durch viele Werkzeuge unterstützt.
- Die einzelnen Zeichnungselemente können in ihrem Aussehen (Farbe, Strichstärke oder Strichart) genau festgelegt werden.
- CAD-Systeme gibt es nicht nur für zweidimensionale Zeichnungen, sondern auch für dreidimensionale. In der Archäologie werden dreidimensionale CAD-Systeme z.B. für die Rekonstruktion von Gebäuden genutzt.

²⁰⁵ Siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/CAD> (abgerufen am 10.08.2024).

Aufgrund dieser Eigenschaften bietet sich CAD in der Archäologie zur Erstellung von Plänen an und wurde dementsprechend auch im Projekt *Tall Zirā'a* verwendet. Die (externen) Architekten nutzten dazu die markierten Senkrechtfotos als Grundlage und erstellten die Pläne in einem proprietären CAD-System²⁰⁶. Nach der Umzeichnung wurden unter anderem die Ober- und Unterkanten eingezeichnet, sowie die Befunde mit ihren Nummern beschriftet. Dieser Workflow lieferte verlässlich alle Pläne für die Grabungspublikation.

Mit einem CAD-System Grabungspläne zu erstellen, hat aber auch Nachteile:

- In CAD-Systemen wird in der Regel ein internes Koordinatensystem verwendet. Somit ist die Einbindung von externen georeferenzierten Informationen, z.B. Karten oder weiteren Grabungsplänen, nicht direkt möglich.
- Die gezeichneten Objekte besitzen keine Information, die sie mit den Einträgen der schriftlichen Dokumentation in der Grabungsdatenbank verbinden.

Aus dem zuletzt genannten Sachverhalt folgen gravierende Nachteile für den Arbeitsablauf. Wird beispielsweise ein Befund einem anderen Stratum zugeordnet als ursprünglich, so muss diese Änderung manuell in den Strata-Plänen nachvollzogen werden. Das Suchen nach Befunden in den Strata-Plänen geschieht manuell, da die Information in einem CAD-System nicht gespeichert wird.

Damit bleibt die Planerstellung mit CAD immer ein eigener, nur von Spezialisten zu erledigender und zeitintensiver Arbeitsablauf. Für das Ziel, möglichst viele Vorgänge in ein Grabungsinformationssystem zu integrieren (siehe Kapitel 3.1 und 3.2), musste eine andere Lösung gefunden werden. Daher wurden im BAI/DEI Geografische Informationssysteme in Betracht gezogen. Diese bieten gegenüber CAD-Systemen erhebliche Vorteile.

²⁰⁶ Es handelt sich um das CAD-System *Softtech Spirit*. Siehe <https://www.softtech.de/software/architektur-design/spirit-2d-3d-bim-cad> (abgerufen am 31.07.2024).

6.2 Geografische Informationssysteme (GIS)

„Geoinformationssysteme, Geographische Informationssysteme (GIS) oder Räumliche Informationssysteme (RIS) sind Informationssysteme zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Daten. Geoinformationssysteme umfassen die dazu benötigte Hardware, Software, Daten und Anwendungen.“²⁰⁷

Geografische Informationssysteme, die zunehmend zum Standard in der archäologischen Grabungspraxis werden,²⁰⁸ gehen hier weit über die CAD-Zeichnung hinaus. Alle Vektoren, das heißt die Elemente der Zeichnung, besitzen Weltkoordinaten. Damit gibt es zu deren Größe und Lage eine eindeutige Information. Externe georeferenzierte Informationen können folglich immer mit den eigenen Daten verbunden werden. Weiterhin können die Zeichnungselemente (Punkt, Linie und Polygon) Attribute zugeschrieben bekommen. So erhält z.B. ein Polygon, das einen Stein darstellt, die Eigenschaft „Stein“ und als weitere Eigenschaft die Nummer des Befundes, zu dem der Stein gehört.

So kann jedes Zeichnungselement direkt einem Fund oder Befund zugeordnet werden. Es kann in den Attributen vermerkt werden, ob ein Strich (Polygonzug) eine Befundgrenze oder einen Stein darstellt. Alle Zeichnungsobjekte werden daher in Tabellen vorgehalten. Über die Datenbankverknüpfung zu weiteren Informationen, wie z.B. die Datierung, erlaubt dies dann eine weitgehend automatisierte Erstellung von Strata-Plänen. Dazu werden zu einem Stratum in der Grabungsdatenbank die dazugehörigen Befunde gesucht. Diese, und nur diese, werden dann auf dem GIS-Plan dargestellt.

Ein weiterer Vorteil ist die Konsistenz einer georeferenzierten Datenhaltung. Alle Daten passen immer zusammen. Selbst externe georeferenzierte Daten, z.B. ein Satellitenbild, lassen sich so schnell und unkompliziert integrieren.

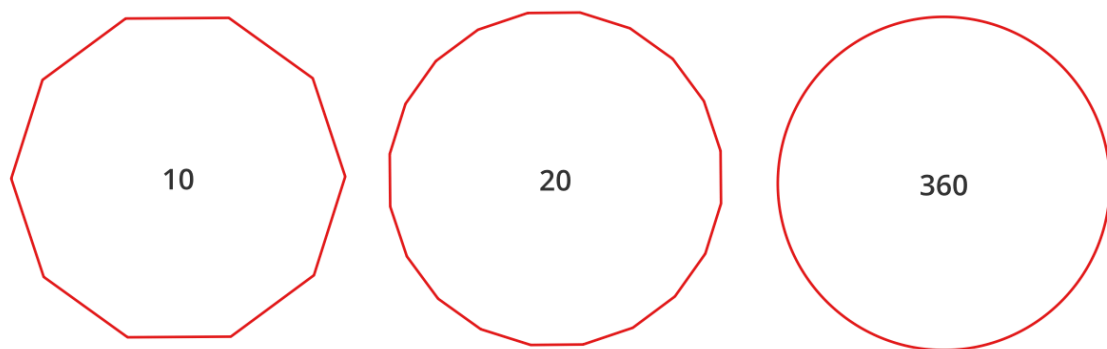
²⁰⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Geoinformationssystem> (abgerufen am 01.06.2024).

²⁰⁸ Vgl. Merlo 2016, Jensen 2017, Jensen 2018a.

CAD	GIS
Layer	Tabellenlayer und Rasterlayer
kartesische Koordinaten	Weltkoordinaten in verschiedenen Koordinatensystemen
Vektorobjekte sind Punkte, Linien, Polygone, Splines und komplexe Kombinationen in 2D und 3D	Objekte sind Punkte, Linien und Polygone mit Koordinaten und optionaler Höhe
Objekte haben keine Attribute	Objekte haben Attribute
keine Relationen zwischen den Layern	Relationen zwischen den Layern

Tabelle 6.1: Unterschiede zwischen CAD und GIS-Systemen

Beim Einsatz eines GIS anstelle eines CAD-Systems ist die geringere Vielfalt von verfügbaren geometrischen Objekten problematisch. Ein GIS kann prinzipiell nur Punkte, Linien und Polygone verwalten. Kreise und Kurven sind nicht auswählbar. Allerdings lassen sich diese durch Polygonzüge mit vielen Kanten darstellen. Leider ist auch die Anzahl der Zeichenwerkzeuge deutlich eingeschränkter als bei CAD-Systemen, die ja für genau diese Aufgabe optimiert wurden.

Abbildung 6.1: Kreis durch Vieleck-Polygon angenähert (10-, 20- und 360-Eck)²⁰⁹

Ein entscheidender Nachteil von GIS-Systemen ist der Umgang mit dreidimensionalen Objekten. Dieser ist entweder nicht vorhanden bzw. steckt noch in einer frühen Phase der

²⁰⁹ Copyright: Autor.

Entwicklung.²¹⁰ Für die Erstellung von Plänen im Zusammenhang mit Grabungen stellt dies jedoch keinen Nachteil dar, da in der Regel zweidimensionale Pläne erstellt werden. Für eine dreidimensionale Bauaufnahme oder die Rekonstruktion von Gebäuden gibt es allerdings bisher keine Alternative zur Verwendung eines CAD-Systems.

Eine besondere Herausforderung stellen die Profilzeichnungen dar. In der Regel können in einem GIS nur zweidimensionale Pläne in Aufsicht dargestellt werden. Für Profile wird aber eine vertikale Ansicht benötigt. Bis diese Funktionalität in den gängigen GIS zur Verfügung steht, kann das Problem durch Vertauschung der Koordinaten umgangen werden, dabei wird die Höhe zur Nordkoordinate.²¹¹

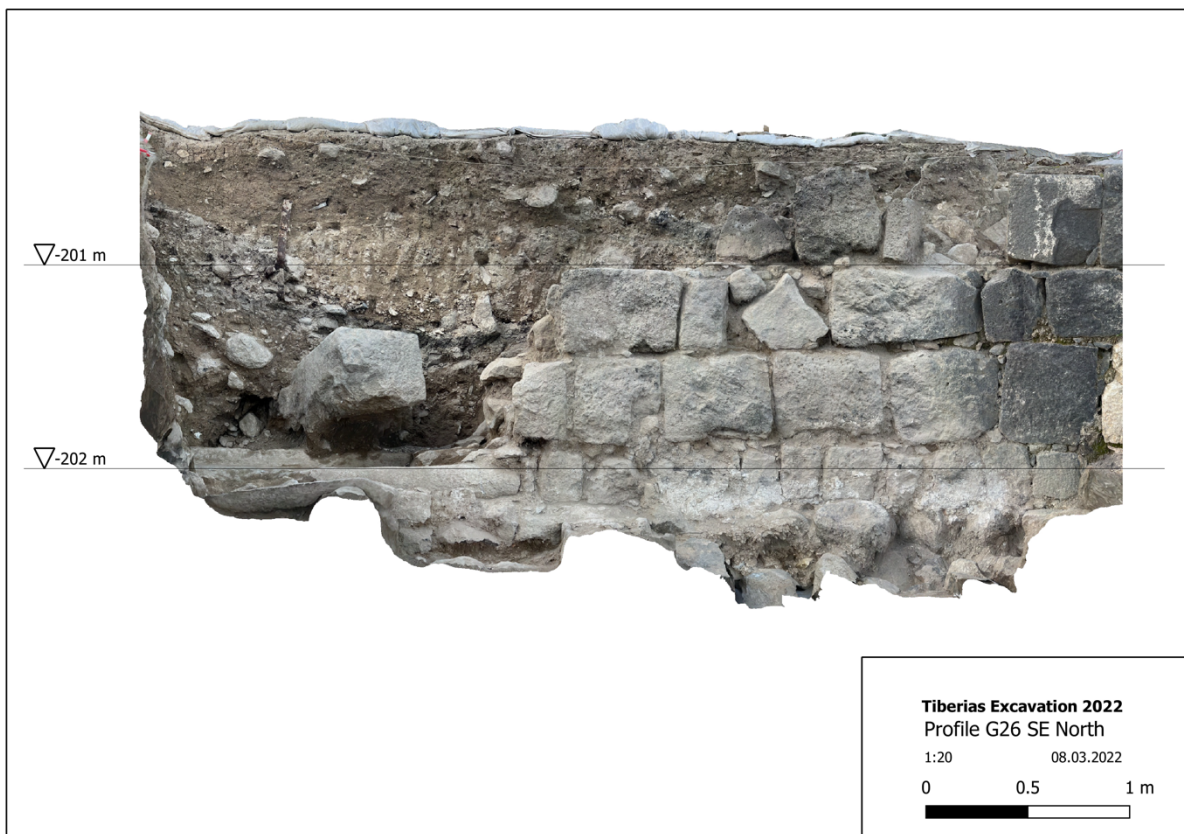


Abbildung 6.2: Profil der Grabung Tiberias (vgl. Abbildung 5.25)²¹²

²¹⁰ Vgl. Jensen 2017.

²¹¹ Für QG/S gibt es eine Erweiterung für die korrekte Transformation von Kontrollpunkten für archäologische Profile. Siehe Mennenga/Schmütz 2022.

²¹² Copyright: BAI/DEI.

6.3 Koordinatensysteme

Der Standard für Weltkoordinaten ist die Angabe von Längen- und Breitengrad. Für alle Pläne wird aber ein kartesisches (rechtwinkliges) Koordinatensystem benötigt. Das Grabungsgitter ist danach ausgerichtet. Abstände zwischen Objekten lassen sich so einfach messen. Das kartesische Koordinatensystem kann ein *ad hoc* erstelltes lokales System oder ein regionales bzw. Landeskoordinatensystem sein. Die meisten regionalen bzw. Landeskoordinatensysteme sind einem GIS hinterlegt, so dass die Transformation (die Umrechnung) von Längen-/Breitengrad-Angaben in eines dieser Koordinatensysteme automatisiert geschieht.

Daher sind Landeskoordinatensysteme für neu angelegte Grabungsprojekte zu bevorzugen. Für Israel bieten sich *Israeli Grid 05/12*²¹³ und für Jordanien das *Palestine 1923 / Palestine Grid*²¹⁴ an. Im Grabungsprojekt Zionsberg wird das *Israeli Grid 05/12* verwendet.

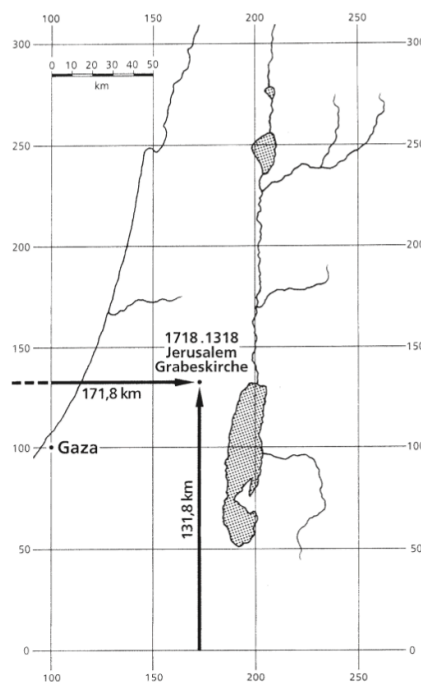


Abbildung 6.3: *Palestine Grid*; während der britischen Mandatszeit erstelltes Koordinatensystem, welches für die Angabe archäologische Fundorte heute noch verwendet wird²¹⁵

²¹³ Das *Israeli Grid 05/12* ist unter dem EPSG-Code 6991 in GIS-Anwendungen zu finden. Dieses Koordinatensystem wird im BAI/DEI für die Grabung Zionsberg verwendet.

²¹⁴ Das Koordinatensystem *Palestine 1923/Palestine Grid* ist unter EPSG-Code 28191 in GIS-Anwendungen zu finden. Im *Tall Zirā'a*-Projekt wird es im DEI verwendet.

²¹⁵ Vieweger 2012, Abb. 92.

Bei lokalen Koordinatensystemen ist das anders. Da diese nicht standardisiert sind, muss die eine Transformation erst berechnet und im GIS hinterlegt werden. Die Ermittlung der entsprechenden Transformationsparameter in ein standardisiertes Koordinatensystem ist komplex und variiert zwischen verschiedenen GIS-Applikationen.²¹⁶ Lokale Koordinatensysteme werden daher beim BAI/DEI nur noch bei Altgrabungen verwendet.

Für die Speicherung von Koordinaten in Dateien²¹⁷ oder in Datenbanken²¹⁸ kann im Prinzip jedes Koordinatensystem verwendet werden. Im Hinblick auf eine möglichst universelle Kompatibilität werden in den Projekten des BAI/DEI alle Geodaten im Weltkoordinatensystem mit Längen- und Breitengrad gespeichert und archiviert.²¹⁹ In diesem Koordinatensystem rechnen auch alle GNSS-Vermessungsgeräte. Transformationsfehler zwischen den Koordinatensystemen sind so bei der Datenaufnahme im Feld ausgeschlossen.

Die Grabung in Tiberias verwendet aus historischen Gründen noch immer ein lokales Koordinatensystem. Dieses richtet sich nach dem Raster der antiken Stadt aus. Daher ist die Nordrichtung des lokalen Koordinatensystems um ca. 20 Grad gegenüber der wahren Nordrichtung Richtung Westen gedreht.

Vermessen wird vom BAI/DEI dennoch satellitengestützt, womit alle Koordinaten als Weltkoordinaten vorliegen und so im Grabungsinformationssystem gespeichert werden. Das sichert langfristig die Konsistenz der Daten und die Kompatibilität mit jeder neuen Software, die Geodaten verarbeitet.

Nur die Höhen werden auf das lokale Koordinatensystem korrigiert, um mit den bisher gemessenen (und schon in den Plänen publizierten) Ober- und Unterkanten weiterhin konsistent zu bleiben. Um Pläne mit den lokalen Koordinaten darzustellen und zu drucken, müssen sie im lokalen Koordinatensystem dargestellt werden. Nur dann passen sie mit den bisher erfolgten langwierigen Grabungen zusammen. Daher wurden Transforma-

²¹⁶ Für die Erstellung eines benutzerdefinierten Koordinatensystems in QGIS siehe https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/working_with_projections/working_with_projections.html#custom-coordinate-reference-system (abgerufen am 31.07.2024).

²¹⁷ Z.B. Textdateien, Shape-Dateien oder Geopackage-Dateien.

²¹⁸ Z.B. PostgreSQL mit der PostGIS-Erweiterung.

²¹⁹ Genauer werden Längen- und Breitengrade im System WGS84 (*World Geodetic Survey 1984*) gespeichert. Der EPSG-Code ist 4326.

tionsparameter in das lokale Grabungskoordinatensystem berechnet und als Benutzerkoordinatensystem in der GIS-Software gespeichert.²²⁰

Die Transformation im WKT-Format (*Well Known Text-Format*) ist folgende:

```

DERIVEDPROJCRS["Tiberias local",
  BASEPROJCRS["Israeli Grid 05/12",
    BASEGEOGCRS["IG05/12 Intermediate CRS",
      DATUM["IG05/12 Intermediate Datum",
        ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
          LENGTHUNIT["metre",1]]],
        PRIMEM["Greenwich",0,
          ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]]],
        CONVERSION["Israeli TM",
          METHOD["Transverse Mercator",
            ID["EPSG",9807]],
            PARAMETER["Latitude of natural origin",31.7343936111111,
              ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
              ID["EPSG",8801]],
              PARAMETER["Longitude of natural origin",35.2045169444444,
                ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
                ID["EPSG",8802]],
                PARAMETER["Scale factor at natural origin",1.0000067,
                  SCALEUNIT["unity",1],
                  ID["EPSG",8805]],
                  PARAMETER["False easting",219529.584,
                    LENGTHUNIT["metre",1],
                    ID["EPSG",8806]],
                    PARAMETER["False northing",626907.39,
                      LENGTHUNIT["metre",1],
                      ID["EPSG",8807]]],
                      DERIVINGCONVERSION["Affine",
                        METHOD["Affine parametric transformation",
                          ID["EPSG",9624]],
                          PARAMETER["A0",-489730.830535873,
                            LENGTHUNIT["metre",1],
                            ID["EPSG",8623]],
                            PARAMETER["A1",0.939760452810588,
                              SCALEUNIT["coefficient",1],
                              ID["EPSG",8624]],
                              PARAMETER["A2",0.341833718835985,
                                SCALEUNIT["coefficient",1],
                                ID["EPSG",8625]],
                                PARAMETER["B0",-611613.517965902,
                                  LENGTHUNIT["metre",1],
                                  ID["EPSG",8639]],
                                  PARAMETER["B1",-0.341833718835985,
                                    SCALEUNIT["coefficient",1],
                                    ID["EPSG",8640]],
                                    PARAMETER["B2",0.939760452810588,
                                      SCALEUNIT["coefficient",1],

```

²²⁰ Zur Bestimmung der Transformationsparameter wurden 12 Punkte auf den Grabungsplänen mit genauen Koordinaten identifiziert. Mit dem RTK-GNSS wurden diese im Feld eingemessen. Mit Hilfe dieser Punktepaaire wurde die Transformationsparameter in QGIS mit der Erweiterung *Geoscience* (<https://www.spatialintegration.com/> abgerufen am 22.08.2024) bestimmt.

```
ID["EPSG",8641]]],  
CS[Cartesian,2],  
AXIS["(E)",east,  
ORDER[1],  
LENGTHUNIT["metre",1]],  
AXIS["(N)",north,  
ORDER[2],  
LENGTHUNIT["metre",1]]]
```

6.4 Eingesetzte GIS-Software – QGIS und QField

Für die Erstellung der Grabungs-, Stratums- und Profilpläne wird ein geografisches Informationssystem für den Desktop benötigt, welches umfangreiche Digitalisier- und Druckfunktionen besitzt und eine Anbindung an die Serverdatenbank auf Basis von *PostgreSQL/PostGIS* (siehe Kapitel 8.2.2) besitzt.

Eine kommerzielle Lösung bietet die Firma *Esri* mit ihrem Produkt *ArcGIS* an, für das es neben der Desktopsoftware, auch Serverlösungen und mobile Clients gibt. Die benötigte Funktionalität wird erfüllt. Die im BAI/DEI fast ausschließlich verwendeten PCs der Firma *Apple* mit Betriebssystem *macOS* werden allerdings nicht unterstützt. Die Software ist ausschließlich auf *Microsoft Windows* lauffähig. Hinzu kommt ein Lizenzierungsmodell auf Arbeitsplatzbasis, sodass die flexible Installation der Software auf den PCs der Mitarbeitenden beschränkt werden muss. Hieraus ergeben sich zwei Nachteile:

- Der erste Nachteil ist das Nachhalten der Lizenzinstallationen, da es bei Grabungsprojekten allgemein viele Mitarbeitende gibt, die nur zeitweise (Studierende, Volontäre) Teil des Projektes sind.
- Der zweite gewichtigere Nachteil liegt im Ziel eines Grabungsinformationssystems begründet. Die Pläne sind ein zentraler Bestandteil der Grabungsdokumentation und sollten daher nicht nur wenigen, sondern möglichst allen an der Auswertung beteiligten Personen zu Verfügung stehen.

Aus diesen Gründen wurde *Esri ArcGIS* als Lösung verworfen.

	QGIS	gvSIG	OpenJump
Native <i>PostgreSQL</i> -Schnittstelle	ja	ja	nein
Zeichnungswerkzeuge	ja	ja	ja
Koordinatensystemverwaltung	ja	ja	nein
<i>Mobiler Client</i>	ja	nein	nein

Tabelle 6.2: GIS-Software-Vergleich

Als freie Optionen eines Desktop-GIS wurden ebenso *gvSIG*²²¹, *QGIS*²²² und *OpenJump*²²³ evaluiert. Alle drei Optionen sind auf *Microsoft Windows*, *Apple macOS* und *Linux*-Distributionen lauffähig.

Von diesen Software-Angeboten besitzt *OpenJump* den kleinsten Funktionsumfang. Im Gegensatz zu *QGIS* und *gvSIG* ist bei *OpenJump* eine Verbindung zu Datenbanken in *PostgreSQL/PostGIS* nur mit einer Erweiterung möglich. Dieser große Nachteil führt dazu, dass *OpenJump* als Lösung nicht weiterverfolgt werden konnte.

QGIS und *gvSIG* sind beide umfangreiche Desktop-GIS-Applikationen. Sie bieten daher ausreichende Funktionalität für die Verwendung im Grabungs-Workflow. Ein Vorteil von *QGIS* ist die sehr große Nutzer- und Entwicklerbasis²²⁴, die für eine langfristig gesicherte Weiterentwicklung des Systems spricht. Eine weitere Stärke von *QGIS* ist die leichte Erweiterbarkeit, die für eine große Anzahl Plugins sorgt, unter denen auch für die Archäologie interessante Zusätze zu finden sind.²²⁵ In beiden Bereichen kann *gvSIG* nichts Vergleichbares bieten. Außerdem fehlt dieser Software ein *Mobilclient*.²²⁶

Folglich wurde *QGIS* als Desktop-GIS für die Projekte des BAI/DEI ausgewählt.

²²¹ <http://www.gvsig.com> (abgerufen am 31.07.2024).

²²² Streatfeild-James 2021; <https://qgis.org/> (abgerufen am 31.07.2024).

²²³ <http://www.openjump.org/> (abgerufen am 31.07.2024).

²²⁴ <https://qgis.org/resources/support/commercial-support/> (abgerufen am 31.07.2024).

²²⁵ Siehe zum Beispiel auch die *QGIS*-Erweiterung *profileAAR* <https://github.com/ISAAKiel/profileAAR> (abgerufen am 31.07.2024), welche zur Transformation von Passpunkten für fotogrammetrisch erstellte archäologische Profile dient.

²²⁶ Für *gvSIG* ist der mobile Client *gvSIG Mobile* nicht mehr herunterladbar. Ein Grund wird nicht angegeben. Siehe <http://www.gvsig.com/products/gvsig-mobile/downloads> (abgerufen am 31.07.2024).

	<i>QField</i>	<i>Mergin</i>
Speicherung in <i>PostgreSQL/PostGIS</i>	ja	ja
Einbindung von RTK-GNSS	ja (Android und iOS/iPadOS)	ja (Android)
Kostenlos nutzbar	ja	nein

Tabelle 6.3: Funktionalitäten der mobilen GIS-Clients

Für *QGIS* gibt es zwei mobile Clients *QField*²²⁷ und *Mergin*²²⁸. Beide sind für die mobile Datenaufnahme konzipiert und finanzieren sich durch einen Cloudservice, der die GIS-Daten mit dem Desktop synchronisiert. Beide lassen sich mit dem RTK-GNSS des BAI/DEI verbinden – *QField* sogar bei Installation auf *Apple*-Geräten. Bei *QField* ist die Datenaufnahme in der kostenlosen Version möglich. Um *Mergin* nutzen zu können, wird eine monatliche Gebühr von mindestens € 11,90 (Stand August 2024) unumgänglich.

Folglich wurde *QField* für die Verwendung in den Projekten des BAI/DEI ausgewählt.

6.5 Der mobile Workflow – Vermessung mit direktem Upload

Die Vermessung in den Grabungsprojekten des BAI/DEI wird mit einem RTK-GNSS-System durchgeführt (siehe Kapitel 4.4). Auf einem Tablet läuft eine Vermessungs-App, mit der die Messungen ausgelöst wird. Die Messpunkte werden in der App gespeichert. Die Punkte kann man in eine Datei exportieren. Aus dieser Datei werden die Daten schließlich in die GIS-Datenbank (siehe Kapitel 8.2.2) des Grabungsinformationssystems importiert. Dies geschieht in der Regel einmal am Tag. Damit stehen diese Messpunkte – es handelt sich um die Befundkanten und die Fund-Einmessungen – erst ab diesem Zeitpunkt im Grabungsinformationssystem zur Verfügung. Insbesondere die Befundkantenhöhen sind aber für die Dokumentierenden eine wertvolle Information, die möglichst sofort im Feld benötigt werden. Daher müssen diese Angaben während der Messung vom Vermesser mündlich an den Dokumentierenden weitergegeben und manuell in die Dokumentation eingetragen werden. Bei diesem Arbeitsvorgang können Fehler passieren. Die Dokumen-

²²⁷ Siehe <https://qfield.org/> (abgerufen am 31.07.2024).

²²⁸ Siehe <https://de.merginmaps.com/> (abgerufen am 31.07.2024).

tierenden können sich bei der Eingabe der Höhen, der Vermesser bei der Eingabe von Befund- oder Fundzettelnummer vertippen.

Um diese Nachteile zu umgehen, wurde der Workflow der Aufnahme der Vermessungspunkte umgestellt. Zum Einsatz kommt auf dem Vermessungs-Tablet die App *QField* (siehe Kapitel 6.4). Diese Software erlaubt die direkte Speicherung der Messdaten in der GIS-Datenbank des Grabungsinformationssystems.²²⁹ Bei Messungen von Ober- oder Unterkanten sind die Punkte in den GIS-Plänen im Befundformular (der Projekte Zionsberg und Tiberias) sofort sichtbar. Per Tastendruck werden die Felder für Ober- und Unterkante, automatisch eingetragen.

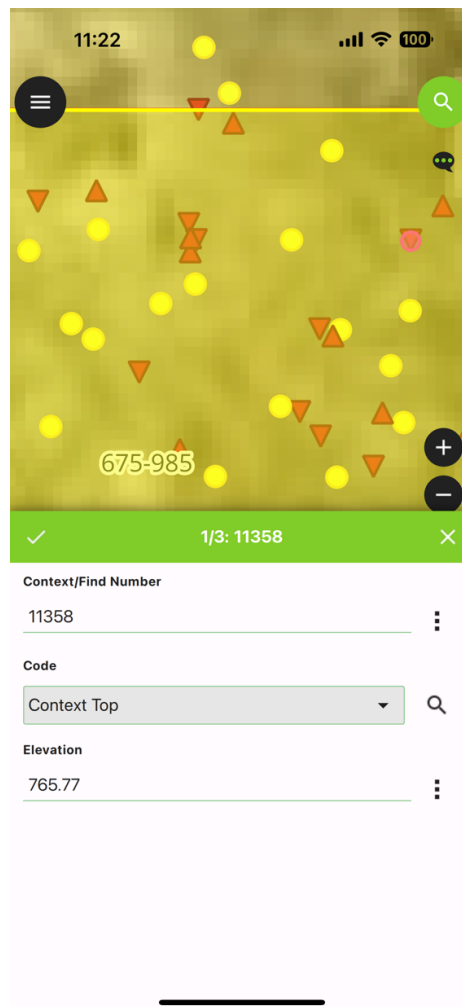


Abbildung 6.4: Punktmessung im Grabungsinformationssystem mit *QField*²³⁰

²²⁹ Die aktuelle Version 3.3.7 (Stand 31.07.2024) erlaubt die Angabe einer Genauigkeitsanforderung an die Messung, die Mittelung über mehrere Messzyklen, sowie eine Höhenkorrektur. Damit kann die Software auch bei den hohen Anforderungen der RTK-Messung eingesetzt werden.

²³⁰ Copyright: Autor.

6.6 Fazit

Alle Grabungspläne lagen schon bei der Grabung *Tall Zirā'a* digital vor – in einem CAD-System. Erst der Wechsel auf GIS-basierte Pläne erlaubte es den Workflow zur Erstellung der Grabungspläne in die Grabungsinformationssysteme für die Projekte Zionsberg und Tiberias zu integrieren. Zusammen mit Verwendung der Orthofotos als Grundlage der Zeichnungen können so heute die Pläne ohne externe Hilfe durch Architekten erstellt werden. Die direkte Verbindung der schriftlichen Dokumentation und mit der Stratifizierung macht die Erstellung der Strata-Pläne effizient.

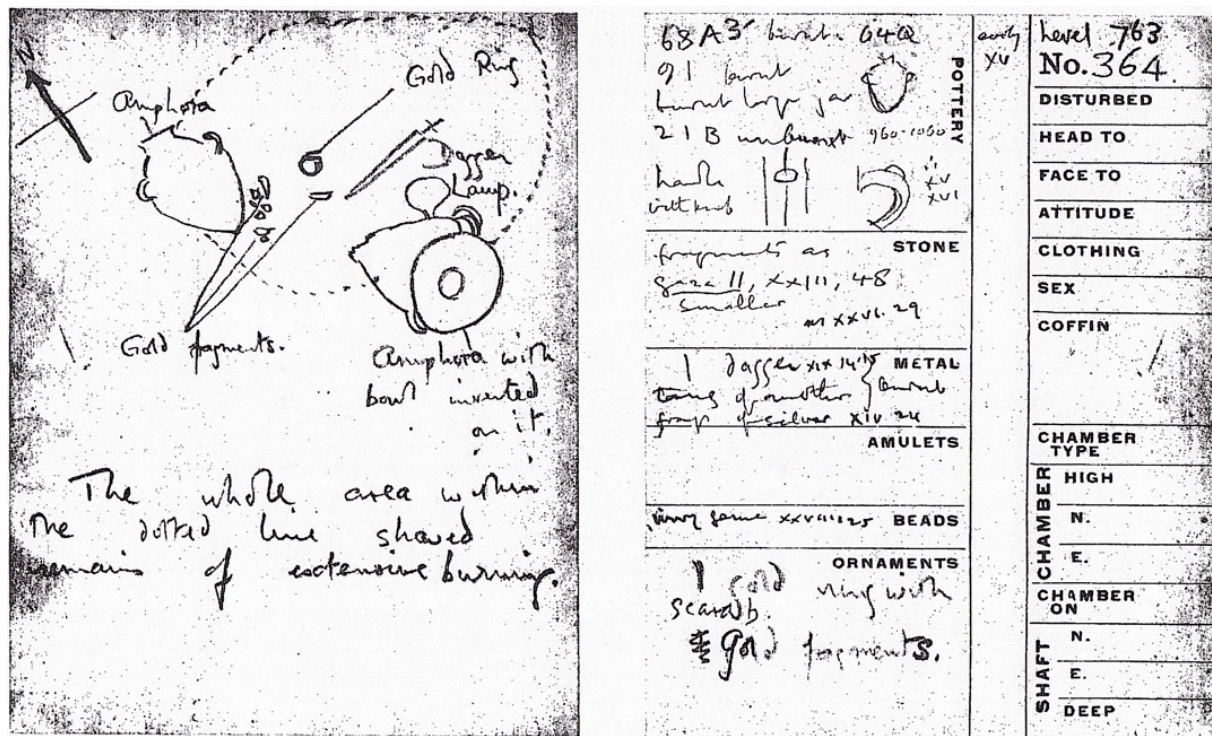
7 Die papierlose Grabung – Vom Formblatt zum Tablet

7.1 Die Einführung und die Entwicklung des Formblattes auf Papier

Eine Dokumentation mit Stift und Papier war und ist in der Archäologie weitestgehend Realität und nicht alle Ausgrabungen streben einen Wechsel zu digitalen Lösungen an. Doch hat sich der Arbeitsalltag in der archäologischen Forschung in den letzten Jahren stark verändert und es ist zum Standard geworden, dass eine Vielzahl an (interdisziplinären) Wissenschaftlern, Spezialisten, Volontären und Studierenden eingebunden werden und je nach Fähigkeiten eigenverantwortlich Arbeitsbereiche übernehmen. Die Arbeitsteilung in der Archäologie verhilft zur Optimierung der archäologischen Arbeit im großen Stil, denn die Grabungszeit ist stets begrenzt und muss effizient genutzt werden.

Sobald mehrere Personen im Feld dokumentieren und Spezialisten, die einzelnen Fundgruppen weiterbearbeiten (siehe Kapitel 2.2), direkt an der Dokumentation beteiligt werden, wird eine strikte Strukturierung und Standardisierung der Dokumentation notwendig. Alle Informationen müssen erfasst und stets an den richtigen Orten hinterlegt werden. Das betrifft vor allem Befunde und Funde. Deren Auswertung macht den zentralen Teil des Erkenntnisgewinns einer Grabung aus.

Schon viele Grabungen durch die letzten Jahrzehnte wurden so geführt. Sie nutzten Formulare, wie auf der Abbildung 7.1 zu sehen, um möglichst viele Informationen relational zueinander auf Papier zu speichern.

Abbildung 7.1: Flinders Petrie – Tall al-Ajjul – Tomb Card ca. 1933²³¹

Mit der Einführung von Computern in die Archäologie, wurden Karteikästen oder Ordner mit den ausgefüllten Formularen zu Datenbanken umgewidmet. Da geeignete Mobilgeräte noch nicht zur Verfügung standen, wurde die Papierdokumentation im Feld weiterverwendet und erst in einem zweiten Schritt (meist am Nachmittag des Grabungstages) im Computer erfasst. Das brachte einige Probleme und Nachteile mit sich, die im Folgenden kurz dargestellt werden:

Sowohl Befunde als auch Funde brauchen eine eindeutige Identifikation. Jeder Befund und jeder Fundzettel erhalten daher eine eindeutige Nummer. Die manuelle Vergabe der Nummern im Feld unter mehreren Schnittleitern/innen, die parallel verschiedene Bereiche der Grabung dokumentierten, war häufig fehlerhaft. Wenn aber eine Nummer versehentlich an zwei verschiedene Befunde verteilt wurde, brachte dies Folgefehler mit sich, die nur schwer zu korrigieren waren. Schließlich befand sich die gleiche Befundnummer nicht nur auf den Befundformularen, sondern auch auf den im Feld erstellten Fundzetteln. Auch diese, möglicherweise schon an verschiedenen Stellen weiterverarbeiteten Formulare, mussten wiedergefunden und korrigiert werden. Je nach Zeitpunkt, an dem

²³¹ Drower 1995, S. 399.

der Fehler auffiel, sind aber die Fundzettel auch schon digitalisiert worden. Es war äußerst aufwändig, diesen Falschbenennungen nachzugehen und sie komplett zu tilgen.

Bei den Fundzetteln konnte die Problematik der Nummernvergabe im Feld umgangen werden. Die Fundnummer wurde erst mit der Digitalisierung des Fundzettels im Grabungshaus erstellt und eingetragen. Damit bestand zwar nicht das Problem der doppelten Nummernvergabe, doch die Funde wurden dann nicht schon im Feld, sondern erst im Grabungshaus registriert. Eine Kontrolle, ob Funde auf dem Weg ins Grabungshaus verloren gegangen oder vertauscht worden sind, war so nicht möglich.

Hinzu kam, dass wegen der verzögerten Eingabe der Befunde in die Datenbank, es nicht selten passierte, dass Fundzettel digitalisiert wurden, bei denen der Befund digital noch gar nicht angelegt war.

Letzteres betont einen weiteren Nachteil der Nutzung von Papierformularen im Feld. Die in der Datenbank vorhandene Dokumentation der Befunde entsprach nicht dem jeweils aktuellen, sondern nur dem verzögerten (nachdigitalisierten) Stand, da dieser erst verzögert durch die Schnittleitenden in die Computer eingegeben oder aktualisiert wurden.

Die nachträgliche Digitalisierung selbst war eine weitere (nicht unbedeutende!) Quelle für multiple Fehler durch Verlesen, Vertippen, Übersehen von vorliegenden schriftlichen Informationen auf dem Formular beim Abschreiben in die Datenbank.

Wenn ein Eintrag einem/einer Bearbeiter/in in der Datenbank zweifelhaft vorkam, musste die Papierdokumentation konsultiert werden. Um dies überhaupt möglich zu machen, wurden bei der Grabung auf dem *Tall Zirā'a* alle Befundformulare eingescannt und in der Datenbank hinterlegt.

Zusätzlich zu Dokumentation auf Formularen wird auf Grabungen in Tagebüchern der allgemeine Grabungsfortschritt, die eingesetzten Mitarbeitenden und weitere besondere Vorkommnisse festgehalten. Diese Grabungstagebücher wurden gerne als Textdokumente im Computer gespeichert. Damit existierte aber noch eine weitere Dokumentation der Grabung außerhalb der Datenbank.

Außerdem wurden Fotolisten geführt. Kameras – in analoger Zeit auch Filme und Entwicklung – waren teuer und somit nicht in größerer Zahl vorhanden. Daher war das

Fotografieren als ein spezieller Aufgabenbereich organisiert. Die Fotos wurden nur von ausgewählten Beauftragten aufgenommen und in Listen dokumentiert. Auch das war ein weiterer separater Arbeitsablauf mit getrennter Speicherung von Daten mit allen Gefahren der falschen Zuordnung zu Befunden oder Funden.

Zusammengefasst stellte sich die Situation wie folgt dar:

- Manuelle Nummernvergabe im Feld ist fehleranfällig. Doppelt vergebene Nummer verursachten schwer zu korrigierende Fehler bei Funden und Befunden.
- Wurde auf eine Registrierung der Fund im Feld (*Tall Zirā`a*) verzichtet, war eine Kontrolle über die Vollständigkeit der Funde zwischen Grabung und Grabungshaus nicht gegeben.
- Schnittleiter/innen dokumentierten Befunde im Feld und mussten die Dokumentation danach in den Computer eingeben. Dies brachte einen hohen Zeitaufwand und eine verstärkte Fehleranfälligkeit mit sich.
- Grabungstagebücher – ein Teil der Grabungsdokumentation – wurden außerhalb der Grabungsdatenbank gespeichert.
- Eigene Foto-Beauftragte auf einer Grabung führten einen Arbeitsablauf fort, der noch aus der Zeit der analogen Fotografie stammte. Die Fotografen standen selbst für die Grabungsarbeit nicht zur Verfügung.

[illegible]Abbildung 7.2: Befundformular²³²

Fundzettel BAI/Wuppertal/DEIAHL 2008	Fundplatz Tall Zira'a	Areal	Quadrant	Befund
	Bearbeiter/in	Datum . . 2009		Fundnr.
	Material			Fotos <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Vermessungspunkte			
	Bemerkungen			

Abbildung 7.3: Fundzettelvordruck²³³

Es gab also sowohl Probleme mit der Fehleranfälligkeit als auch deutliche Effizienzpotenziale, die mit einer Digitalisierung und Veränderung des Workflows zu begegnen war. Die Strategie musste sein, alle Aufgaben der Dokumentation bei dem/der Schnittleiter/in zu konzentrieren und dabei auf jegliche (analoge) Papierdokumentation zu verzichten. Weiterhin sollte alle Information in *einem* System gespeichert sein. Dies führte im BAI/DEI im Jahr 2019 zur Einführung der papierlosen Dokumentation, als die Technik von Mobilfunk und Tablets dies erlaubte. Das Ergebnis dieser Veränderungen wird im nächsten Unterkapitel diskutiert.

7.2 Der Weg in die papierlose Dokumentation

Mit der Einführung des *iPads* als Datenerfassungsgerät auf dem Zionsberg im Jahr 2019 konnten die Probleme, die bei der analogen Papierdokumentation auftauchten, beseitigt werden. Da die Erfassung stets mit einem zentralen Datenbankserver verbunden ist, gibt es keine Probleme mit der Nummernvergabe mehr, denn die ist automatisiert. Auch die Nummern der Fundzettel werden im Feld schon automatisch vergeben. Seit 2020 werden die Fundzettel auf mobilen Drucker ausgedruckt (siehe Kapitel 8.5.1). Übertragungsfehler beim Abschreiben der Daten werden so vermieden.

²³³ Copyright: BAI/DEI. Entwurf: Autor.

Abbildung 7.4: Fundzetteldrucker im Feld²³⁴

Da bei der papierlosen Dokumentation alle aktuellen Daten zu Befunden und Funden in der Datenbank vorhanden sind, können auch alle Fundbearbeiter stets auf den aktuellen Stand der Information zurückgreifen. Eventuell entstehende Widersprüche, Ausreißer, ob sie aus einem Fehler entstanden sind oder nicht, lassen sich so zeitnah entdecken.

Alle Schnittleiter/innen führten auf dem Zionsberg Tagebücher in Word-Dateien. Die separat geführten Tagebücher wurden in die Datenbank integriert. Sie sind dort Arealen zugeordnet und dokumentieren den Grabungsfortschritt an jedem Tag. Zusätzlich zu den Tagebüchern, die den allgemeinen Fortschritt in einem Grabungsbereich wiedergeben, gibt es für jeden Befund ein Tagebuch (siehe Kapitel 8.5.2).

Auch die Fotogrammetrie (siehe Kapitel 5.4) wurde in das Datenbanksystem integriert.

²³⁴ Copyright: Autor.

Diary Entry of Area 6-1 on 02.08.2023

+ New

General		Photos	
Area <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">6-1</div>	Date <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">02.08.2023</div>	Supervisor <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">LM</div>	
Entry Western profile was cleaned. Southern test trench was closed and second test trench next to the entrance was further expanded left and right next to new found abutting wall.			

Context	Category	Date opened
>	11212	Mauer
>	11261	Erdbefund
>	11266	Erdbefund
>	11283	Erdbefund
>	11284	Mauer
>	11297	Mauer
>	11298	Erdbefund
>	11299	Erdbefund

Abbildung 7.5: Eintrag in das Arealtagebuch (siehe dazu Kapitel 8.5.2)

Mit der papierlosen digitalisierten Grabungsdokumentation erhalten die an einem archäologischen Projekt Beteiligten damit ein Werkzeug, bei dem die alle aktuellen Informationen über eine einzige Schnittstelle erfasst und ausgewertet werden. So können sich Verantwortliche, insbesondere die Grabungsleitung, zu jedem Zeitpunkt einen Überblick über den aktuellen Stand der Dokumentation und Auswertung bilden. Voraussetzung für diese Gleichzeitigkeit ist allerdings eine funktionierende Internetverbindung.

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

1 / 2.125 Gefunden (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Context - iPad Anzeige: Seitenansicht

Context 2168 Scan + New

General Wall Relations Stratigraphy Daily Log Photos Ortho 3D Baskets Supervisor

Number: 2168 Type: PIP Pipe Supervisor: JZ Jennifer Zimni

Season: 14.02.2022 Square: G29 SE Area: M10

Opening Date: 24.02.2022 Top Elevation: -202,52 Status: Closed

Closing Date: 08.03.2022 Bottom Elevation: -202,78 Abuts Profile: North, West, East, South

Opening Reason: Opening Reason

Closing Reason: Closing Reason

Description: Ceramic pipe within a stone. Runs from southeast to north west. Each segment of the pipe has its own basket number

To be continued X

2168 PIP

All Open

Abbildung 7.6: Befundformular aus dem Grabungsinformationssystem Tiberias (siehe dazu ausführlich Kapitel 8.5)

8 Grabungsinformationssysteme für die Projekte des BAI/DEI – Mehr als Datenspeicherung

8.1 Einführung

Mit der Entwicklung des Personal Computers Ende der 1970er Jahre begann auch dessen Verwendung für archäologische Zwecke. Insbesondere die systematisierte Dokumentation einer Grabung mit Karteikarten ließ sich gut in Datenbanken digitalisieren.²³⁵ Obwohl die Prinzipien der stratigrafischen Grabung²³⁶ allgemein akzeptiert sind, ist es jedoch bis heute nicht gelungen ein generalisiertes Softwaresystem für die Grabungsdokumentation zu etablieren.²³⁷ Dies liegt einerseits an der Verschiedenheit der Grabungsmethoden (z.B. Vor- und Frühgeschichte vs. Klassische Archäologie) aber andererseits auch an der Diversität der Grabungsorte. Selbst die Unterschiede zwischen Tall-, Stadt-, Grablegen-, Rettungsgrabungen und Surveys von größeren Gebieten bzw. die Bauaufnahme von einzelnen Gebäuden sind schwer in nur *einer* Grabungsdatenbank abzubilden.

Aus diesem Grunde gibt es heute eine Vielfalt von Softwaresystemen, die vorgeschlagen werden, um archäologische Untersuchungen zu dokumentieren.²³⁸ Zurzeit arbeitet auch das *Deutsche Archäologische Institut* (DAI) an einem für das Amt einheitlichen System bei der Dokumentation seiner Grabungen (siehe Kapitel 10.3).²³⁹

Grundsätzlich folgen die Anlage und die systematisierte Darstellung einer Grabung/archäologischen Erkundung stets den Herausforderungen aus der vorgegebenen

²³⁵ Barker 2002, S. 134ff; Vgl. Lock 2003.

²³⁶ Harris 1989, Harris 1993.

²³⁷ Auch die Papierdokumentationen mit den dazugehörigen Formularen waren schon von Grabung zu Grabung unterschiedlich.

²³⁸ Z.B. Smith/Levy 2014, Ossa 2005, Prins 2014, Masson-MacLean et al. 2021, Motz 2016.

²³⁹ Schaefer 2011, Cuy 2019.

archäologischen Fragestellung und dem Grabungsort. Dies gilt auch für die hier vorgestellten Datenbanken und Informationssysteme der Projekte des BAI/DEI.

Die Entwicklung dieser Systeme bis zum heutigen Stand war ein langer iterativer Prozess, der mit der ersten Grabungsdatenbank auf dem *Tall Zirā‘a* im Jahr 2003 begann. Dabei waren folgende Leitgedanken für die (Weiter-)Entwicklung der digitalen Systeme von wichtiger Bedeutung.

- Die Grabungsinformationssysteme orientieren sich an den speziellen Erfordernissen der Projekte des BAI/DEI. Dabei besteht ein Projekt nicht nur aus der Feldarbeit, sondern auch aus allen Schritten der Auswertung bis hin zur Grabungspublikation (siehe Kapitel 2).²⁴⁰ Alle Phasen müssen bei der Konzeption im Blick gehalten werden.
- Dabei sollte die Nutzung der Grabungsinformationssysteme möglichst einfach und effektiv sein. Daraus ergibt sich das Ziel, alle Information zu integrieren und über eine Benutzerschnittstelle zentral zur Verfügung zu stellen. Um das zu erreichen, wurden im Laufe der Zeit alle Dokumentationsabläufe digitalisiert, sofern sie noch analog waren (Kapitel 7).
- Die in den Projekten gemachten Erfahrungen in der Feldarbeit und Auswertung müssen wieder in die Weiterentwicklung der Dokumentationssysteme einfließen.
- Neue technische Möglichkeiten werden daraufhin evaluiert, ob sie vorhandene Probleme oder Schwachstellen lösen bzw. das dadurch eine Effizienzsteigerung entsteht, die die Kosten rechtfertigt.
- Ganz wichtig ist, dass die Datenbanken bzw. das Informationssysteme von den Anwendern, den Archäologinnen und Archäologen, angenommen werden und sich in der Praxis bewähren.

Entlang dieser Leitgedanken werden im Folgenden die in Grabungsdatenbank *Tall Zirā‘a* (Kapitel 8.3), die Surveydatenbank *Wādī al-‘Arab* (Kapitel 8.4), das Grabungsinformationssystem Zionsberg (Kapitel 8.5) und das Grabungsinformationssystem Tiberias (Kapitel 8.6) in der chronologischen Reihenfolge ihres Entstehens vorgestellt. Um vielfache Wiederholungen zu vermeiden, wird jeweils nur auf die Spezifika, Innovationen und Fortentwicklungen der einzelnen Datenbanken eingegangen.

²⁴⁰ Für die Langzeitverfügbarkeit der Daten nach der Publikation siehe Kapitel 10.

Zunächst wird aber in Kapitel 8.2 die in diesen Projekten eingesetzte Server-Software diskutiert.

8.2 Die Software-Architektur für die Projekte des BAI/DEI

Für die Datenbanksysteme des DEI werden drei Serverkomponenten verwendet, die im Zusammenspiel unsichtbar für den Nutzer eine integrierte User-Experience herstellen:

- In der *FileMaker*-Datenbank werden alle weiteren Grabungsdaten, vor allem die schriftlichen der Befunde und Funde, gespeichert. Auch Fotos werden in der Datenbank gespeichert.²⁴¹
- In der *PostgreSQL/PostGIS*-Datenbank werden alle Vektordaten (Punkte, Linien, Polygone) gespeichert. Dabei handelt es sich um die gemessenen Höhenpunkte, die markierten Befundausdehnungen, die Befundzeichnungen, die Quadranten und die Areale.
- Durch den *GeoServer* werden die pixelbasierten Geodaten, die Orthofotos und Höhenmodelle, zur Verfügung gestellt (siehe Kapitel 8.5.1).

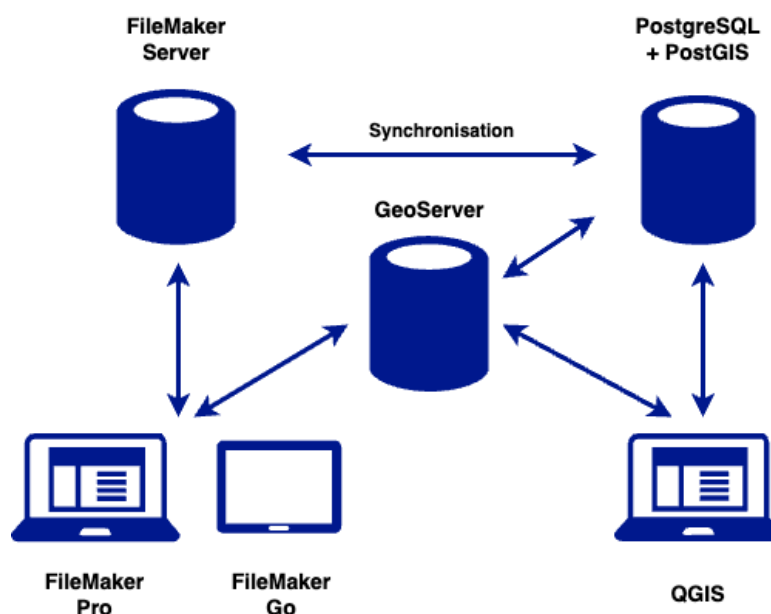


Abbildung 8.1: Architektur der Grabungsdatenbanksysteme im DEI²⁴²

²⁴¹ Die Fotos werden in einem Dateisystem zur Datenbank gespeichert, damit Binärdaten die Datenbank nicht unnötig vergrößern. Das geschieht für den Benutzer unsichtbar.

²⁴² Copyright: Autor.

8.2.1 Das Datenbanksystem *Claris FileMaker*

Alle schriftliche Dokumentation und Auswertung wird in einer *FileMaker*-Server-Datenbank der Firma *Claris*²⁴³ realisiert. *FileMaker* ist ein proprietäres Server-Client-Datenbankmanagementsystem und muss lizenziert werden.

Claris FileMaker besteht aus den Komponenten:

- *FileMaker Server*, der die Datenbanken über das Internet oder in einem lokalen Netz bereitstellt,
- *FileMaker Pro*, der Desktop-Client (*Microsoft Windows* und *Apple macOS*), der für die Datenbearbeitung als auch zur Datenbankentwicklung eingesetzt wird, und
- *FileMaker Go*, die mobile App für die Datenerfassung auf Smartphones und Tablets der Firma *Apple* (*iPhone* und *iPad*).

Dabei besitzt *FileMaker* einige Alleinstellungsmerkmale:

- Eine *FileMaker*-Datenbank besteht aus einer einzigen Datei, die sowohl auf dem PC als Desktopdatenbank, als auch als auch auf dem Server als Serverdatenbank funktioniert. Damit ist es möglich, die Datenbank einfach zu kopieren und lokal ohne Internet zu nutzen.²⁴⁴
- Eine *FileMaker*-Datei enthält nicht nur die Daten, die Struktur der Datenbank, die Relationen, die Benutzerformulare (Layouts) und die programmierten Skripte. Bei einer Servernutzung enthält sie auch die Benutzerkonten. Das ist einzigartig auf dem Markt. In der Regel werden die Datenbank (Daten) und die Anwendungsprogrammierung mit separaten Produkten realisiert.
- Die Benutzerschnittstelle wurde in der gleichen Software (*FileMaker Pro*) wie die Datenbank selbst entwickelt. Die gleiche Applikation dient auch als Desktop-Client.
- Im laufenden Betrieb lassen sich die Datenbank und die Benutzerschnittstelle ändern. Zusammen mit dem vorherigen Punkt lässt das eine sehr flexible und schnelle Anwendungsentwicklung (*Rapid Application Development*) zu.

²⁴³ *Claris International Inc.* ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der *Apple Inc.*

²⁴⁴ Auf der Grabung *Tall Zirā'a* wurde dies so praktiziert.

- Über die App *FileMaker Go* lassen sich alle Datenbanken auch direkt mobil nutzen. Dabei wird von *FileMaker* die Integration der mobilgerätespezifischen Sensoren (z.B. Kamera, GPS) bereitgestellt.

Positiv ist weiterhin anzumerken, dass die *FileMaker*-Produkte im Allgemeinen sehr stabil sind, was bei archäologischen Projekten ausdrücklich von Vorteil ist, da IT-Support aus logistischen und finanziellen Gründen im Ausland nur sehr eingeschränkt zur Verfügung steht.

Clariss FileMaker hat aber nicht nur Vorteile. Die hohe Integration von Daten und Programmierung bedeutet auch, dass Erweiterungen innerhalb des Systems nur schwer möglich sind, da nur die eigene Skript-Sprache zur Programmierung zur Verfügung steht. Auch kann auf eine *FileMaker*-Datenbank von externen Applikationen nicht über die standardisierte Schnittstelle SQL²⁴⁵ zugegriffen werden. Angesichts der weiten Verbreitung des SQL-Standards würde eine Integration von *FileMaker* in eine große Zahl weiterer Anwendungen erleichtern (um beispielsweise die Grabungsdaten über eine Webschnittstelle zu veröffentlichen oder in ein Wissensmanagementsystem zu integrieren; siehe auch Kapitel 9.3). Der Zugriff wird nur über eine proprietäre Schnittstelle (*FileMaker API*) zur Verfügung gestellt. Auch GIS-Daten werden nicht von *FileMaker* unterstützt (siehe Kapitel 8.2.2).

Auch die anfallenden Lizenzkosten sind ein Nachteil. Diese richten sich nach der maximalen Anzahl gleichzeitiger Serverzugriffe.²⁴⁶ Die Anzahl der *FileMaker* Client-Installationen auf Desktop-Computern ist allerdings nicht beschränkt.²⁴⁷ Die mobilen Clients sind kostenfrei im entsprechenden App-Store erhältlich. Damit wird das (großzügige) Verteilen der Client-Installationen deutlich vereinfacht. Alle an den Projekten beteiligten Personen können die Clients auf ihren Geräten installieren. Eine Buchhaltung der Installationen ist

²⁴⁵ Die *Structured Query Language* (SQL) ist die Standardsprache zur Speicherung, Manipulation und Suche von Daten in relationalen Datenbankmanagementsystemen. Durch die weitgehende Normierung erlaubt SQL die Anbindung verschiedenster Software an unterschiedliche relationale Datenbankmanagementsysteme.

²⁴⁶ Das BAI/DEI hat 11 gleichzeitige Serververbindungen lizenziert.

²⁴⁷ Genauer gesagt gibt Claris keine feste Obergrenze der Installationen an. Da Claris die Anzahl der Installationen über das Lizenzzertifikat registriert, wird bei ungewöhnlich großen Installationszahlen eine Reaktion des Herstellers zu erwarten sein.

nicht notwendig. Da die Grabungskampagnen der verschiedenen Projekte nicht gleichzeitig stattfinden, wird die Obergrenze auch selten überschritten.

Dem Nachteil des proprietären Systems und der hohen Lizenzkosten stehen die einfache Nutzung, schnelle Programmierung und verlässliche Langzeitstabilität gegenüber. Die Benennung von Alternativen ist schwierig. *Microsoft Access* bietet eine ähnliche Funktionalität als Desktop-Datenbanksystem an. Die Nutzung mit mehreren Nutzern (Server) ist aber nicht möglich.

Weitere Anbieter von integrierten Datenbankentwicklungsumgebungen sind z.B. *Appian*, *Mendix* oder *OutSystems*. Die gespeicherten Daten werden dann aber bei diesen Anbietern gehostet. Ohnehin sind die Lizenzkosten deutlich höher als bei *Claris FileMaker*.²⁴⁸ Diese Produkte sind damit eher auf Geschäftsprozesse hin optimiert.

Im Bereich der *Open-Source*-Software gibt es kein annähernd vergleichbares Produkt. Dort muss man Alternativen aus einem Datenbankmanagementsystem und einer Programmiersprache selbst zusammenstellen. In Kapitel 10.2 wird ein solches System für die Langzeitverfügbarkeit der Daten diskutiert. Die Nachteile der Verwendung dieser Software liegen im deutlich höheren Eigenaufwand, denn viele *FileMaker* Funktionalitäten müssen selbst programmiert und gepflegt werden. Dies ist eine Strategie, die im Rahmen einzelner archäologischer Projekte des BAI/DEI nicht als sinnvoll erscheint. Die Kosten und der Zeitaufwand als Vorlauf zur Entwicklung des Systems, wie für die Pflege sind nicht vertretbar.

8.2.2 Das GIS-Datenbanksystem *PostgreSQL* und *PostGIS*

Nach den obenstehenden Überlegungen blieb dem BAI/DEI als sinnvolle, vertretbare Wahl nur, *Claris FileMaker* zum Datenbankmanagementsystem für die Grabungen des Instituts auszuwählen. Da aber die Speicherung von GIS-Daten in *FileMaker* nicht vorgesehen ist, wurde dieser Nachteil durch die Verwendung einer separaten GIS-Datenbank behoben. Diese hält nur speziell diesen Teil der Daten. Die GIS-Daten (z.B. Zeichnungen) werden dabei voll in die Datenbankoberfläche des Benutzers integriert.

²⁴⁸ Bei *Mendix* muss man mindestens \$2000 pro Monat bezahlen, wenn man mehr als eine Anwendung entwickeln möchte. Bei *OutSystems* sind es \$1513 pro Monat. Siehe <https://budibase.com/blog/alternatives/filemaker/> (abgerufen am 14.08.2024).

Für diese zweite GIS-Datenbank wurde als Managementsystem *PostgreSQL/PostGIS* ausgewählt. *PostgreSQL* ist ein freies objektrelationales Datenbankmanagementsystem. Mit der Erweiterung *PostGIS* kann man *PostgreSQL* zur Verwaltung von Geodaten verwenden.²⁴⁹ Bei dieser Funktionalität hat *PostgreSQL/PostGIS* ein Alleinstellungsmerkmal in der Open-Source-Welt. Nicht nur deswegen besitzt *PostgreSQL* eine große Verbreitung in nichtkommerziellen und kommerziellen Anwendungen.²⁵⁰ Die Verfügbarkeit und Weiterentwicklung sollte daher für die vorausschaubare Zukunft gesichert sein.

Die Geodaten werden in eine GIS-Datenbank auf *PostgreSQL/PostGIS*-Basis ausgelagert. Bei diesen Daten handelt es sich im Wesentlichen um die Lagedaten und Umzeichnungen der Befunde, sowie die Punktaufnahmen für Oberkanten, Unterkanten und Einzelfundaufnahmen. Mit Hilfe von PHP-Skripten werden die notwendigen Daten zwischen den Datenbanken synchronisiert.

8.2.3 Der Kartenserver GeoServer

In den Grabungsinformationssystemen Zionsberg und Tiberias werden georeferenzierte Orthofotos der Grabung in der Kartenansicht der Befunde angezeigt. Schnittleiter/innen können hier Befunde einzeichnen und sehen die Befundkanten sowie die Umzeichnung. Für die Bereitstellung der Orthofotos wird ein *Internet Map Server* (IMS) benötigt. Die Schnittstelle zum Abrufen der Karten (WMS) ist standardisiert.²⁵¹ Daher ist die konkret ausgewählte Software in diesem Falle leicht austauschbar.

Im BAI/DEI wird die Software *GeoServer* eingesetzt.²⁵² Zusätzlich zu den Orthofotos stellt der Server auch die passenden Höhenmodelle zu den Orthofotos der Grabung bereit. Damit können Höhen auch noch im Nachgang im Grabungsinformationssystem gemessen werden, was in der Auswertung, wenn kein direkter physischer Zugang mehr zur Grabung besteht, nützlich sein kann.

²⁴⁹ Siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/PostgreSQL> (abgerufen am 01.06.2024).

²⁵⁰ Unter den bekannten Nutzer finden sich auch *Microsoft*, *Amazon*, *OpenAI* und verschiedene US-amerikanische Behörden wie der *National Weather Service*.

²⁵¹ *Web Map Service* (WMS) für Pixeldaten und *Web Feature Service* (WFS) für Vektordaten.

²⁵² *GeoServer* ist ein freier *Internet Map Server*.²⁵² Der Server ist weit verbreitet und die Nutzung lässt sich kostengünstig als Service zusammen mit dem entsprechenden Cloudspeicher einkaufen. Siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/GeoServer> (abgerufen am 01.06.2024).

8.3 Die Grabungsdatenbank *Tall Zirā'a*

Die Grabungsdatenbank stellt die einfachste der hier vorgestellten Lösungen dar. Sie ist auch die erste, speziell für das BAI/DEI in den Jahren 2003ff. geschaffene Grabungsdatenbank (siehe Kapitel 3.1) und zeigte die ersten wichtigen Schritte, die gegangen werden mussten, um die Grabungsinformationssysteme Zionsberg und Tiberias in der heutigen Form zu realisieren.

8.3.1 Die „Papier-Computer-Methode“

Im Gegensatz zu den zeitlich später begonnen Projekten auf dem Zionsberg in Jerusalem und in Tiberias am See Genezareth konnte die Felddokumentation noch nicht direkt in Tablets eingegeben werden. Diese Möglichkeiten standen damals noch nicht zur Verfügung. Deshalb kamen Papierformblätter zum Einsatz, die nachmittags am PC in die Datenbank eingepflegt wurden. Neben dem Zeitaufwand für das Abschreiben, war diese Methode auch fehlerträchtig (siehe Kapitel 7.1). Immer wieder kam es bei den Auswertungsarbeiten vor, dass bei Verständnisproblemen oder bei außergewöhnlichen Einträgen ein Übertragungsfehler vom Papier in die Datenbank vermutet werden musste. Daher wurden zur Kontrolle und zum Tilgen der Abschreibfehler die Formblätter zur Referenz eingescannt und in der Datenbank zu jedem Befund hinterlegt.

Eine sekundäre Erweiterung der Datenbankprogrammierung hin zur mobilen Datenerfassung war nicht nötig, da die Hauptgrabungstätigkeiten 2011 abgeschlossen wurden und seither die Aufarbeitung sowie Veröffentlichung der Grabungspublikation im Vordergrund standen. Ein Übergang in den Tablet-Betrieb hätte keine Verbesserung der Publikationsarbeit gebracht.

Ein weiterer Unterschied zur aktuellen Arbeitsweise ergibt sich im Hinblick auf die Fotografie. Diese wurde 2003 bis 2011 separat durch Fotografen mit Digitalkameras durchgeführt und in einem Ordnersystem gespeichert, wobei die Dateien in einem einheitlichen Namensschema umbenannt wurden, welches die Auffindbarkeit der Bilder sichern sollte. In der Datenbank wurde lediglich die Existenz der Fotos vermerkt. Es wurden faktisch zwei parallele Dokumentationssysteme geführt. Eine Integration der Fotos in die Datenbank war aufgrund der Datengröße der einzelnen Fotos angesichts der damals verfügbaren

8.3 Die Grabungsdatenbank *Tall Zirāʿa*

Geschwindigkeit der Internetanbindung der Institute in Jerusalem und Amman nicht möglich.

Die Anbindung des Grabungshauses in *Umm Qēs* war nur über Mobilfunk gegeben. So war der Transfer von größeren Datenmengen ausgeschlossen. Während der Grabungen diente ein Notebook im Grabungshaus als lokaler Datenbankserver. Dessen Datenbank wurde nach der Ausgrabung per USB-Stick an die Server der Institute übertragen.

The screenshot displays a web-based database interface for 'Tall Zirāʿa' (filemaker.bai-wuppertal.de). The interface is in German and shows a form for 'Befund 5740'. The form is divided into several sections: 'Allgemein' (General), 'Boden' (Soil), 'Relationen' (Relations), 'Funde' (Findings), 'Vermessung' (Surveying), 'Befundblatt' (Findings sheet), and 'Übersichtsskizzen' (Overview sketches). The 'Allgemein' section is active, showing fields for 'Befund' (5740), 'Quadrant' (AT 122), 'Areal' (1), 'Bearbeiter/in' (KS), 'Geöffnet' (18.03.2011), 'Geschlossen' (empty), 'Datierung' (EZ II A/B (älter)), 'Stratum' (12 (2013)), 'Fundzahl' (1), and 'Fertig' (radio buttons for Ja/Nein). The 'Beschreibung' (Description) field contains a detailed text entry about field stones. The 'Interpretation' field contains the word 'Mauer'. The 'Bemerkungen' (Remarks) field is empty. On the right side, there is a list of 'Befunde in AT 122' with a scrollable list of numbers from 4047 to 4361. The bottom of the interface shows a status bar with the text: 'Erstellt 18.03.2011 16:11:10 von ks. Letzte Änderung 19.06.2012 15:56:06 von KS.'

Abbildung 8.2: Befundformular für die Grabung *Tall Zirāʿa*

8.3.2 Das Datenbankinterface im Desktop-Paradigma

Die Grabungsdatenbank konnte aufgrund der verfügbaren (damals für das BAI/DEI bezahlbaren Technik) nur am PC mit Bildschirm eingesetzt werden. Folglich war das Benutzerinterface auch auf für große Bildschirme und Mausbedienung ausgelegt. Für die Schnittleiter/innen, war das digitale Befundformular die zentrale Schnittstelle. Der Workflow in der Datenbankanwendung war so ausgelegt, dass sie diese Maske nicht verlassen mussten. Die Fundbearbeiter/innen konnten sich für ihre Eingaben auf die

Fundzettelverwaltung konzentrieren, wobei für Einzelfunde jeweils in die Fundmaske gewechselt werden musste. Insgesamt war das Ziel aber, möglichst wenige verschiedene Masken in einem Workflow zu benutzen.

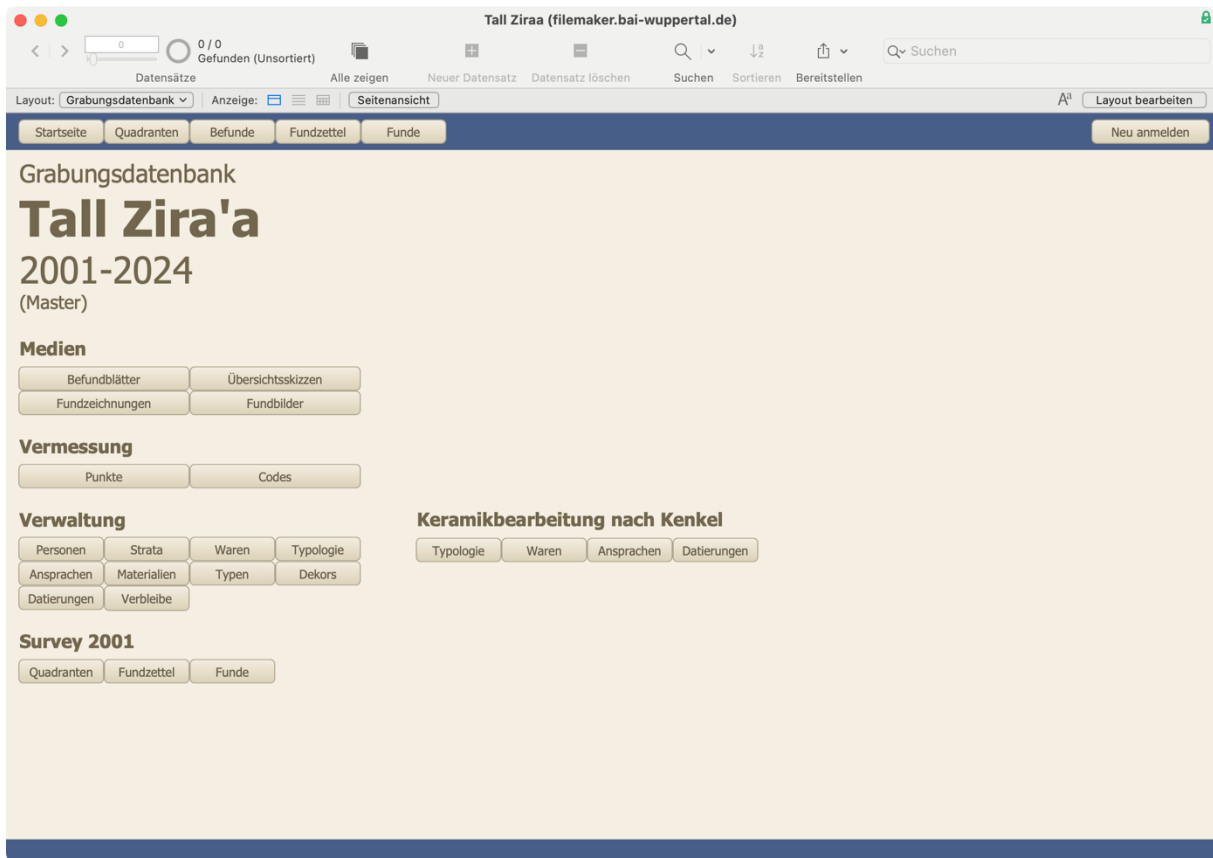


Abbildung 8.3: Datenbankinterface der Grabungsdatenbank *Tall Zira'a* – Startseite

8.3 Die Grabungsdatenbank *Tall Zirā'a*

The screenshot shows the 'Fundzettel 1131' form in the Tall Zirā'a database. The form is divided into several sections:

- Header:** Fundzettel 1131, Befund 51, Quadrant AM 119, Areal 1, Datum 03.09.2003.
- Material:** Keramik, Bearbeiter/in Dörfling.
- Table:** A table with columns: Erw., Material, Typ, Anzahl, Gewicht, Ware, Warendatierung, Neuer Fund. It contains 13 rows of data for various ceramic items.
- Warenbestimmung:** A section for determining the origin of the goods, with columns for Ware and Anzahl.

At the bottom, it says: 'Erstellt ? von . Letzte Änderung 28.11.2021 17:40:59 von KH.'

Abbildung 8.4: Datenbankinterface der Grabungsdatenbank *Tall Zirā'a* – Fundzettelformular

The screenshot shows the 'Fundformular' for Fund 101304-022 in the Tall Zirā'a database. The form is divided into several sections:

- Header:** Fund 101304-022, Fundzettel 101304, Erweiterung 22, Inventarnr. 101304-022.
- General Information:** Befund 11171, Quadrant AW 131, Areal 2, Befunddatierung (früh)röm, Stratum 06 a.b.c (Areal 2 2015).
- Material Details:** Anzahl 1, Material Keramik, Typ Henkel mit Bauchscherbe, Dekor Kochtopf, Ansprache, Datierung EZ, Referenz.
- Measurements:** Länge (cm), Breite (cm) 2.8, Höhe (cm), Dm. Öffn. (cm), Dm. max. (cm), Dm. Fuß (cm), Dm. Öff. in. (cm), Wandst. (cm) 0.80, Gewicht (g).
- Material Classification:** Keramik, Knochent, Stein/Mineral, Metall, Bodenproben, Vermessung.
- Material Details:** Keramikware CP 1, Warendatierung EZ, Textur Coarse, Typologie.
- Material Classification:** Kenkel, Petrographie.
- Material Details:** Ansprache, Datierung Bezeichnung, Datierung Beginn Ende, Datierung Beginn, Datierung Ende, Typologie, Warengruppe.
- Fundzeichnungen:** Zeichner, Datum, Anzahl Zeichnungen 0, Löschen.
- Export/Import:** Exportiert, Archiometrie, Reimportiert, Foto, ext. Nr., Verbleib Grabungshaus, Lageort.

At the bottom, it says: 'Erstellt 25.03.2011 09:16:54 von fk. Letzte Änderung 25.03.2011 16:44:24 von DV.'

Abbildung 8.5: Datenbankinterface der Grabungsdatenbank *Tall Zirā'a* – Fundformular

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

< > 1 1/7,896 Gefunden (Unsortiert) Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen Suchen

Datensätze Anzeige: Seitenansicht Layout: Befunde A^B Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde

Befund 10722

Allgemein Boden Relationen Funde Vermessung Befundblatt Übersichtsskizzen								Befunde in AW 126
Codebeschreibung	Punktnr.	Nord	Ost	Höhe	Gemessen	Quadrant	Bemerkung	
↕ Oberkante	18233	225290.98	211828.24	-19.97	07.03.2009 07:45	AW 126		10707
↕ Fund	18324	225290.22	211829.13	-20.19	08.03.2009 10:23	AW 126	Münze TZ 111202-001 hasmon. 1.	10712
↕ Unterkante	18328	225292.83	211829.63	-20.18	08.03.2009 10:26	AW 126		10713
								10722
								10725
								10726
								10727
								10728
								10730
								10748
								10749
								10752
								10753
								10765
								10766
								10795
								10796
								10802
								11035
								11049
								11544
								11549
								11606
								11607
								11608
								11609

Erstellt 07.03.2009 18:18:30 von SO. Letzte Änderung 08.07.2015 15:26:27 von JH.

Abbildung 8.6: Vermessungsdaten eines Befundes

8.3.3 Das Datenbankschema

Das Datenbankschema bildet das Modell einer stratigrafischen Grabung ab (Kapitel 1.4.1 und 1.4.3). In der Abbildung 8.7 wird die zentrale Struktur der Datenbank, d.h. Quadranten, Befunde, Funde, stratigrafische Relationen, Vermessung und Skizzen, gezeigt.

Die Hierarchie der Datenbank spiegelt, die stratigrafische Situation:

- Quadranten enthalten Befunde.
- Fundzettel werden für Befunde erstellt.
- Einer oder mehrere Funde können zu einem Fundzettel gehören.
- Befunde haben stratigrafische Relationen zueinander (siehe Kapitel 1.4.3).

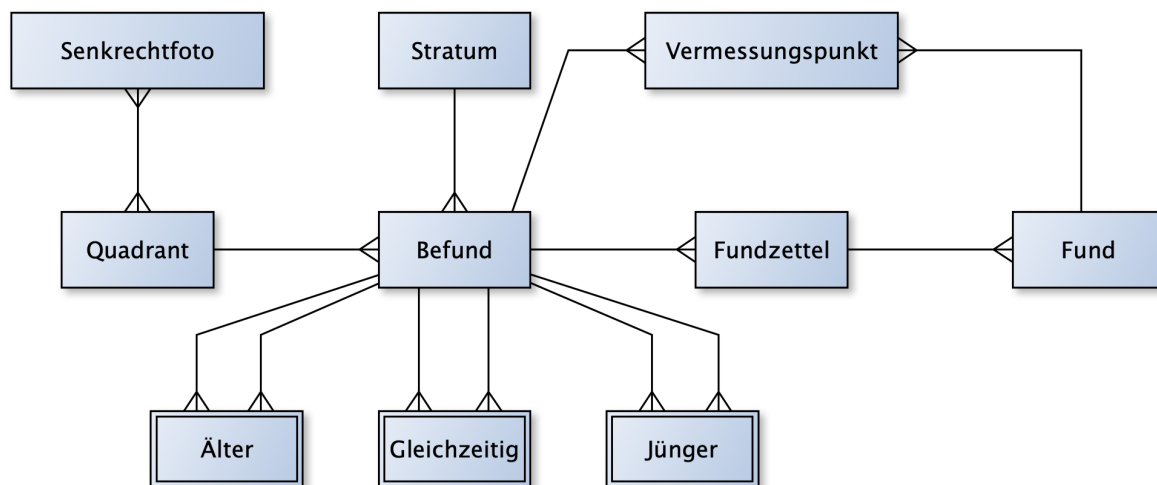


Abbildung 8.7: Datenbankschema für die Grabung *Tall Zirā'a*²⁵³

8.3.4 Ein Zwischenfazit – Mehr Integration wünschenswert

Während Zeit der Grabungen auf dem *Tall Zirā'a* (2001/2003–2011) sind in der technischen Entwicklung wesentliche Verbesserungen eingeführt worden, die das Grabungsgeschehen deutlich beeinflussen konnten: Die Digitalkameras begannen ihren Siegeszug und lösten die analoge Fotografie ab. Und das RTK-GPS (siehe Kapitel 3.1) wurde auf der Grabung eingeführt. Dieser Schritt von der optischen Vermessung hin zur satellitengestützten brachte einen enormen Effektivitätszugewinn. Flexibel konnte an allen Bereichen der Grabung ohne Unterbrechung durch die immer wieder notwendige Versetzung eines

²⁵³ Copyright: Autor.

Tachymeters vermessen werden. Für die Bedienung war nun auch nur noch eine statt zwei Personen notwendig (siehe Kapitel 4.3).

Die Grabungsfotografie war noch ein eigener Arbeitsgang – separat von der Datenbank. Die Erstellung der Grabungspläne wiederum ein eigener teilweise analoger, aber vor allem nicht mit der Datenbank integrierter Vorgang.

Die konsequente Einführung der Tagebücher für Areale und Befunde brachte einen deutlichen Erkenntnisgewinn für die Publikationsphase (siehe Kapitel 8.5.2).

Es gab bis 2011 stets parallel noch analoge bzw. teilweise analoge Arbeitsabläufe. Die Schnittleiter erstellten täglich Skizzen auf (eigentlich) digitalen Bilddaten, die ausgedruckt wurden – also analog auf Papier. Zwar war dies für die Nachvollziehbarkeit der Dokumentation ein sehr wichtiger Vorgang. Durch Einscannen lagen die Daten auch wieder im Computer digital gespeichert vor. Doch konnte dieser umständliche Weg nicht als voll befriedigend angesehen werden. Dennoch kann man sagen, dass die Senkrechtfotos, die von allen Quadranten von jedem Grabungstag vorlagen, für die Auswertungsphase von unschätzbarem Wert waren und z.T. auch als Bild in die digitale Grabungsaufzeichnung eingeflossen sind.

Da der Mobilfunk und die Mobildaten auf den Grabungsorten nur unzureichend verfügbar waren und Tabletcomputer rar und teuer, musste deren Outdoor-Einsatz für spätere Jahre aufgeschoben werden.

8.4 Die Surveydatenbank *Wādī al-‘Arab*

8.4.1 Spezielle Herausforderungen eines Surveys

Zwischen 2009 und 2012 wurde der *Wādī al-‘Arab* -Survey von Katja Soennecken und dem Autor durchgeführt. Zum Zwecke der Datenerfassung und -auswertung wurde auch dafür eine Datenbank erstellt. Erfahrungen, aus dem bereits fortgeschrittenen Projekt *Tall Zirā‘a* wurden in diese Datenbank übernommen. Wichtigstes Ziel war, dass die Datenbank das zentrale integrierte Werkzeug für den Survey und die Auswertung werden sollte.

Wie unten in Kapitel 8.4.3 beschrieben wird, sind alle Fotos in die Datenbank integriert worden. Auch die vermessenen Punkte wurden in der Datenbank gespeichert. Außerdem gab es zu jedem Fundplatz eine integrierte Kartenansicht mit *Google Maps*.

Im Vorgriff zur Integration eines GIS gab es sogar eine Exportfunktion für die verschiedenen Verteilungskarten des Surveys (siehe Kapitel 8.4.3). Dafür konnten Dateien mit den Ortsinformationen gespeichert werden, die sich schließlich in einem GIS öffnen ließen. Es war möglich die gerade angezeigten Fundorte innerhalb der Datenbankoberfläche in *Google Earth* zu betrachten.

Weitere Informationen wurden in die Datenbank integriert, die beim *Tall Zirā‘a*-Projekt keine Rolle spielten, aber bei der Durchführung und Speicherung der Daten des Survey von großer Bedeutung waren. Da dies nicht der erste archäologische Survey in diesem Bereich war,²⁵⁴ waren bereits viele Orte der untersuchten Gegend aus der Literatur bekannt. Folglich war es sinnvoll, in der Datenbank eine Literaturverwaltung zu integrieren, die über bereits untersuchte Orte und alle zu ihnen vorliegende Informationen Auskunft gab. Diese war direkt mit den einzelnen Fundplätzen verknüpft.

²⁵⁴ Siehe Glueck 1942, El-Khoury 2008, Hanbury-Tenison 1983, Mittmann 1970.

8.4.2 Das Datenbankinterface – Desktop mit Verbesserungen

Das Datenbankinterface der Surveydatenbank hatte noch große Ähnlichkeit mit dem der *Tall Zirā'a*-Datenbank. Es war weiterhin auf die Nutzung am Desktop optimiert, da auch in diesem Projekt im Feld auf Papierformularen dokumentiert wurde (Kapitel 8.3.1).

Das Interface war so angelegt, dass man möglichst selten das Fundplatzformular verlassen musste. Während der Datenerfassung konnten die wichtigsten Einträge zu Befunden, Fundzetteln, Funden und Literatur (inkl. Zitate) direkt in diesem Formular vorgenommen werden. Auch in der Auswertungsphase wurde alle dafür Informationen in dieser Maske konzentriert dargestellt.

The screenshot displays the 'Fundplatz 212/223-1' form in the Surveydatenbank interface. The form is titled 'Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)' and shows various data entry fields for a specific site. It includes sections for 'Allgemein', 'Lage', 'Beschreibung', 'Zustand', 'Arbeiten', and 'Kartierung'. The 'Allgemein' section contains fields for Kurzbezeichnung, Fundplatz, PG Ost, PG Nord, Höhe, Koordinatenherkunft, and Datum. The 'Lage' section describes the site's location relative to Wadi Zahar and Tall Zira. The 'Beschreibung' section provides a detailed account of the site's features, including a plateau, a road, and a reservoir. The 'Zustand' section describes the site's condition and its use as a water reservoir. The 'Arbeiten' section lists the survey points and their coordinates. The 'Kartierung' section includes a list of artifacts found at the site, such as Neolith, Chalkolith, and Byzantine items.

Abbildung 8.8: Fundplatzformular der Surveydatenbank

8.4.3 Mehr Integration – Die Neuerungen im Detail

Fotos

Die Vorgehensweise bei der Grabung auf dem *Tall Zirā‘a* mit einer separaten Ordnerstruktur für die Fotos stellten während der Aufarbeitung der Grabung einen großen Nachteil dar. Ein schneller Wechsel zwischen der schriftlichen Dokumentation und den dazugehörigen Fotos war nicht möglich. Deshalb musste nun nachgebessert werden:

Die Bilder mussten während des Surveys noch immer mit einer digitalen Spiegelreflexkamera aufgenommen werden. Handys lieferten noch keine annähernd vergleichbare Qualität. Die Fotodateien wurden später umbenannt und parallel in voller Größe in einer Ordnerstruktur gespeichert, aber auch parallel alle (verkleinert) in die Datenbank eingepflegt. Die simultane Erreichbarkeit von schriftlicher und fotografischer Dokumentation wurde damit ein großer Fortschritt bei der Auswertung des Surveys.

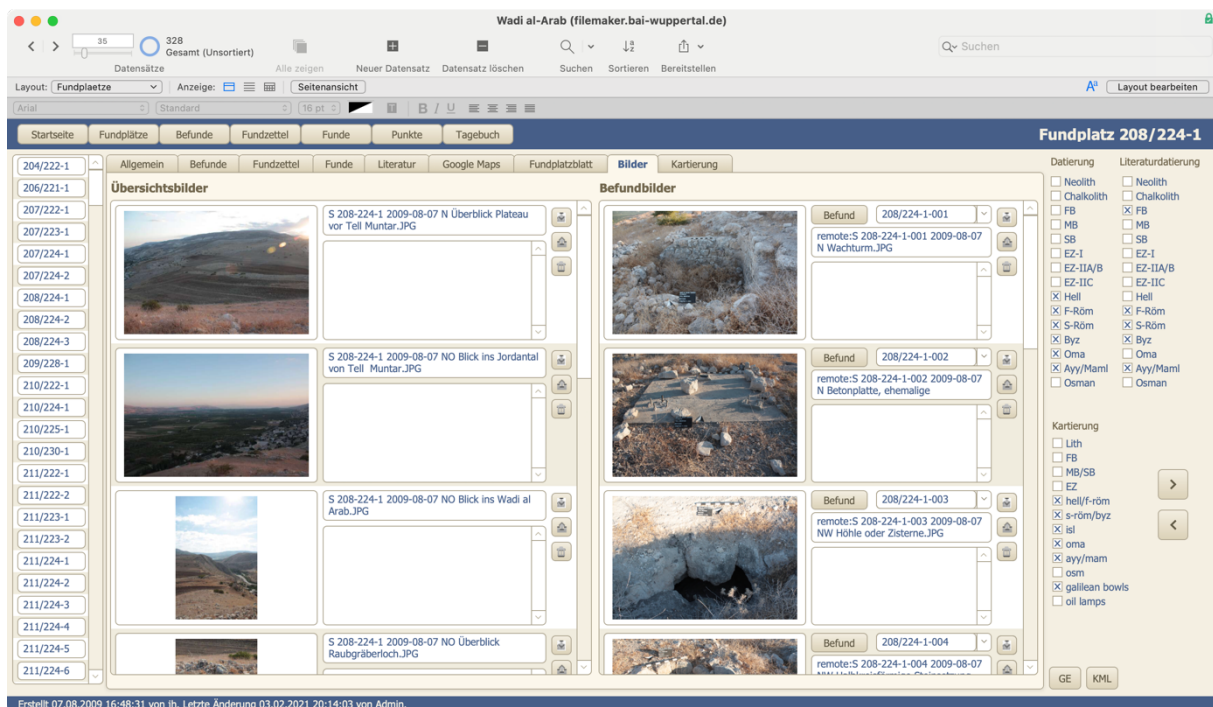


Abbildung 8.9: Bilder eines Fundplatzes in der Surveydatenbank

Literatur

Wie bereits erwähnt, wurden Informationen aus der Literatur zu den einzelnen bereits bekannten Fundplätzen des Survey-Bereichs vollständig in der Datenbank hinterlegt.

Die relevante Literatur wurde dazu eingescannt und als durchsuchbares PDF-Dokument in der Datenbank gespeichert. Damit konnten Literaturexzerpte direkt bei den Fundplätzen gespeichert werden. Sowohl in der Durchführung als auch in der Auswertung des Surveys stellte sich dies als eine sehr nützliche Übersicht heraus.

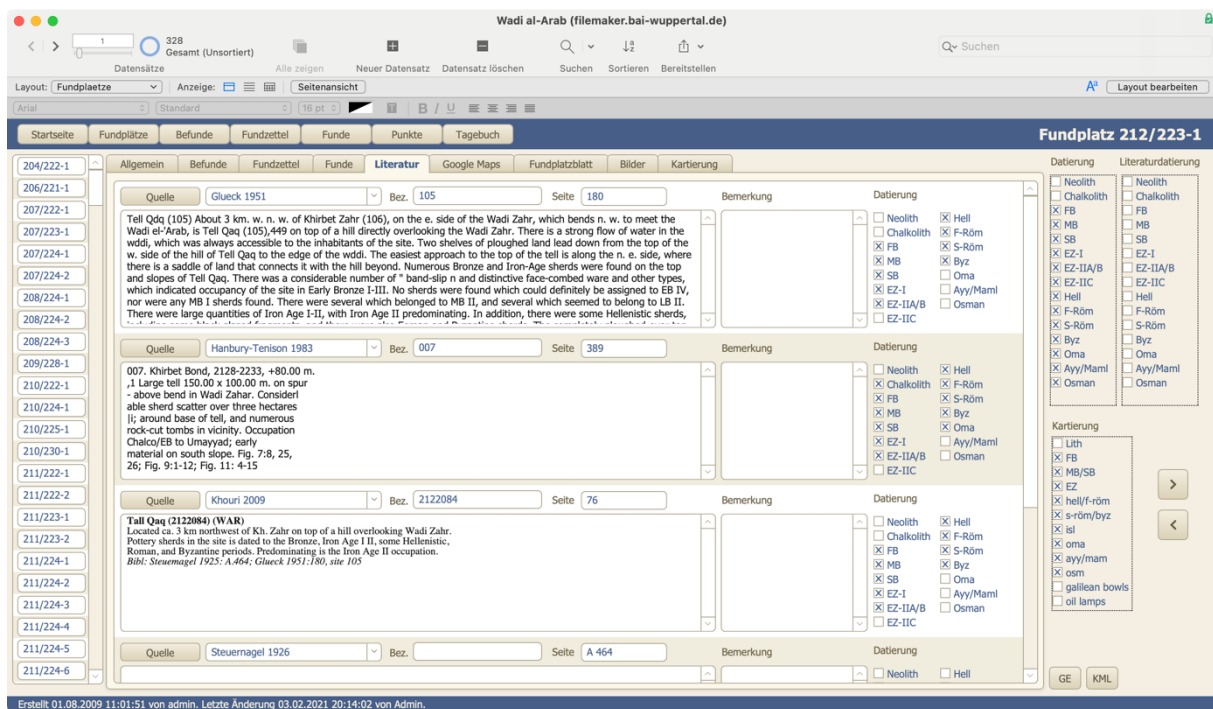


Abbildung 8.10: Literaturliste mit Zitaten eines Fundplatzes in der Surveydatenbank

Eine erste Kartendarstellung

Der Survey umfasste ein 265 qkm großes Gebiet. Die besuchten Orte mussten dabei miteinander in Beziehung gesetzt werden (Lage, Topografie, Böden, Wassermanagement, Straßen, Wege etc.). Vor allem musste die Lage eines Fundplatzes schnell visualisiert werden können, um die Informationen auch topografisch richtig einschätzen zu können. Daher wurde über eine Webschnittstelle die Lage des Fundplatzes im Formular direkt auf dem Satellitenhintergrund von *Google Maps* angezeigt.

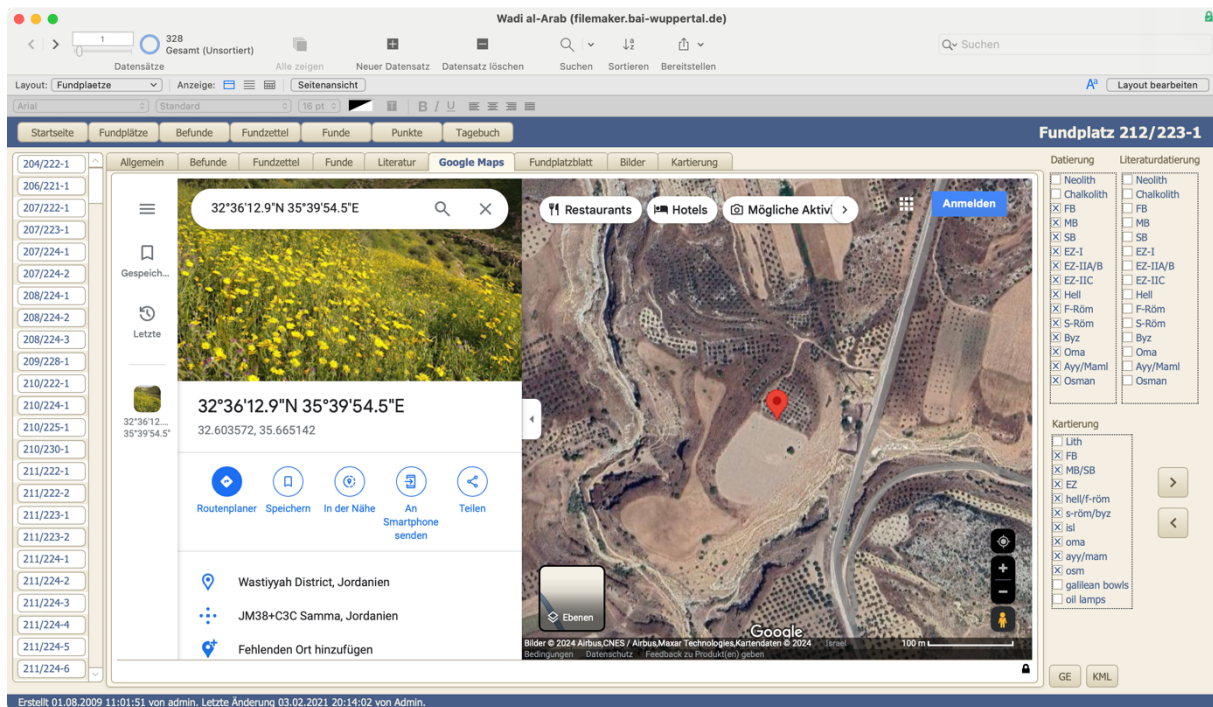


Abbildung 8.11: *Google Maps*-Ansicht eines Fundplatzes in der Surveydatenbank

Automatisierte Kartenerstellung

Für die Publikation eines Surveys war es sinnvoll Karten zu erstellen, welche die Verteilung der archäologischen Orte in verschiedenen Perioden (Neolithikum, Frühe Bronzezeit, Mittlere Bronzezeit, Späte Bronzezeit etc.), aber auch nach Größe (Stadt, Dorf, Einzelkomplex) und Art (Siedlung, Grab, Installation, Scherbenfund etc.) verzeichnete. Diese Funktionen ließen sich mit GIS sehr gut umsetzen. Deshalb wurde eine einfache Funktionalität zur Kartenerstellung direkt in die Datenbank integriert. Diese ermöglichte es, die Fundplätze nach den gewünschten Kriterien gefiltert in eine Datei zu exportieren, welche in einem zweiten Schritt in einer GIS-Desktop-Software geöffnet werden konnte.²⁵⁵

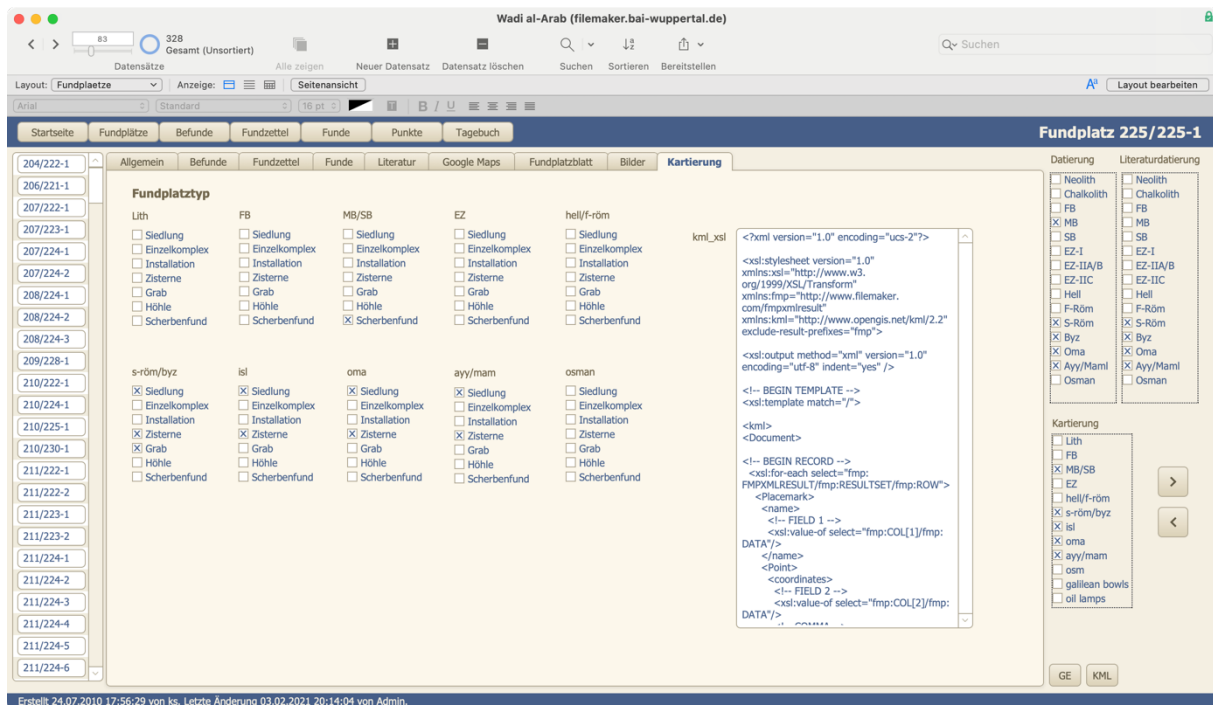


Abbildung 8.12: Exportfunktion mit den Kategorien für die verschiedenen Surveykarten

8.4.4 Das Datenbankschema

Ein Survey benötigt ein verändertes Datenbankschema gegenüber einer stratigrafischen Grabung. Das zentrale Element sind hier die Fundplätze.²⁵⁶ Um dieses herum gruppieren

²⁵⁵ Als Dateiformat wurde KML (*Keyhole Markup Language*) gewählt. In diesem Format können Geodaten in Textform in einer Datei gespeichert werden. Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language (abgerufen am 20.08.2024).

²⁵⁶ Vgl. Fowler 1990.

sich die weiteren Charakteristika: Befunde, Fundzettel, Funde, Literatur-Informationen, Bilder und vermessene Punkte.

- Die *Fundplätze* erhielten die zentralen Informationen wie Namen, Lage, Beschreibung, Zustand und die vom Survey-Team vorgenommenen Arbeiten.
- Einzelne *Befunde* wurden bei größeren Fundplätzen, wie *Talls*, beschrieben. Damit konnte man verschiedene Bereich eines Fundplatzes separat beschreiben und eine eigene Datierung dafür anlegen.
- *Fundzettel* wurden, wie bei der Grabung für die Aufnahme der (gesammelten) Funde im Feld eingesetzt.
- Die einzelnen *Funde* der wurden in der ausgewertet und hier eingetragen.
- Die *Literaturangaben* enthielten die gesammelten Angaben zu den Fundplätzen im *Wādī al-‘Arab* (Exzerpte).
- Die Fotos der Fundplätze wurden in der Datenbank gespeichert
- Ebenso die mit einem Outdoor-GPS vermessenen Punkte zu einem Fundplatz.

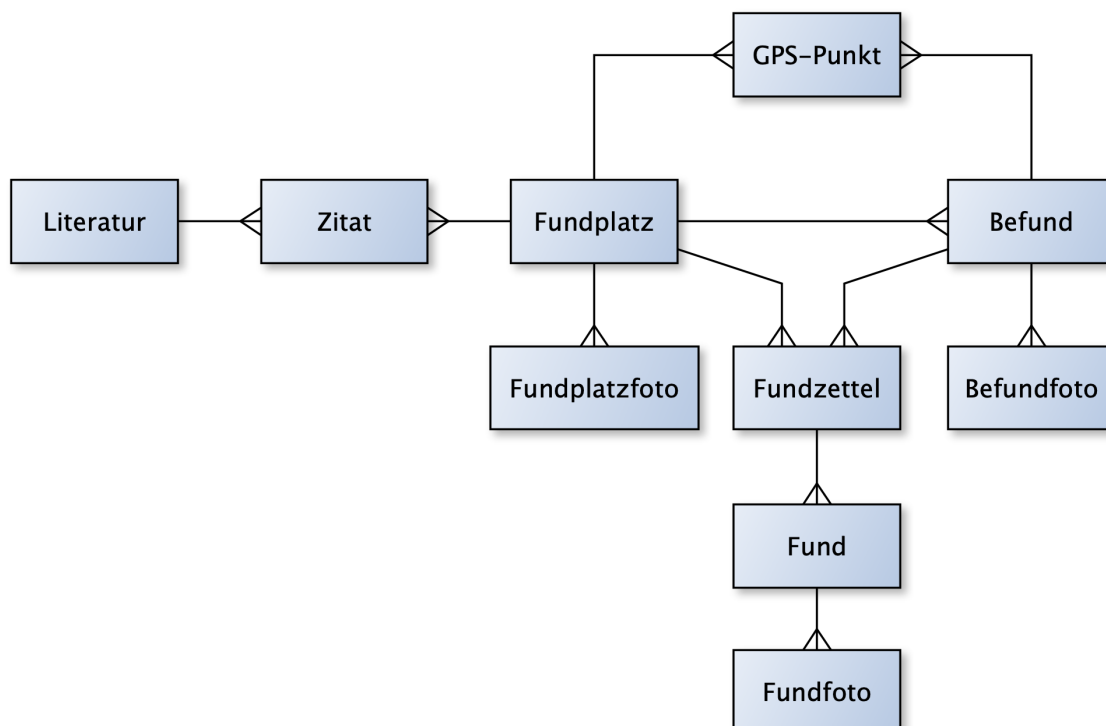


Abbildung 8.13: Datenbankschema des *Wādī al-‘Arab*-Surveys²⁵⁷

²⁵⁷ Copyright: Autor.

8.4.5 Ein Zwischenfazit – Auf dem Weg in ein integriertes System

Die Datenbank zum Survey *Wādī al-‘Arab* unterscheidet sich von den Grabungsdatenbanken, weil

- a) eigene, Survey-spezifische Dinge gespeichert und dargestellt wurden,
- b) die Fundplätze im Mittelpunkt standen.
- c) die technischen Möglichkeiten es angesichts der relativ kleineren Datenmengen (gegenüber Grabungen²⁵⁸) möglich machten, dass Fotos integriert werden konnten,
- d) für die Informationen aus der Literatur eine wichtige Quelle darstellen (Literaturverwaltung),
- e) für die Lokalisierung der Fundplätze eine einfache Kartenansicht integriert werden konnte und
- f) für die Erstellung von Verteilungskarten eine Exportfunktion zur direkten Nutzung von Daten in einem Desktop-GIS eingebaut wurde.

Aus diesem Grund stellt diese Datenbank einen wichtigen Zwischenschritt auf dem Weg zu voll digitalen und integrierten Systemen (vgl. Zionsberg und Tiberias) dar.

Der Stand der Technik war jedoch noch nicht so weit, dass eine mobile Datenerfassung mit Tablets möglich erschien. Das erste iPad kam 2010 auf den Markt und wurde 2011 bereits auf dem Survey getestet. Doch allein die Bildschirmhelligkeit im Feld (volle Sonneneinstrahlung bei orientalischer Mittagshitze) lies deutlich zu wünschen übrig. Damit war ein sinnvoller Einsatz im Feld nicht möglich (siehe auch Kapitel 3.3).

²⁵⁸ In der Surveydatenbank *Wādī al-‘Arab* gibt es 328 Fundplätze und 4524 Funde. Die Datenbank *Tall Zirā‘a* enthält zum Vergleich 7896 Befunde und 132088 Funde.

8.5 Das Grabungsinformationssystem Zionsberg

8.5.1 Realisierung der papierlosen Grabung²⁵⁹

Das BAI/DEI arbeitet seit 2015 auf dem Zionsberg in Jerusalem; seit 2021 auch in Kooperation mit der israelischen Antikenbehörde IAA. Mittlerweile wurden sieben Areale geöffnet. Diese befinden sich im anglikanisch-preußischen Friedhof, im sog. Griechischen Garten, in den beiden Gärten der Dormitio-Abtei und dem griechisch-orthodoxen Friedhof.

Ursprünglich wurde die Datenbank 2015 nach dem Vorbild des Interfaces der Grabung vom *Tall Zirā'a* erstellt. Diese wurde aber seit 2019 in mehreren Hinsichten erweitert. Damals schon kam die Idee auf, langfristig eine vollständig papierlose Grabung zu konzipieren. Dazu mussten aber viele Teilschritte der Digitalisierung und Integration unternommen werden, die aus der Grabungsdatenbank ein Grabungsinformationssystem machten.

1. Das *Interface* wurde 2019 für Touchscreens auf Tablets optimiert. Das Befundformular wurde so gestaltet, dass die Schnittleiter/innen den ganzen Arbeitstag in diesem Formular verbleiben konnten.
2. Zur gleichen Zeit wurden schon während der Kampagne (nicht nur am Ende) von Grabungsschnitten mehrere 3D-Modelle erstellt.
3. Alle *Fotos* wurden seit 2020 direkt mit der Datenbank gespeichert. Fotografiert wurde seitdem durch die Dokumentierenden mit dem Tablet. Damit entfiel die Fotografie als eigene Aufgabe und folglich die damit gebundene Arbeitskraft.
4. Für die Erstellung von *Fundzetteln* wurden 2020 mobile Drucker eingeführt.
5. Seit 2021 konnten Befunde zu Gruppen, Strukturen und Komplexen zusammengefasst werden (siehe Kapitel 1.4.4). Dies erleichtert die Übersicht über große *architektonische Einheiten*, die aus vielen Befunden bestehen und ist besonders bei der Erstellung von Plänen hilfreich.
6. Ab 2021 hatte jedes Areal und jeder geöffnete Befund ein in die Datenbankformulare integriertes Tagebuch. Dies machte das Nachvollziehen des Grabungsfortschritts deutlich einfacher.

²⁵⁹ Siehe auch Kapitel 7.2.

7. Im gleichen Jahr wurde eine Schnellnavigation zwischen den Befunden eingeführt.
8. Seit 2021 wurde die ganze Grabung regelmäßig während der Kampagne dreidimensional aufgenommen.
9. Seit 2022 wurden die Schnittleiter durch farbige Markierungen an fehlende Einträge erinnert. Dies entsprach der immer wieder einmal gemachten negativen Erfahrung aus der rückschauenden Betrachtung.
10. Die Integration täglicher Orthofotos der Grabung in das Grabungsinformationssystem wurde 2023 realisiert. Die Schnittleiter konnten direkt in das Befundformular die Lage der Befunde mit georeferenzierten Vektoren eintragen.
11. Die gemessenen Ober- und Unterkanten wurden seither auch automatisch angezeigt und mussten nicht mehr händisch in das Befundformular eingetragen werden. Vorhandene Umzeichnungen wurden auch eingeblendet.
12. Ebenso seit 2023 konnten die Arealleiter/innen auch Befunde farblich markieren, um sie mit einer wichtigen Notiz zu versehen.
13. In diesem Jahr wurde im Befundformular auch ein Übersichtsplan mit den benachbarten Befunden des aktuell ausgewählten Kontextes eingeführt.

Ein neues Interface für Desktop und Tablet

Die Einführung der digitalen Datenerfassung im Feld war der zentrale Schritt nicht nur auf dem Weg zu einer papierlosen Grabung, sondern auch zur einer vollständigen Integration aller Dokumentationsschritte in ein Grabungsinformationssystem. Daher musste im Benutzerinterface im Gegensatz zu den früheren Datenbanken nun auch eine Touchscreen-Benutzung auf Tablets eingerichtet werden.

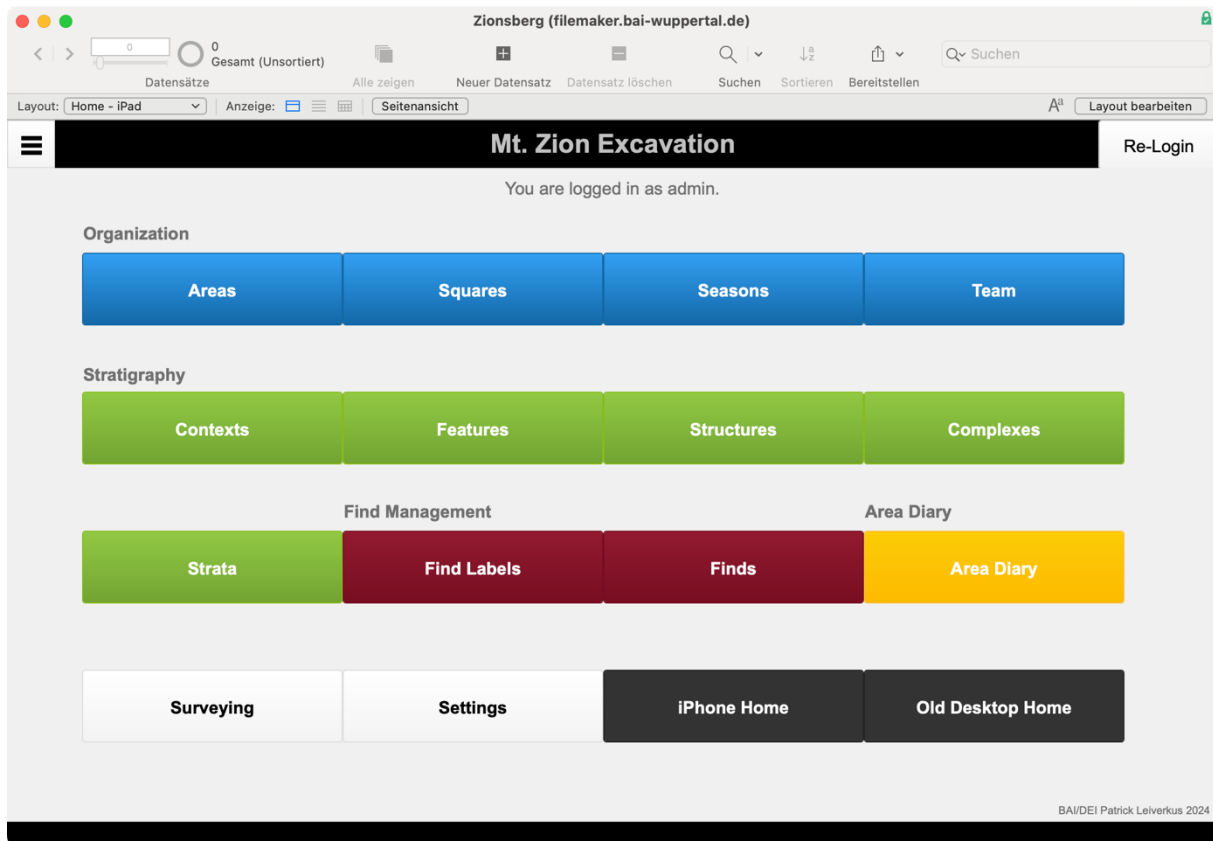


Abbildung 8.14: Startbildschirm für die Grabungsdatenbank Zionsberg, Jerusalem

Die Optimierung des Interfaces für die Touchscreen-Nutzung im Feld konnte sich nicht nur auf das Vergrößern der Eingabefelder auf Fingergröße und das Umorganisieren der Formulare für die kleineren Bildschirme beschränken. Die dokumentierenden Schnittleiter/innen sollten möglichst wenig durch die Datenbank navigieren müssen. Das Befundformular wurde daher zu einer zentralen Datenerfassungsmaske ausgebaut.

Dazu wurden

- die schriftliche Dokumentation des Befundes inkl. der stratigrafischen Relationen in diesem Formular verzeichnet,
- das Befund-Tagebuch direkt beim Befund geführt,
- die Befundfotos direkt mit dem jeweiligen Befund gespeichert und neue Fotos direkt per Tastendruck aus dem Formular heraus erstellt werden,
- zur leichten Orientierung jedem Befund ein Foto zugewiesen, das beim Öffnen des Formulars sofort sichtbar war,
- die Fundzettel direkt im Befundformular generiert und von dort ausgedruckt,

- in einer Kartenansicht die gemessenen Kanten auf dem Orthofoto der Grabung sichtbar gemacht und der Umriss des Befundes dort von den Arealleitern/innen mit georeferenzierten Vektoren eingezeichnet,
- zur weiteren Orientierung die benachbarten Befunde in einem Übersichtsplan angezeigt und
- über ein einblendbares Navigationsmenü (siehe Abbildung 8.15) die noch offenen Befunde je Arealleiters/in prioritär zugänglich gemacht.

Aufgrund der Kooperation mit der israelischen Antikenbehörde (IAA) gab es einen nicht-deutschsprachigen Mitarbeiter auf der Grabung. Daher wurde die Standardsprache des Grabungsinformationssystems in Englisch geändert. Um jeder Verwirrung vorzubeugen, wurden die Optionen in Auswahllisten weiterhin bilingual, d.h. auf Englisch und Deutsch angegeben.

The screenshot displays the 'Context 11089' form in a web browser. The form is organized into several sections:

- General:** Context Id (11089), Square (745-960), Area (5), Recorder (KS), Season (8), Date opened (26.05.2022), Date closed (31.05.2022), New Id (if applicable), Category (Erdbefund), Type ((Ver-)füllung), Find count (124), Closed (Ja).
- Dating:** s-röm byz, Certainty of dating (sicher), Stratum (4 (4-8) Late Roman/Early Byzantine).
- Elevation:** Top Elevation [m] (767.44), Bottom Elevation [m] (767.12), Marked, Action Required.
- Media:** Image (26.05.2022 12:07:46).
- Description:** South of channel, earth layer.
- Interpretation:** (Empty field).
- Notes:** (Empty field).

 The right sidebar shows a list of other contexts (11307, 11314, 11315, 11319, 11321, 11322, 11334) with a 'Recorder' dropdown set to 'KS Katja' and buttons for 'Active' and 'All'.

Abbildung 8.15: Befundformular mit geöffneter Navigationsfunktion auf der rechten Seite

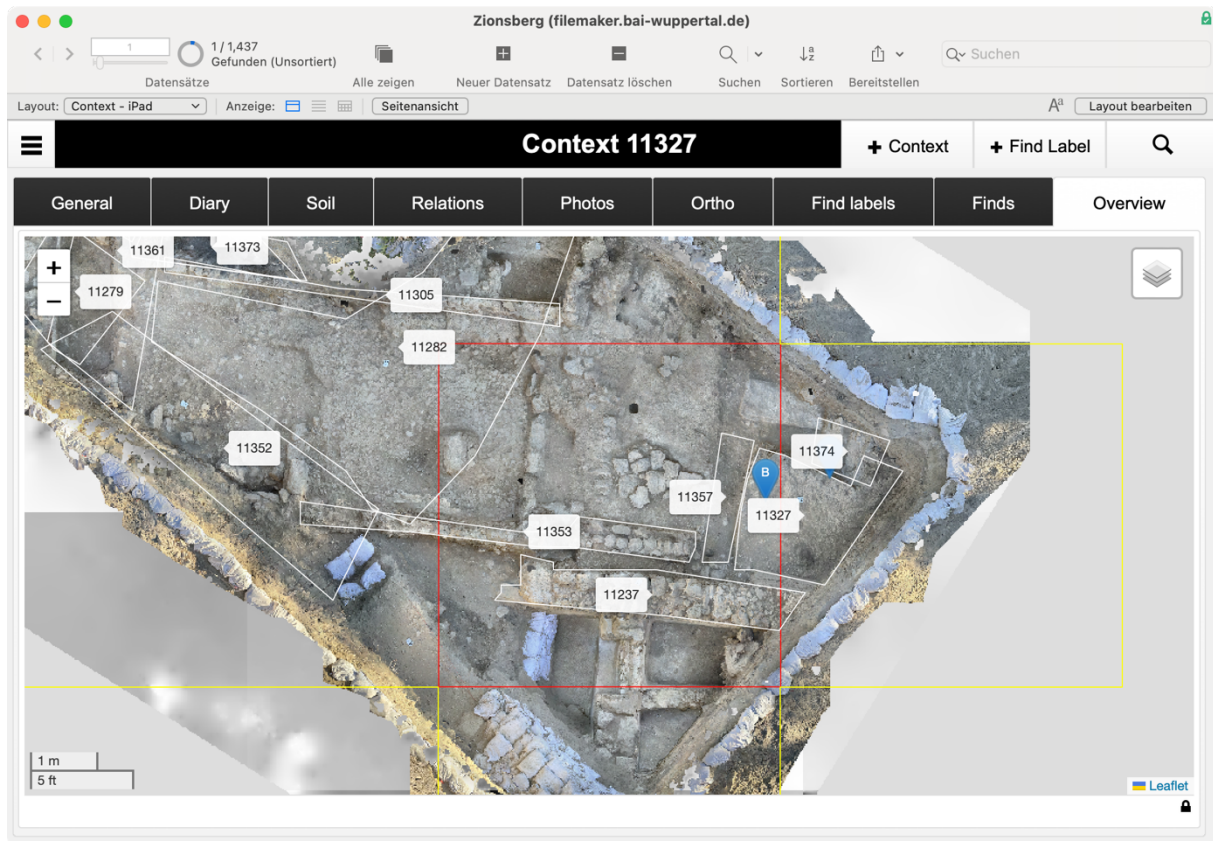


Abbildung 8.16: Befundformular – Übersicht über benachbarte Befunde

Integration von Vermessung und Fotogrammetrie

Den größten Schritt bei der Integration der verschiedenen Arbeitsabläufe von der schriftlichen Dokumentation, Skizzen bis hin zur Vermessung wurde mit der Einführung der täglichen Fotogrammetrie, den Orthofotos, geschaffen, die nunmehr auch direkt in der Datenbank einzusehen waren.

Die Senkrechtfotos hatten die aufwendigen Zeichnungen ersetzt (siehe Kapitel 5.3) – sie waren aber nicht ohne Aufwand herzustellen und parallel zur Datenbank vorzuhalten. Die Orthofotos (siehe Kapitel 5.4), die immer georeferenziert und maßstabsgerecht sind, ersetzen auf dem Zionsberg die Senkrechtfotos. Während Senkrechtfotos für jeden Quadranten einzeln erstellt wurden, deckten die Orthofotos immer ein ganzes Areal ab. Damit war eine größere Übersicht gegeben. Außerdem waren die Orthofotos auch direkt durchzeichnenbar, da alles Abgebildete maßstabsgerecht dargestellt wurde. In einem eigenen Reiter der Befundmaske wählte der/die Arealleiter/in ein passendes Orthofoto aus, welches dann in einer Plandarstellung mit dem Grabungsquadranten angezeigt wurde.²⁶⁰ Auf

²⁶⁰ Für die Kartendarstellung wird die JavaScript-Bibliothek *Leaflet* in der Version 1.8.0 eingesetzt.

dem Plan konnte der/die Dokumentierende nun mit einem Polygon den Befund markieren. Das Polygon wurde direkt in der GIS-Datenbank (siehe Kapitel 8.2.2) gespeichert. Die eingemessenen Ober- oder Unterkante des Befundes wurden ebenfalls direkt in der GIS-Datenbank gespeichert. Diese Punkte erscheinen mit einer Markierung auf dem Plan (mit Beschriftung T = Top für die Oberkante, B = Bottom für die Unterkante). Mit einem Tastendruck konnte der Arealleiter diese Kantenmessungen in die entsprechenden Felder der schriftlichen Dokumentation übernehmen.

Existierte eine digitale Umzeichnung des Befundes (mit Hilfe des Desktop-GIS, siehe Kapitel 8.5.1), wurde diese ebenfalls im Kartenfenster angezeigt, sodass eine Überprüfung über den Stand und die Korrektheit der Zeichnung pro Befund unmittelbar stattfinden konnte.

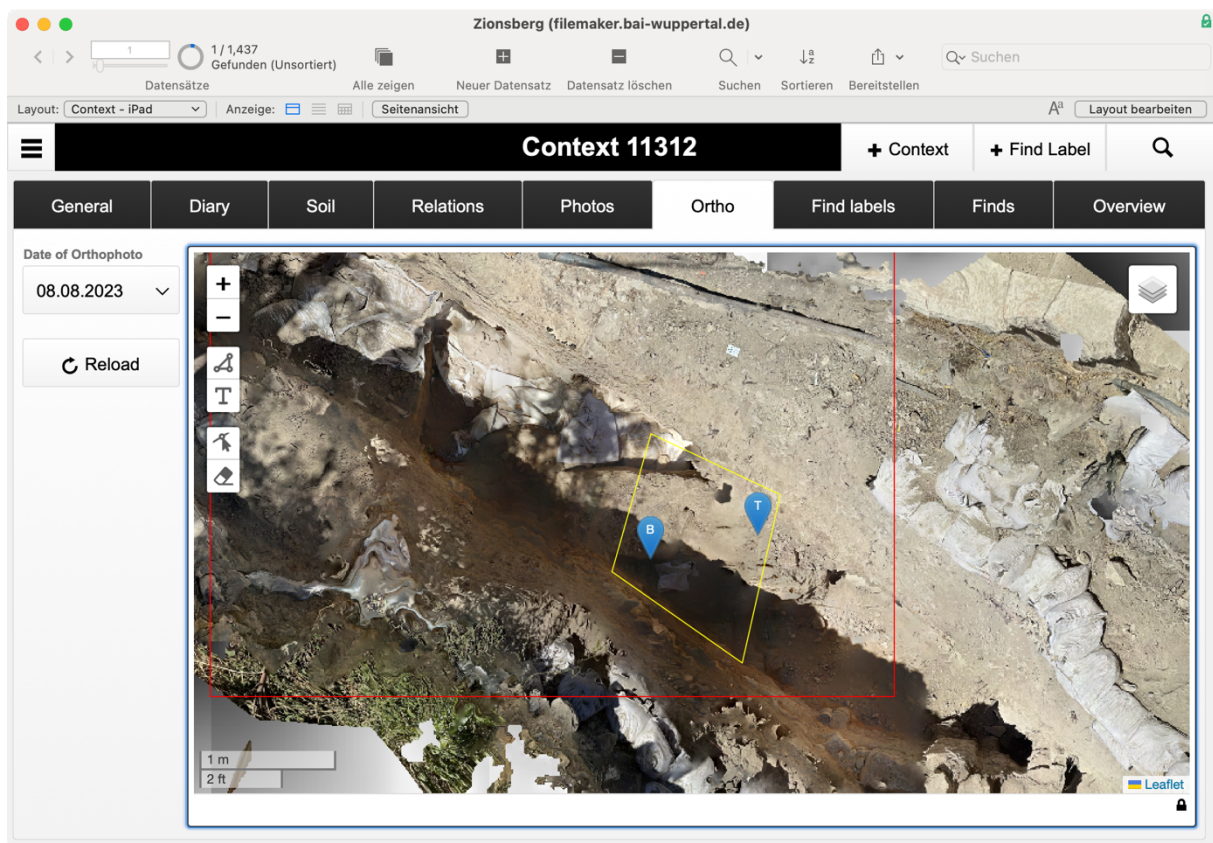


Abbildung 8.17: Orthofoto und Zeichnung im Befundformular

Mit jedem 3D-Modell und Orthofoto wurde auch ein dazugehöriges Höhenmodell erzeugt. Dieses lieferte akkurate Höhendaten (wie in Kapitel 5.4.4 diskutiert). Mit jedem Orthofoto wurde auch das Höhenmodell auf dem Kartenserver gespeichert. Im Kartenfenster

konnte daher (durch Antippen des Orthofotos) die Höhe an jeder gewünschten Stelle angezeigt werden. So kann man nun auch im Nachhinein Informationen über jegliche Höhenverhältnisse zu jedem gewünschten Grabungstag gewinnen.

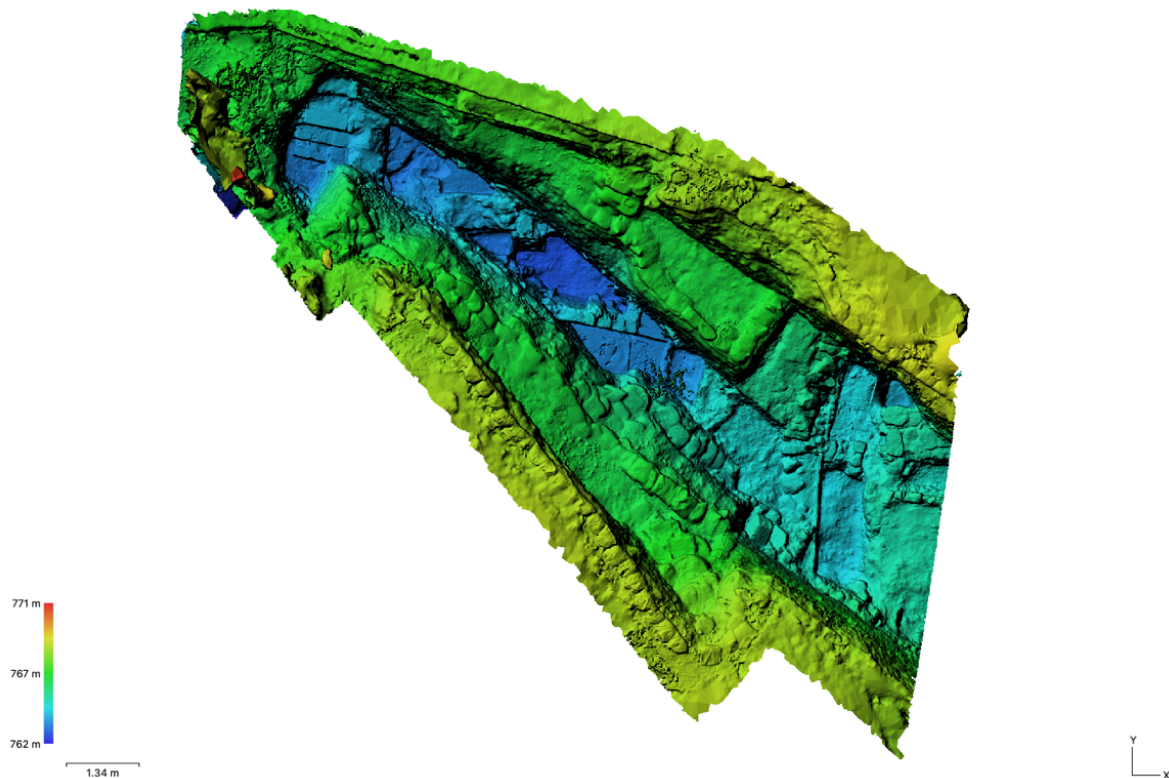


Abbildung 8.18: Höhenmodell in *Agisoft Metashape*

Wie schon in Kapitel 8.4.2 beschrieben, wurde neben der Plandarstellung eines Befundes auch eine Übersicht über die weiteren Befunde im aktuellen Quadranten in einem separaten Reiter angezeigt. Dies diente zu leichter Orientierung und half die Übersicht über die angrenzenden Befunde, die für die stratigrafischen Relationen relevant sind, zu behalten.

Fotografieren mit dem Tablet

Die Kameras aktueller Tablets sind für die Grabungsdokumentation gut geeignet.²⁶¹ Durch die größere Schärfentiefe der kleineren Sensoren, werden die Fotos verlässlich scharf. Auch kommen die von Software unterstützten Mobilgerätekameras oft besser mit starken

²⁶¹ Aktuelle *iPad*-Modelle besitzen Kameras mit mindestens 8 Megapixeln.

Kontrasten, wie sie bei orientalischem Sonnenschein herrschen, zurecht, als klassische Kameras.

Bequem und zu jedem gewünschten Zeitpunkt konnte per Tastendruck aus dem Befundformular heraus ein Foto gemacht werden, das korrekt im Befund gespeichert wurde. Foto-Beauftragte (siehe Kapitel 7.1) entfielen.

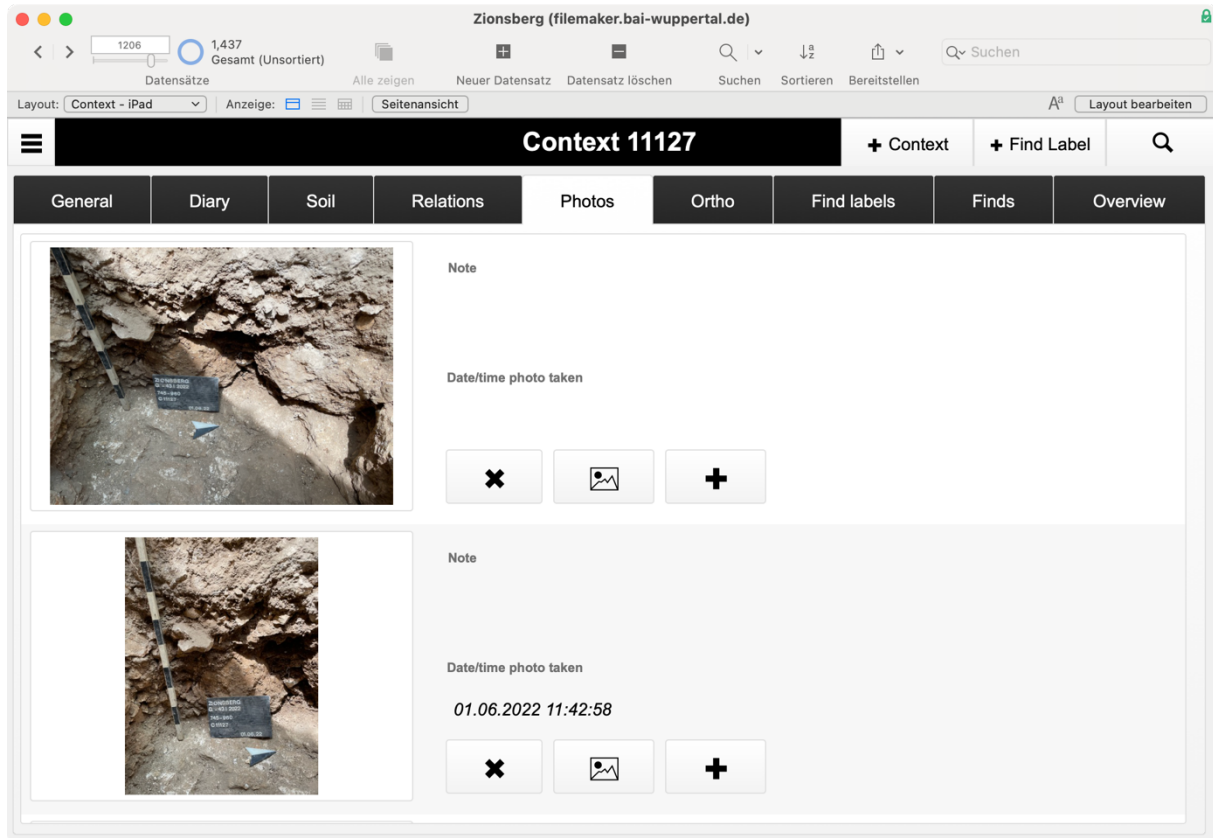


Abbildung 8.19: Fotoliste eines Befundes

Befundzettel-Druck

Die von Hand ausgefüllten Fundzettel waren von jeher die Begleitschreiben der Funde. Ohne diesen ist ein Fund nach dessen Transport zum Grabungshaus praktisch nicht mehr zuzuordnen.

Der Kampf mit der Haltbarkeit der Fundzettel über Jahrzehnte, der Schmutz und Feuchtigkeit ausgesetzt ist, war ein dauerhaftes Thema – die Lesbarkeit der Beschriftung ein anderes. Diese Probleme ließen sich weitgehend durch den Einsatz von mobilen Druckern lösen, die Fundzettel mit wasserfester Beschriftung auf Klebeetiketten herstellen.²⁶²



Abbildung 8.20: Fundzettel-Drucker im Feld und ausgedruckter Fundzettel²⁶³

²⁶² Im BAI/DEI werden die Drucker *Brother QL-820NWB* eingesetzt. Es wird über WLAN gedruckt. Durch einen Akku sind die Drucker von Stromnetz unabhängig. Eine Rolle Endlosetiketten ist 30m lang und 60mm breit. Die Fundzettel haben eine Größe von 60 x 60 mm. Es können damit etwa 500 Etiketten pro Rolle gedruckt werden.

²⁶³ Copyright: Autor.

8.5.2 Erweiterung der Datenbankstruktur – Mehr explizite Information

Neben dem komplett neuen Benutzerinterface und der Integration von GIS wurde die Datenbankstruktur mit neuen Elementen erweitert, die vor allem aufgrund der Erfahrungen bei der Auswertung der Grabung auf dem *Tall Zirā'a* eingeführt wurden.

Areal als eigene Ebene

Areale wurden als eigene Einheit in die Datenbankstruktur eingefügt. Das hatte mehrere Vorteile:

- Die Arealgrenzen konnten als GIS-Elemente gespeichert werden.
- Die Orthofotos, die pro Areal erstellt wurden, konnten zugeordnet werden.
- Das Arealtagebuch hatte seinen Platz im Arealformular.

Abbildung 8.21: Arealformular

Integration eines Tagebuchs für Areale und Befunde

Während der Zeit, in der ein Befund ausgegraben wird, entwickeln sich auch die Erkenntnisse. In einem Befundformular wird aber nur der letzte Stand der Interpretation – nicht aber der zeitliche Verlauf einer Erkenntnis gespeichert. Daher erscheint es sinnvoll, neue Erkenntnisse zu einem Befund in deren zeitlichen Abfolge zu notieren.

Zu diesem Zweck dient das Befundtagebuch, das zu jedem Befund hinzugefügt wurde, solange er aktiv ausgegraben wurde. Da man im Befundformular auch gleichzeitig die Befundfotos (nach Datum sortiert) sah, konnte nun simultan in Text und Bild der Fortschritt beim Ausgraben eines Befundes und dessen Interpretation nachvollzogen werden.

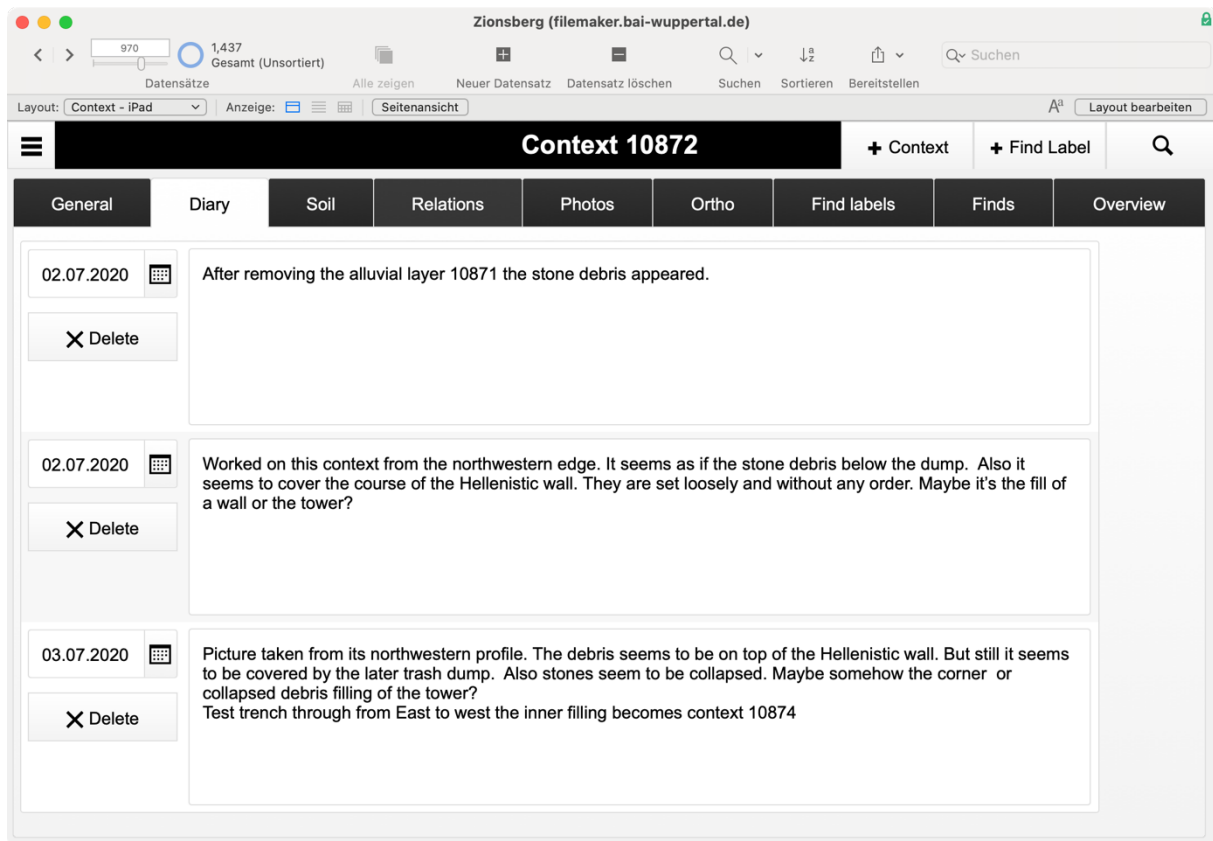


Abbildung 8.22: Tagebucheinträge eines Befundes

Jedes Areal wird durch einen/eine Arealleiter/in dokumentiert. Im Allgemeinen sind mehrere Quadranten gleichzeitig geöffnet. Wann welche Befunde und vor allem aus welchem Grund sie geöffnet wurden, ist für das Verständnis des Grabungsfortschrittes und damit für die Auswertung hilfreich. Daher sind die Dokumentierenden gehalten dies im Tagebuch zu vermerken.

Diese Tagebücher wurden direkt in das Grabungsinformationssystem integriert.

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

43 45 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen Qv Suchen

Layout: Area Diary - iPad Anzeige: Seitenansicht A³ Layout bearbeiten

Diary Entry of Area 8-2 on 02.08.2023

+ New

General

Area: 8-2 Date: 02.08.2023

Supervisor: KS Katja Soennecken

Entry

Area taken over at short notice to replace JZ, who was absent due to illness. Context 11306 opened to extend the area around the installation/bedrock, removed and closed. Due to the modern nature (and possible tomb context) no finds were taken.

Context 11307, earth on top of 11293, in front of context 11257, square area of approx. 2 x 2 m opened and excavated. Remains of bedrock/quarry reached (Context 11321) and new earth context 11322.

In the eastern part a layer of mortar/plaster was given a context number (11314) and cleaned; same with channel (11315). Earth on top of Context 11527 was cleaned (Context 11319).

Photos

X

X

Date	Area	Supervisor
02.08.23	6-1	LM
03.08.23	6-2	LM
03.08.23	8-3	JZ
04.08.23	8-3	JZ
04.08.23	8-2	KS
07.08.23	8-3	JZ
08.08.23	8-3	JZ
02.08.23	8-2	KS
03.08.23	8-2	KS
10.08.23	8-2	KS

All

Context	Category	Date opened
> 11196	Installation	24.07.23
> 11228	Erdbefund	27.07.23
> 11234	Erdbefund	27.07.23
> 11255	Erdbefund	28.07.23
> 11257	Mauer	28.07.23
> 11258	Installation	28.07.23
> 11306	Erdbefund	02.08.23
> 11307	Erdbefund	02.08.23

Abbildung 8.23: Tagebucheintrag eines Areals

Gruppe, Struktur und Komplex – „Zusammengesetzte Befunde“

Zur besseren Übersicht bei der Auswertung wurden drei Abstraktionsebenen, wie in Kapitel 1.4.4 beschrieben, eingeführt: *Gruppe* (engl. *Feature*), *Struktur* (engl. *Structure*) und *Komplex* (engl. *Complex*). Eine Gruppe (z.B. Raum) besteht aus mehreren Befunden. Eine Struktur (z.B. ein Gebäude) besteht wiederum aus mehreren Gruppen.

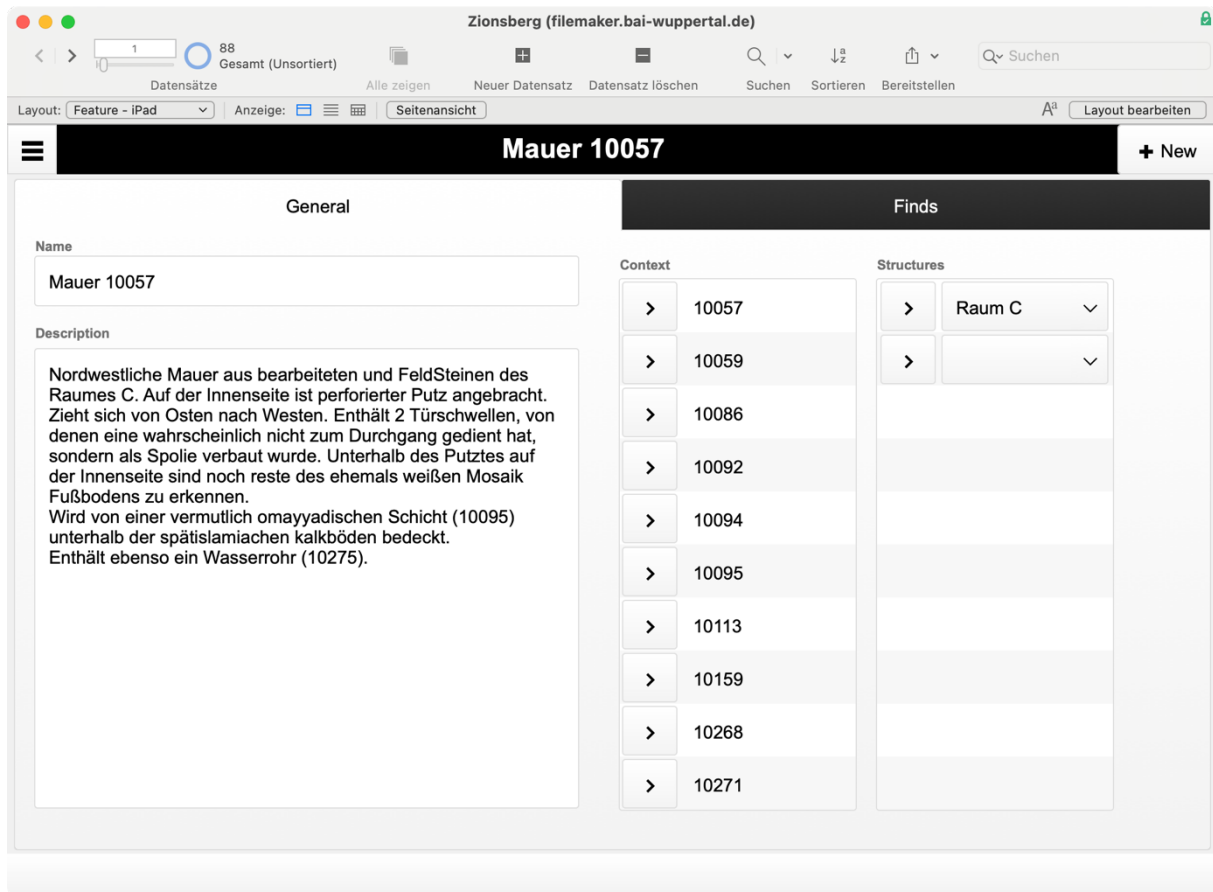


Abbildung 8.24: Gruppe (engl. Feature) in der Datenbank Zionsberg.

8.5.3 Praktische Erweiterungen für den Grabungsalltag

Das Grabungsinformationssystem muss sich auch als praktischer Begleiter der täglichen Arbeit in Feld und Auswertungsphase erweisen. Daher entstehen immer wieder neue Funktionen, die den Arbeitsalltag der Archäologen/innen vereinfachen können.

Notizfunktion für Befunde

Zu den Informationen, die dauerhaft in der Datenbank gespeichert werden – die für die Auswertung relevant sind – gibt es Informationen temporärer Natur. Die Dokumentierenden notieren sich auf „Notizzetteln“ Informationen, die sie nicht vergessen dürfen, z.B. ein ausstehendes Foto erstellen (weil im Moment der Sonnenstand ungünstig ist und Schlagschatten wirft) oder eine Beschreibung ergänzen. Ist die Arbeit erledigt, wird die Information getilgt. Dies ist nur eine momentane „Gedankenstütze“.

Aus diesem Grund wurde eine Notizfunktion direkt im Befundformular des Grabungsinformationssystems hinterlegt. Der so markierte Befund wird gelb eingefärbt und erscheint derart auch in den Befundlisten. Die Notiz wird immer dazu angezeigt, bis sie erledigt und damit gestrichen wurde.

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Context - iPad | Anzeige: | Seitenansicht | A⁰ | Layout bearbeiten

Context 10872 + Context + Find Label 🔍

General	Diary	Soil	Relations	Photos	Ortho	Find labels	Finds	Overview
Context Id 10872 Square 770-815 Area 1 Recorder JZ Season 6 Date opened 02.07.2020 Date closed 20.09.2019 New id (if applicable) 20.09.2019 Category Erdbefund Type Begehungsfläche (Stein) Find count Closed Ja Dating byz Certainty of dating Stratum 3 Byzantinisch Top Elevation [m] 745.14 Bottom Elevation [m] Marked X Action Required New photo Image 02.07.2020 6:24:38 Description Steinpackung unter 10871. Steine verschiedener Größe und vermutlich verschiedener Steinarten scheinen den vermuteten Verlauf der hellenistischen Mauer. Liegen lose und ungeordnet aufeinander. Scheinen sich unter dem Abfallhaufen durchzuziehen. Interpretation Notes Ok: 745,14								

Abbildung 8.25: Markierter und mit einer Aufgabe versehener Befund

Konsistenz-Check

Beim Ausfüllen der Attribute eines Befundes wird zwischen notwendigen und optionalen Angaben unterschieden. Sind die Felder noch nicht ausgefüllt oder mit einem nicht plausiblen Wert belegt, erscheinen sie rot hinterlegt. Beim versuchten Schließen des Befundes wird der Dokumentierende auf das Fehlen notwendiger Einträge aufmerksam gemacht.

The screenshot shows the 'Context 10947' form in the Zionsberg system. The form is divided into several sections. The 'General' section contains fields for Context Id (10947), Square (790-945), Area (4), Recorder (MC), Season (7), Date opened (12.07.2021), Date closed (28.07.2021), Category (Erdbefund), Type (Begehungsfläche (Stein)), Find count (27), Closed (Ja), Dating (modern), Certainty of dating (sicher), Stratum (1a (4-8) 19.-20. CE (Areal 4-8)), Top Elevation [m] (red), Bottom Elevation [m] (red), Marked (checkbox), Action Required (checkbox), Image (12.07.2021 10:50:51), Description (Bedrock under the fillings level.), Interpretation, and Notes. The red highlighting indicates missing or invalid data.

Abbildung 8.26: Befund mit fehlenden Einträgen (rot hinterlegt)

Höhendaten messen ohne Satelliten

Auf den Grabungen des BAI/DEI wird zur Vermessung ein RTK-GNSS eingesetzt. In seltenen Fällen (z.B. unter Bäumen oder in der Nähe von Hauswänden) kann es jedoch vorkommen, dass eine satellitengestützte Messung nicht möglich ist.

Um dann dennoch Höhen bestimmen zu können wurde ein Laserentfernungsmesser mit eingebautem Neigungsmesser²⁶⁴ angeschafft. Dieser wurde über *Bluetooth* mit Tablet

²⁶⁴ Es handelt sich um den Laserentfernungsmesser *Leica Disto X4*.

oder Smartphone verbunden. Von einem Punkt mit bekannter Höhe wurde der zu messende Höhenpunkt mit dem Laserpunkt angezielt. Durch den Neigungsmesser war der Laserentfernungsmesser in der Lage, die Höhendifferenz zu bestimmen. Über die Bluetooth-Verbindung konnten diese Messungen direkt in ein Formular des Grabungsinformationssystems eingepflegt werden.

The screenshot shows a mobile application interface for capturing elevation data. At the top, the status bar displays the time 13:37, signal strength, and battery level at 100%. Below the status bar, the app title 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)' is visible. The main heading is 'Capture Elevation'. The form contains the following fields and values:

- Befundnr:** 11321
- Code:** 21 (with a dropdown arrow)
- Referenzhöhe:** 769.13
- Höhendifferenz:** -3.76
- Höhe:** 765.37

Below the numerical fields is a 'Comments' text area. At the bottom of the form are two buttons: '+ Add' and '- Delete'. The bottom of the screen shows a standard mobile navigation bar with back, home, and forward arrows, and a plus sign for additional options.

Abbildung 8.27: Formular für die Höhenmessung mit dem Laserentfernungsmesser

Harris-Matrix-Erstellung

Im Auswertungsprozess spielen *Harris-Matrizes* als grafische Darstellung der relativen Positionen der Befunde zueinander eine große Rolle, wie in Kapitel 1.4.3 ausgeführt. Im Register *Relations* werden die entsprechenden Einträge für jeden Befund im Verhältnis zu den umliegenden Befunden gemacht. Die symmetrischen Einträge zwischen den eingetragenen Befunden werden automatisch erzeugt.

Im Quadranten-Formular können die Relationen in eine Datei exportiert werden. Mit einem Konversionstool²⁶⁵ wird daraus eine Datei mit der grafischen Darstellung der Harris-Matrix erzeugt, die sich in dem frei verfügbaren *Graph-Editor yEd*²⁶⁶ öffnen und weiterbearbeiten lässt.

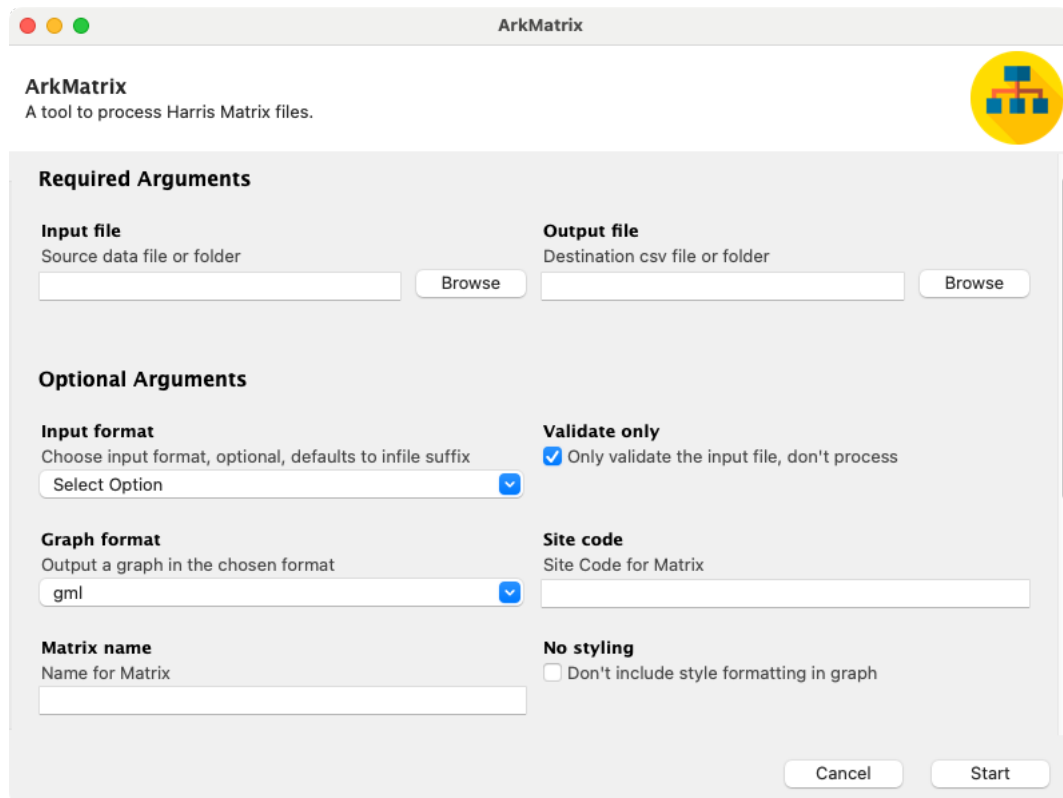


Abbildung 8.28: Konversionstool für die Harris-Matrix-Erstellung

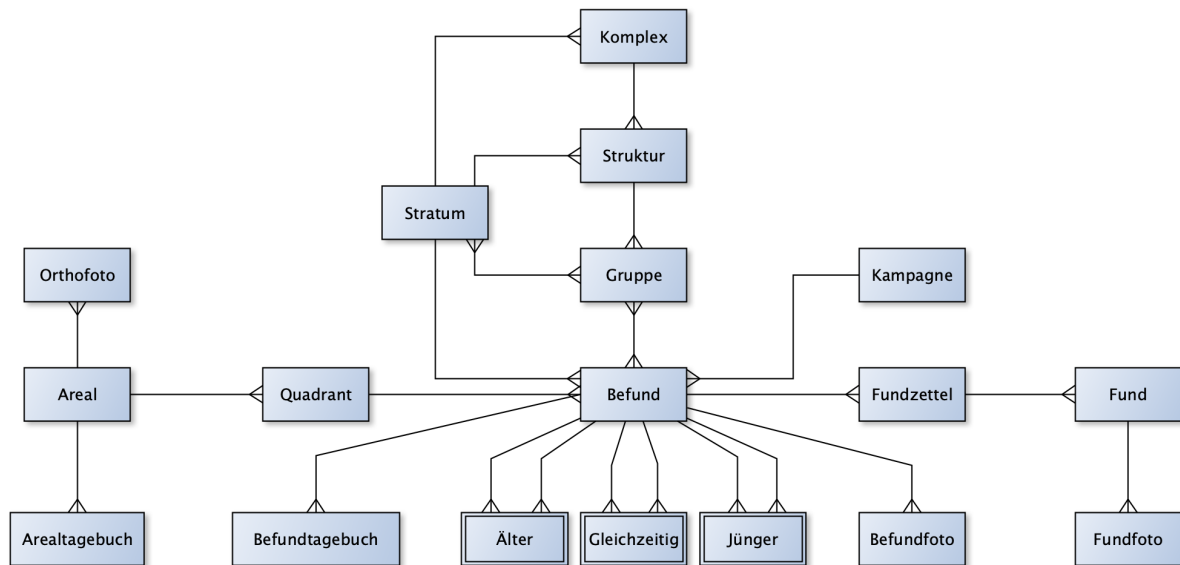
8.5.4 Das Datenbankschema

Das Datenbankschema für den Zionsberg ist eine erweiterte Version des Schemas der Grabung auf dem *Tall Zirā'a* (Kapitel 8.3.3). Neu hinzugekommen sind bei der Grabung in Jerusalem Tabellen für Areale und Fotos sowie die Befund- und Arealtagebücher.

Die GIS-Funktionalität wurde in eine separate Datenbank auf Basis von *PostgreSQL/PostGIS* ausgelagert (siehe Kapitel 8.2.2). Orthofotos und Höhenmodelle kommen vom *GeoServer* (siehe Kapitel 8.2.3).

²⁶⁵ Das Konversionstool nutzt Algorithmen aus *The Archaeological Recording Kit*, siehe <https://ark.lparchaeology.com/> (abgerufen am 22.08.2024).

²⁶⁶ Siehe <https://www.yworks.com/products/yed> (abgerufen am 28.07.2024).

Abbildung 8.29: Datenbankschema der Grabung auf dem Zionsberg, Jerusalem²⁶⁷

8.5.5 Ein Zwischenfazit – Ein mobiles Grabungsinformationssystem

Auf dem Zionsberg wurde ein großer Schritt hin zu einer vollständig integrierten Lösung der Grabungsdokumentation getan. Endlich wurden die schriftliche Dokumentation, die Befundfotografie, die Feldskizzen und die Vermessung nicht mehr als separate Arbeitsabläufe durchgeführt, sondern digital als Teile eines Gesamtprozesses eingeschlossen.

Die Einführung der Tablets und mobilen Drucker war der Schlüssel auf der Benutzerseite. Die/der Arealleiter/in hielt nun stets die ganze Dokumentation „in ihrer/seiner Hand“. Die Optimierung des Datenbankworkflows erlaubte die gesamte Erfassung der Grabung in einer Maske, dem Befundformular. Nur für das Arealtagebuch, in der Regel am Ende des Arbeitstages geschrieben, musste das Formular einmal am Tag verlassen werden.

Auf der Serverseite führte die (für den Nutzer unsichtbare) Integration dreier Serverkomponenten zum erhofften Ziel. So konnte die schriftliche (und fotografische) Dokumentation mit der GIS-Funktionalität und der Bereitstellung von Orthofotos verknüpft werden.

Dennoch blieben Nachteile auch bei dieser Form der Datenspeicherung. Mit der Technisierung und Digitalisierung stieg auch der Erklärungsbedarf. Neue Mitarbeiter/innen mussten stets in das System eingeführt werden. Unverzichtbar war eine gemeinsame Einführung aller Mitarbeitenden vor einer Grabungskampagne.

²⁶⁷ Copyright: Autor.

Das Funktionieren des Systems sind abhängig von der Verfügbarkeit des mobilen Internets, der satellitengestützten Positionierungsdaten und im Allgemeinen vom Funktionieren der Geräte. Das ist stets eine Herausforderung, auch wenn sich die verwendeten iPads und Brother-Drucker im Grabungsalltag als ausgesprochen robust herausgestellt haben.

8.6 Das Grabungsinformationssystem Tiberias

8.6.1 Sonderfall Tiberias – Alte Daten und neues Paradigma

Seit 2021 gräbt das BAI/DEI (Katja Soennecken) in Kooperation mit der *Hebrew University Jerusalem* (Katia Cytryn) im antiken Tiberias am See Genezareth. Das Projekt steht in einer Kontinuität mit Grabungen an diesem Ort seit den 1950er Jahren. Da es sich um die Fortführung eines Projektes der *Hebrew University* handelt, wurden das vorhandene lokale Koordinatensystem und die vorhandene Datenbank übernommen.

Die Datenbank auf Basis von *Microsoft Access* orientierte sich am Paradigma des *Locus-Systems* (wie in Kapitel 1.4.2 beschrieben).

Die Datenbank war nicht multinutzerfähig. Eine Touchscreen-Optimierung oder einen papierlosen Workflow gab es nicht. Ausgewählte Fotos (größenabhängig) waren aber bereits in die Datenbank integriert worden.

Die vorhandene Datenbank wurde 2020 in einem ersten Schritt als *FileMaker*-Server-Datenbank in der vollen Funktionalität nachgebaut. Alle Daten konnten in das neue System migriert werden.

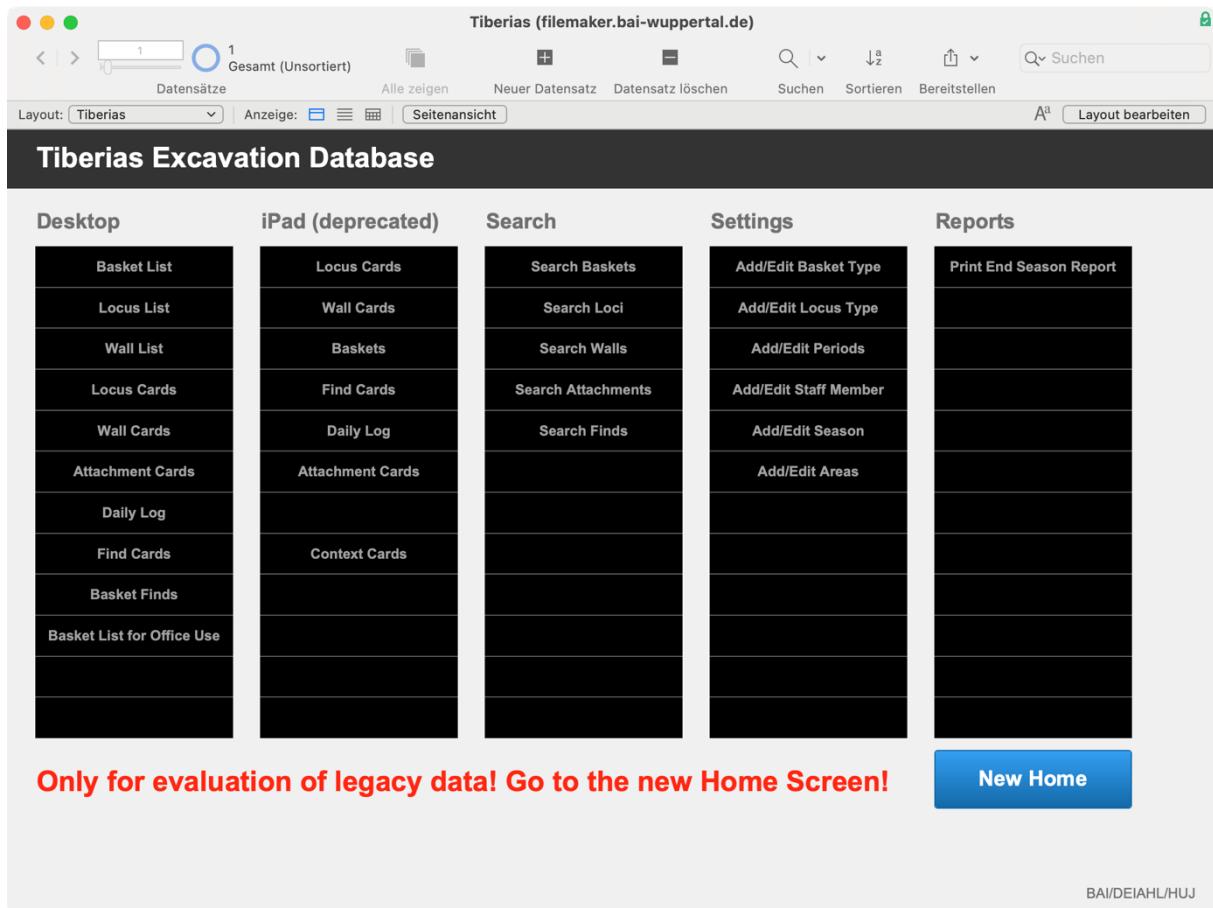


Abbildung 8.30: Datenbank der Grabung Tiberias mit alter Struktur
(in *Claris FileMaker* nachgebaut)

In einem weiteren Schritt wurde das Datenbankschema durch weitere Relationen so verändert, dass es dem Paradigma der stratigrafischen Grabung entsprach. Dazu war es insbesondere notwendig, die alten *Loci* und Mauern, welche nun als Befunde/*Contexts* angesprochen wurden, mit neuen Befundnummern zu versehen. Zuletzt wurde ein komplett neues, für die Touchscreen-Nutzung optimiertes Benutzerinterface der Datenbank implementiert.

Auch die im vorigen Kapitel beschriebene Integration einer GIS-Datenbank und eines Kartenservers für die Orthofotos wurde für Tiberias eingerichtet. Die weiterhin beschriebenen Erweiterungen, die für das Projekt Zionsberg programmiert wurden, konnten ebenso für das Grabungsinformationssystem Tiberias übernommen werden.

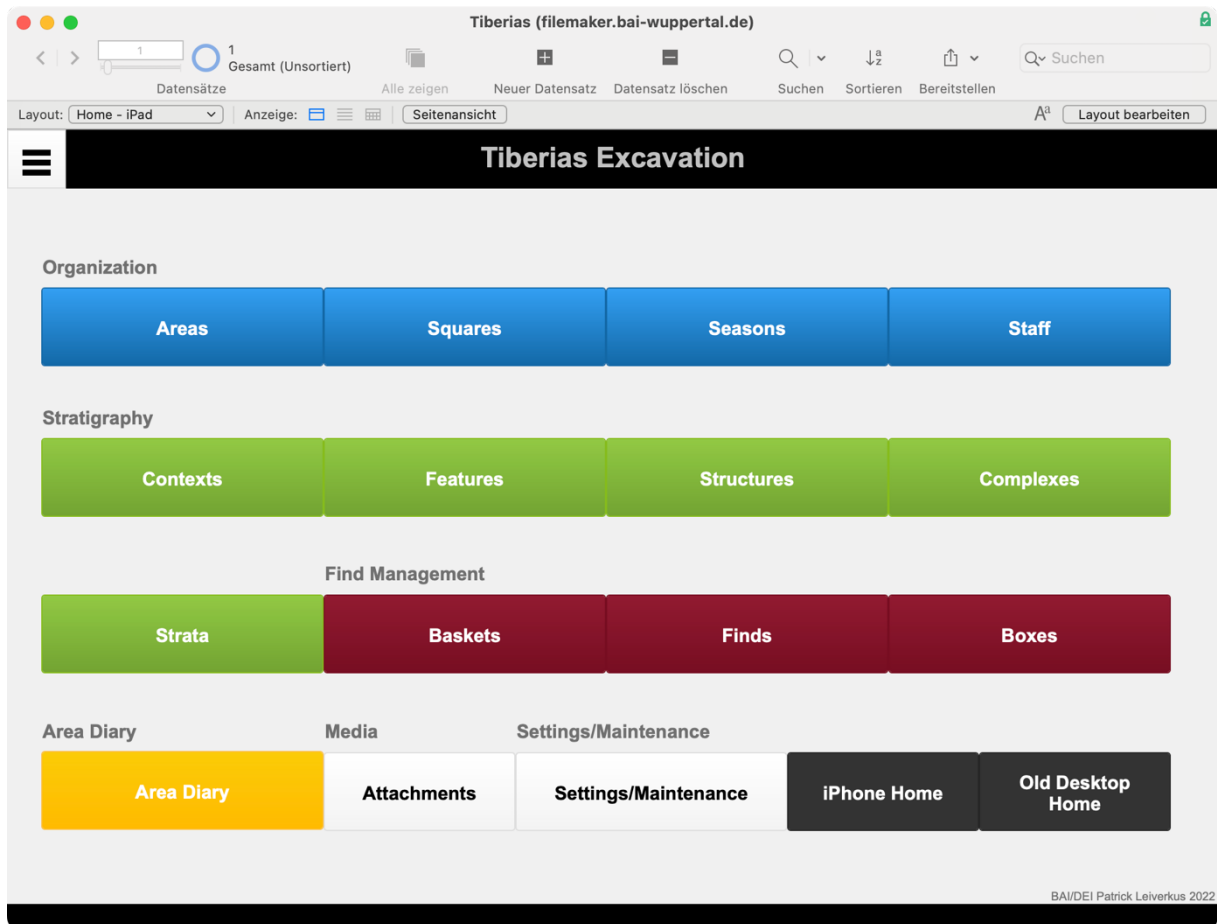


Abbildung 8.31: Datenbank der Grabung Tiberias mit neuem Startbildschirm

8.6.2 Erweiterung des Systems für neue Herausforderungen

Barcodegestützter Keramik-Workflow

Bei einer Grabung ist die Fundverwaltung ein zentrales logistisches Problem. Die anfallenden Funde müssen gekennzeichnet und für die weitere Bearbeitung vorbereitet werden.

Keramik als wichtigstes Fundgut (siehe Kapitel 2.2.2) wurde auch angesichts der Menge schon während der Grabung in Tiberias ausgewertet, während in anderen Projekten des BAI/DEI dies in der Regel erst nach der Grabungskampagne geschah. Der Workflow für Keramikbearbeitung unterteilt sich in folgende Schritte:

- *Waschen*: Die Keramik wird gereinigt.
- *Sortieren*: Die diagnostischen Scherben werden von den nichtdiagnostischen Scherben getrennt.
- *Markieren*: Die diagnostischen Scherben werden mit einer eindeutigen Fundnummer beschriftet.

- **Lesen:** Die diagnostischen Scherben werden vom Keramikexperten bestimmt. Die Informationen sollen in die Datenbank (Befund und Basket, tagesgenau) eingetragen werden.

Jeder Fundzettel²⁶⁸ wurde mit einem Barcode gekennzeichnet. Damit sind die korrekten Fundzettel direkt und schnell aufrufbar. Eine Falscheingabe der Fundzettelnummer ist so nicht mehr möglich.

War einer dieser Schritte bei einem Fund abgeschlossen, so wurde der Barcode auf dem Fundzettel mit dem Tablet oder Smartphone eingescannt. Dadurch öffnete sich direkt das Formular und der Status des Fundzettels konnte entsprechend geändert werden. Dies war eine schnelle und effiziente Hilfe für die Bewältigung der großen Zahl an Keramikfunden während des parallelen Grabungsvorgangs.

Abbildung 8.32: Smartphone-Interface für den Keramik-Workflow

Systematische Archivierung der Funde

Auf der Grabung in Tiberias fielen große Mengen an Funden während einer Kampagne an. Hier kam als weitere Herausforderung hinzu, dass die Funde an verschiedenen Orten (in

²⁶⁸ Auf der Grabung Tiberias werden die Fundzettel traditionell als *Baskets* bezeichnet.

Tiberias, an der Hebräischen Universität sowie im DEI Jerusalem) verteilt aufbewahrt wurden (und werden).

Die Funde wurden in Kisten zusammengefasst gepackt. Um die Auffindbarkeit der Funde zu gewährleisten, wurde die Tabelle *Boxes* mit entsprechender Benutzerschnittstelle eingeführt. So konnte jederzeit der Inhalt jeder Kiste/Box aufgelistet bzw. der Lagerort jedes Fundes festgestellt werden.

The screenshot shows a web application interface for 'Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main heading is 'Box 15P1'. Below this, there are two input fields: 'Name' with the value '15P1' and 'Whereabout' with the value 'DEI Jerusalem'. To the right of these fields is a button labeled 'Add Basket'. Below the input fields is a table with three columns: 'Basket Number', 'Basket Type', and 'Date'. The table contains 10 rows of data, all with 'Pottery' as the basket type. Each row has a right arrow icon on the left and a close icon (X) on the right.

Basket Number	Basket Type	Date
902259	Pottery	14.02.2023
902285	Pottery	15.02.2023
902300	Pottery	15.02.2023
902322	Pottery	15.02.2023
902401	Pottery	16.02.2023
902420	Pottery	16.02.2023
902440	Pottery	16.02.2023
902458	Pottery	17.02.2023
902465	Pottery	17.02.2023
902469	Pottery	17.02.2023

Abbildung 8.33: Box-Formular.

8.6.3 Praktische Erweiterungen für den Grabungsalltag

Dreidimensionale Aufnahmen einzelner Befunde

Zusätzlich zu den täglichen Drohnenaufnahmen kann es im Einzelfall sinnvoll sein, einen einzelnen Befund zusätzlich auch dreidimensional terrestrisch zu dokumentieren. 3D-Aufnahmen können im Befundformular der Datenbank hinterlegt werden. Dazu wird das Modell in einen Cloudspeicher gespeichert. Mit der korrekten Befundnummer findet das

Datenbanksystem automatisch die Aufnahme und stellt sie im Befundformular im zusätzlichen Reiter 3D dar.

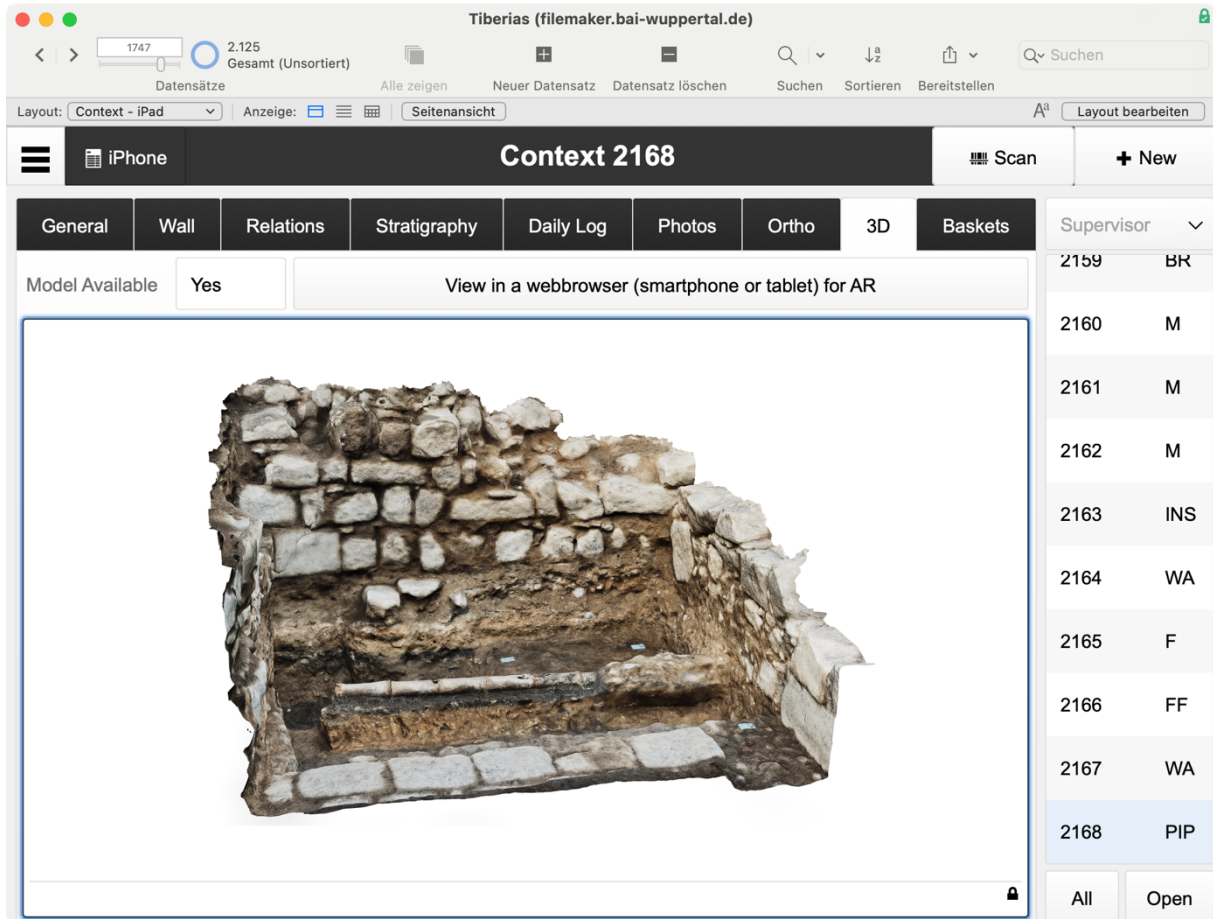


Abbildung 8.34: 3D-Aufnahme eines Befundes

Die 3D-Modelle konnten auf den im Institut eingesetzten *Apple iPads* direkt aufgenommen und erstellt werden.²⁶⁹ Die im Institut eingesetzte Software *Scaniverse*²⁷⁰ verwendet die *Structure-from-Motion*-Technik und ist damit nicht auf den nur bei den *iPad-Pro*-Modellen vorhandenen Lidar-Scanner angewiesen. Ein Export in den Cloudspeicher war direkt vom Tablet möglich.²⁷¹

²⁶⁹ Die im Institut eingesetzte Software *Scaniverse* setzt ein Apple Mobilgerät mit Prozessor A12 oder neuer voraus.

²⁷⁰ <https://scaniverse.com/> (abgerufen am 26.08.2024).

²⁷¹ Eine Möglichkeit ist die Verwendung der App *FileBrowser Professional* (<https://www.stratospherix.com/products/filebrowserprofessional/>, abgerufen am 26.08.2024). Damit lässt sich ein Ordner eines Cloudspeichers transparent in die Datei-App von *iOS/iPadOS* integrieren.

Aufgrund des begrenzten Speichers und der passiven Kühlung der Mobilgeräte ließ sich der Aufnahmebereich allerdings nicht beliebig vergrößern. Nach etwa fünf Minuten Berechnungszeit wurde erfahrungsgemäß die voreingestellte Temperaturgrenze des Prozessors im Tablet erreicht und die Modellberechnung brach automatisch ab. Für die Größe einzelner Befunde reichte diese (Berechnungs-)Grenze aber aus. Für größere 3D-Modelle musste aber noch immer die Berechnung auf den Computer ausgelagert werden. Zu diesem Zweck wurden die Fotos mit einer Tablet-Kamera gemacht.

Die Genauigkeit der Modelle aus der App *Scaniverse* unterscheidet sich bei gleichen Parametern²⁷² nicht von den im Computer mit *Agisoft Metashape* erstellten Modellen.

Zugang zur Datenbank mit dem Smartphone

Bei einer so großen Grabung wie Tiberias mit vielen Volontären und mehreren dokumentierenden Arealleitern/innen war es für die beiden Grabungsleiterinnen nicht immer leicht, zu jedem Zeitpunkt den Überblick über den Stand der Grabung zu behalten. Da ihnen nicht immer ein Tablet zur Verfügung stand, nutzten sie ihr Smartphone mit einem eigens geschaffenen Datenbankinterface speziell für die Smartphone-Nutzung. Dies war fokussiert auf zwei Abläufe: Einerseits auf den Keramik-Workflow (siehe Kapitel 2.2.2) und andererseits die Befunddokumentation im Feld.

²⁷² *Scaniverse* macht keine Angaben zu den gewählten Parametern für die Berechnung. Ein Vergleich mit *Agisoft Metashape* erzeugten Modellen mit 2 Megapixel-Bildern zeigte keinen signifikanten Unterschied.

14:14 99%

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

Status Full

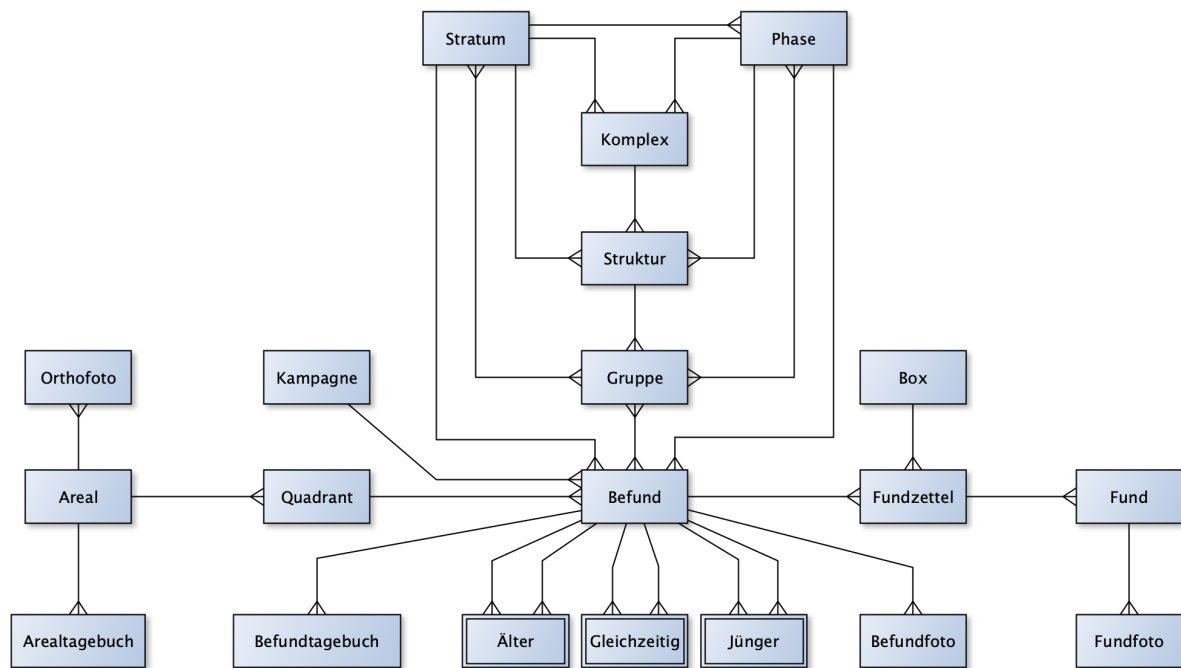
Number	Type	Supervisor
2168	PIP	JZ
Season	Square	Area
14	G29 SE	M10
Status	Top Elevation	Bottom Elevation
Closed	-202,52	-202,78
Opening Date	Closing Date	
24.02.2022	08.03.2022	
Description		
Ceramic pipe within a stone. Runs from southeast to north west.		
Each segment of the pipe has its own basket number		
Opening Reason		
Opening Reason		
Closing Reason		
ClosingReason		

Abbildung 8.35: Befundformular auf dem Smartphone

8.6.4 Das Datenbankschema

Die Datenbank enthielt, wie im vorherigen Unterkapitel besprochen, zwei parallele Relationsstrukturen. Eine für die Alt-Daten im *Locus*-System und eine für die neuen Daten im *Context*/Befund-System. Alle neuen *Contexts*/Befunde (aber auch die konvertierten *Locus*-Daten) waren dabei aber – um Konfusionen zu vermeiden – natürlich nur im neuen System und in der neuen Benutzerschnittstelle sichtbar.

Zur Referenz konnte man aber auch das alte Interface aufrufen und die Bestandsdaten in ihrer alten Form auswerten. Dies war eine Bitte der Co-Grabungsleitung der *Hebrew University*. Der Benutzer bemerkte von diesen Doppelstrukturen hinter den „Kulissen“ der Schnittstelle nichts. Die Arbeit in jeder der beiden Oberflächen war in sich und übergreifend konsistent.

Abbildung 8.36: Neues Datenbankschema der Grabung Tiberias²⁷³

8.7 Fazit

Aus den Anfängen einer Grabungsdatenbank auf dem *Tall Zirā'a* ist im Laufe der Jahre mit den Erfahrungen bei der Feldarbeit und der Auswertung ein integriertes Grabungsinformationssystem für archäologische Projekte entstanden, welches alle Arbeitsabläufe und Projektphasen in den Blick nimmt und abbildet. Dabei wurde und wird immer auf die Nutzbarkeit und Effektivität besonderen Wert gelegt, denn ohne diese ist die Akzeptanz des digitalen Workflows bei den beteiligten Mitarbeitern/innen nicht zu erreichen.

Die vorgestellten integrierten Systeme sind aus und in der Praxis entstanden. Sie reagieren in ihren verschiedenen Ausprägungen auf die speziellen Herausforderungen der einzelnen Projekte. Die Erweiterungen und Optimierungen, die sich daraus ergaben, flossen wieder in die neueren Projekte ein. So stehen die für die Grabung in Tiberias vorgestellten neuen Funktionalitäten auch bei der nächsten Grabung auf dem Zionsberg in Jerusalem zur Verfügung – und umgekehrt. Sie vorgestellten Systeme sind damit Spiegel des technisch Machbaren in ihrer Zeit.

²⁷³ Copyright: Autor.

Festzuhalten bleibt, dass es gelungen ist, die schriftliche Felddokumentation, die Vermessung, die Planerstellung, die Befundfotografie, die Fundfotografie und die Auswertung in einem kohärenten System zusammenzufassen. Im Feld können die Dokumentierenden, die für sie wichtigen Informationen zu jedem Zeitpunkt gut geordnet und aktuell abrufen.

Die 3D-Aufnahmen der gesamten Grabung finden im Wesentlichen außerhalb der Grabungstätigkeit (am Mittag) statt. Damit wird der Grabungsfortschritt nicht behindert, der Sonnenstand ist gut, keine Personen und Werkzeuge befinden sich mehr auf der Grabungsfläche und die ganze Grabung ist gereinigt. Die eingesetzte Arbeitszeit für die Vermessung und Planerstellung wird minimiert. Dennoch stehen den Verantwortlichen die Daten tagesaktuell zur Verfügung.

Außerdem gibt es eine nahezu automatisierte Berichtsstruktur: Damit wird nicht zuletzt die Zeit bis zur Abgabe der geforderten Vorberichte an die israelische Antikenbehörde IAA (siehe Kapitel 2.2.3) von Monaten auf Tage reduziert. Die vielen formale Aspekte – wie Befundkatalog, Fundzettellisten, Fundlisten, Pläne und Profile – lassen sich direkt aus dem Grabungsinformationssystem exportieren. Die ist ein nicht zu unterschätzender Vorteil bei derartigen Projekten, bei dem die Mitarbeiter/innen evtl. nur für beschränkte Zeit zur Verfügung stehen.

Damit wurde 2023 ein beim heutigen Stand der Technik sehr befriedigendes Level der Effizienz erreicht. Die Grenze dessen, was derzeit möglich erscheint, wurde erreicht. Die täglichen 3D-Modelle lassen außerdem noch Messungen an zunächst nicht beachteten Stellen zu. Die schriftliche Dokumentation steht für die Auswertung zur simultanen Nutzung aller Mitarbeiter/innen bereit.

9 Gegenwärtige Herausforderungen – Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Archäologie

Mit den in Kapitel 8 vorgestellten Grabungsinformationssystemen konnte für die archäologischen Projekte ein zunächst befriedigender Zustand der möglichst umfassenden Dokumentation archäologischer Arbeit erreicht werden. Darüber hinaus eröffnet der technische Fortschritt aber immer neue Möglichkeiten, den täglichen Workflow zu verbessern. In diesem Kapitel sollen die Chancen der Integration von Künstlicher Intelligenz, genauer gesagt des Maschinellen Lernens, für die archäologische Arbeit an zwei Beispielen evaluiert werden.

Bei einer Evaluation des bisher Erreichten stellt sich heraus, dass spezielle Arbeiten durch Computerarbeit noch effektiver durchgeführt werden können. Dabei handelt es sich um zeitintensive, manuelle Tätigkeiten, die digitalisiert werden könnten – aber auch Aufgaben, bei denen so große Datenmengen bearbeitet werden, dass sie von einzelnen Forschern/innen nicht sinnvoll bewältigt werden können.

Als Beispiel für eine zeitintensive, manuelle Tätigkeit im Grabungsworkflow, soll in Kapitel 9.2 das Umzeichnen der Orthofotos für die Grabungspläne betrachtet werden. Gerade im Bereich der Planzeichnung und -erstellung sind im Rahmen dieser Arbeit große Fortschritte durch Digitalisierung und Integration erreicht worden.

Doch das ist noch nicht das Ende. Eine automatisierte Erstellung von publikationsreifen Zeichnungen könnte den Workflow besonders in Hinblick auf die Veröffentlichung oder das Berichtswesen optimieren. Schon während der Grabung würden die Dokumentierenden auch auf die Umzeichnungen für die Markierung der Befunde zurückgreifen können.

Die umgezeichneten Zeichnungsobjekte in der Datenbank werden dann direkt den einzelnen Befunden zugeordnet.

Als zweites Beispiel soll ein (denkbar zu erstellendes) archäologisches Wissenssystem betrachtet werden (Kapitel 9.3). In der Archäologie liegen enorme Mengen an Forschungsergebnissen und -daten publiziert vor. Dazu kommen die Querverbindungen in andere historische Wissenschaften, die insbesondere auch für die Biblische Archäologie relevant sind. All diese Informationen lassen sich von einem/r einzelnen Wissenschaftler/in nicht mehr umfassend überblicken.

Deshalb erscheint es wichtig, dass gerade die in den letzten Jahren populär gewordenen *Large Language Models* (LLM)²⁷⁴ gezeigt haben, wie eine ungeheure Menge an Informationen über eine einfache Schnittstelle mit beliebiger Sprache (in Deutsch, Englisch etc.) nutzbar gemacht werden kann. Es ist daher dringend abzuschätzen, welche Möglichkeiten hier verborgen sind.

Weiterhin muss erforscht werden, wie die vorhandenen Schwächen der Modelle umgangen werden können, um diese Systeme für die archäologische Wissenschaft sinnvoll nutzbar zu machen.

Beide Beispiele sind Versuche, die noch nicht voll ausgereift sind. Ihre Aufgabenstellung ist aber so überzeugend, dass eine praktische Realisierung in der allernächsten Zukunft zu erwarten ist; zumal der technische Fortschritt hier parallel immer neue Möglichkeiten schafft. Beide Themen zeigen damit exemplarisch den Weg der nächsten Entwicklungsschritte vor, der die wissenschaftliche Arbeit der Biblischen Archäologie verändern wird.²⁷⁵

Im folgenden Unterkapitel sollen die für das Verständnis notwendigen Grundbegriffe der Künstlichen Intelligenz eingeführt werden.

²⁷⁴ Der bekannteste Vertreter ist *GPT* der Firma *OpenAI* mit dem Interface *ChatGPT*.

²⁷⁵ Für einen konzeptionellen Ausblick siehe auch Barcelo 2009.

9.1 Einführung und Grundbegriffe der Künstlichen Intelligenz

Künstliche Intelligenz (im Folgenden KI) ist eine Teildisziplin der Informatik. Hier beschäftigt man sich mit der Entwicklung von Algorithmen und Maschinen, die Aufgaben bewältigen können, die ansonsten menschliche Intelligenz erfordern. Dazu gehören z.B. Expertensysteme, die Erkennung und Verarbeitung von menschlicher Sprache und die Mustererkennung in Bildern (Segmentierung).²⁷⁶

Innerhalb des Bereichs der Künstlichen Intelligenz unterscheidet man die schwache von der starken KI. Eine schwache KI ist ein System, welches eine spezifische Aufgabe, wie z.B. eine Bildanalyse durchführen kann. Eine starke KI ist eine Maschine, die in der Lage ist, jede beliebige Aufgabe zu erledigen, die menschliche Intelligenz erfordert. Sie könnte also Probleme lösen, auf die sie nicht programmiert wurde. Das bedeutet aber nicht, dass diese Maschinen Emotionen oder ein Bewusstsein hat. Eine starke KI existiert nicht, ist aber ein langfristig formuliertes theoretisches Ziel der KI-Forschung.

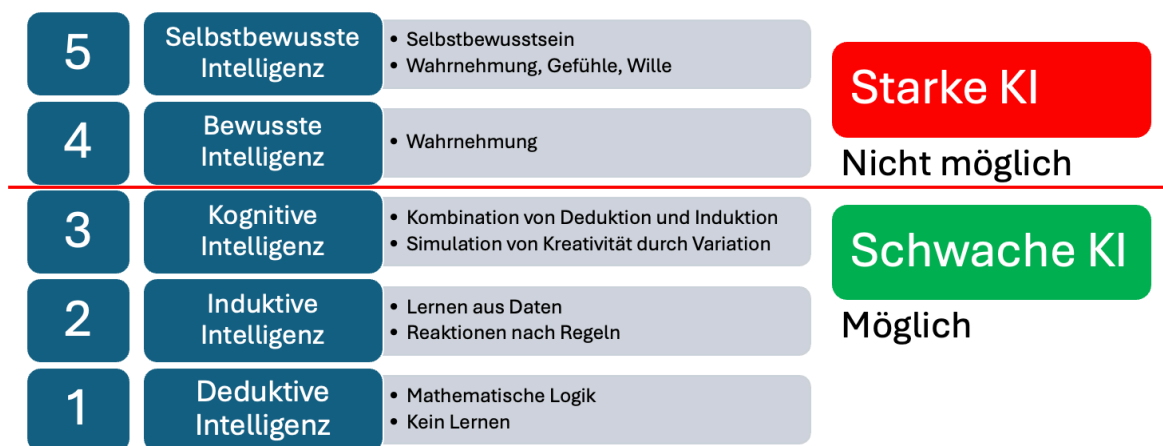


Abbildung 9.1: Stufen der Künstlichen Intelligenz²⁷⁷

Heutzutage beschäftigt man sich in der konkreten Anwendungsentwicklung der Biblischen Archäologie mit KIs, die eine spezifische Aufgabe erledigen können. Zu diesen Entwicklungsfeldern Archäologie gehören

²⁷⁶ Vgl. Kubat 2015.

²⁷⁷ Vgl. Otte 2021 und 2023.

- die automatisierte Objekterkennung von Funden (insbesondere liegt der Fokus der Forschung auf Keramik),²⁷⁸
- die automatisierte Rekonstruktion von Fundobjekten,²⁷⁹
- die Vorhersage von Fundortlagen (*Predictive Modeling*)²⁸⁰ und
- die Transkription und Übersetzung von alten Sprachen (z.B. von Texten in sumerischer oder akkadischer Keilschrift).²⁸¹

Ein wichtiger Teilbereich der KI-Forschung hierbei ist das Maschinelle Lernen (ML). In diesem Fach werden statistische Algorithmen entwickelt, die Entscheidungen oder Vorhersagen auf Basis von vorhandenen Beispieldaten treffen können. Diese Algorithmen kommen dann zum Einsatz, wenn einfache regelbasierte Systeme an ihre Grenzen stoßen. Zu den Methoden des Maschinellen Lernens gehören z.B. Entscheidungsbäume und die Regression.²⁸²

Bei der Regression wird die Abhängigkeit einer Variable von mehreren Parametern untersucht. Während man in der mathematischen Statistik an der Grundgesamtheit interessiert ist, also z.B. Schlüsse hinsichtlich der Bedeutung verschiedener Parameter ziehen möchte, so wird die Regression im Feld des Maschinellen Lernens als Methode zur Vorhersage der abhängigen Variable verstanden. Hier zeigen sich die unterschiedlichen Ziele von Maschinellern Lernen und mathematischer Statistik, die sich des gleichen Instrumentariums bedienen²⁸³.

Innerhalb des Maschinellen Lernens ist das *Deep Learning* die Klasse von Algorithmen, welche die größte Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erfährt. *Deep Learning* beruht auf Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN). Die Künstlichen Neuronalen Netze sind inspiriert von natürlichen Neuronalen Netzen bei denen miteinander vernetzte Neuronen einen Teil eines Nervensystems bilden. Informationen durchlaufen diese Netze und werden dabei von den Neuronen verarbeitet. Für ein KNN wird diese Idee übernommen. Informationen sind einfach Zahlenwerte, die in den Neuronen mit einfachen mathematischen Operationen verarbeitet werden. Dabei werden die Neuronen in Schichten sortiert. Der

²⁷⁸ Vgl. Gualandi et al. 2021 und das ArchAIDE-Projekt (*ARCHaeological Automatic Interpretation and Documentation of cEramics*) <https://archaide-desktop.inera.it/> (abgerufen am 26.08.2024).

²⁷⁹ Vgl. Marconi et al. 2023.

²⁸⁰ Vgl. Wachtel et al. 2018, Wang et al. 2023, Yaworsky et al. 2020.

²⁸¹ Hamplová et al. 2024.

²⁸² Vgl. Rebala et al. 2019 und Silaparasetty 2020.

²⁸³ Bzdok et al. 2018.

Informationsfluss wird von Schicht zu Schicht in einer Richtung weitergereicht. Die erste Schicht ist die Eingabeschicht. Die letzte Schicht ist die Ausgabeschicht. Alle Schichten dazwischen heißen versteckte Schichten. Hat ein neuronales Netz mindestens zwei Schichten spricht man auch von einem Tiefen Neuronalen Netz.

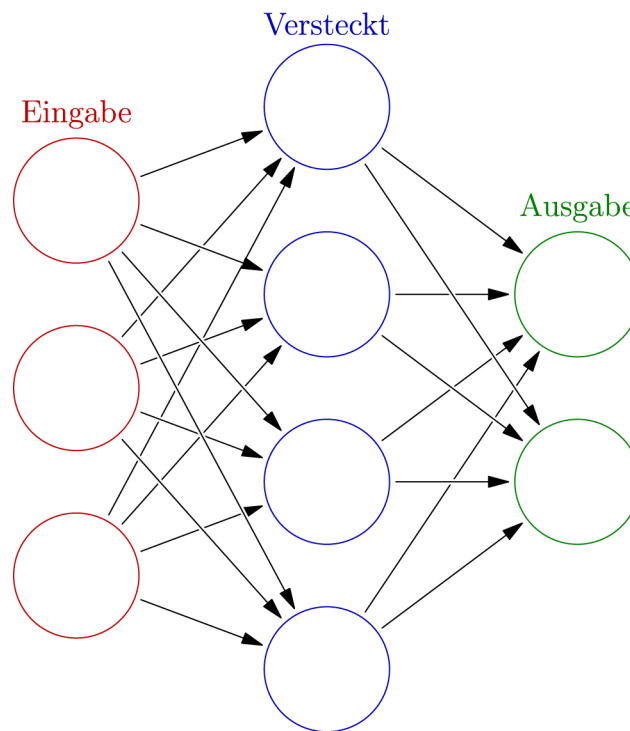


Abbildung 9.2: Aufbau eines Künstlichen Neuronalen Netzes²⁸⁴

Eine Eingabe in ein KNN erzeugt eine spezifische Ausgabe. Hat man nun eine Menge von Beispieldaten, also Eingabedaten mit der jeweils gewünschten Ausgabe, so kann man bei einer geeigneten genügend großen KNN die Parameter der einzelnen Neuronen so anpassen, dass möglichst das jeweils gewünschte Ergebnis zu den Eingangsdaten erzeugt wird. Die Anpassung der Parameter nennt man Training und die gesamten Verfahren dazu werden unter *Deep Learning* zusammengefasst.

KNNs sind im Allgemeinen so groß, dass der Einfluss eines einzelnen Parameters eines Neurons nicht mehr zu beurteilen ist. Auch die Parameter in ihrer Gesamtheit sind als solche nicht mehr beurteilbar. Man kann aus diesen direkt keine Schlussfolgerungen ziehen. Dies ist anders als noch in der Regressionsanalyse. Daher beurteilt man die Qualität eines

²⁸⁴ Copyright: Erik Streb, Wikimedia Commons, Lizenz: [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#).

trainierten KNNs anhand von Testdaten. Das sind bekannte Daten, die aber nicht Teil der Trainingsdaten sein dürfen.

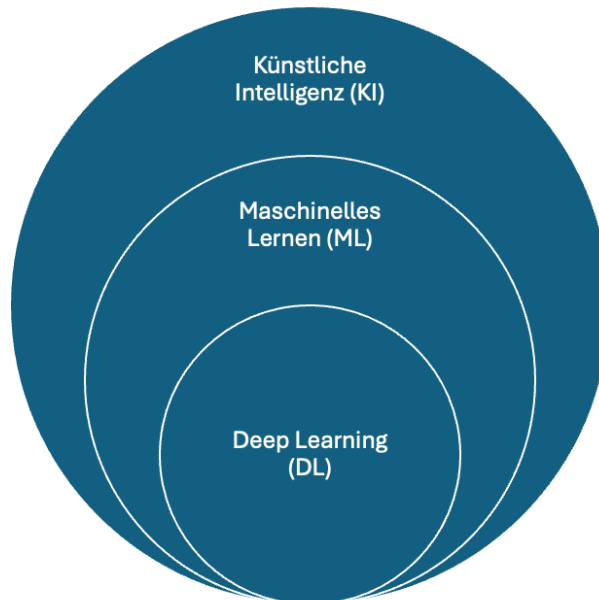


Abbildung 9.3: Künstliche Intelligenz – Maschinelles Lernen – Deep Learning²⁸⁵

Deep Learning bleibt dabei ein statistisches Verfahren, das heißt es ist mit einer gewissen Ungenauigkeit oder einem Fehler behaftet. Wie groß der tolerierbare Fehler ist, hängt vom Anwendungsfall ab.

Ein heute übliches KNN kann Millionen oder vielleicht auch Milliarden Parameter enthalten. Das Training ist computertechnisch aufwendig und geschieht in der Praxis auf spezieller Hardware. Auch braucht man eine enorme Menge an Beispiel- sowie Testdaten. Daher ist es üblich, dass für spezielle Anwendungen nicht ein KNN von Grund auf neu trainiert wird, sondern ein schon vortrainiertes KNN mit eigenen Daten weitertrainiert und damit angepasst wird. Selbst dabei ist oft die große Menge an benötigten Beispieldaten ein Problem.

Eine Methode, um die Menge an Beispieldaten gering zu halten ist das *Human-in-the-Loop-Machine-Learning*. Hier werden eine kleine Zahl Trainingsdaten in das KNN-Modell gegeben. Ist das Ergebnis fehlerhaft wird es durch einen Menschen korrigiert. Mit dieser

²⁸⁵ Copyright: Autor.

Korrektur wird das Modell trainiert. Dies wiederholt man so lange bis das Ergebnis akzeptabel ist. Auf diese Weise kann man mit sehr wenigen Beispieldaten das KNN-Modell optimieren.

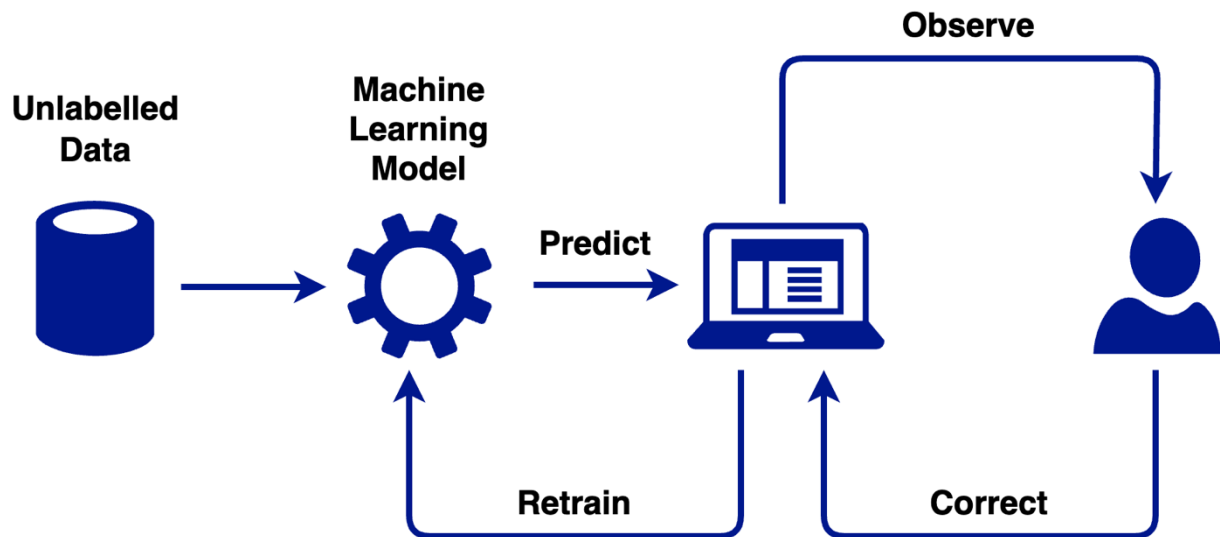


Abbildung 9.4: *Human-in-the-Loop-Machine-Learning*²⁸⁶

9.2 Erstes Beispiel – Die Segmentierung von Orthofotos

Klassischerweise wird ein Grabungsplan mit Hilfe von Skizzen, die im Feld auf Millimeterpapier gezeichnet werden, erstellt. Im Workflow des DEI sind die Feldskizzen durch Orthofotos, die mit der *Structure-from-Motion*-Technik aufgenommen werden, ersetzt. Die Orthofotos werden dann im GIS in georeferenzierte Vektordaten umgezeichnet. Die Digitalisierung geschieht dann manuell mittels mausbasiertem „Durchpausen“. Diese Arbeit ist immer noch zeitaufwendig, wenn auch nicht mehr so zeitintensiv wie bei der klassischen Methode.

Da der Arbeitsablauf aber bereits digitalisiert ist, legt sich eine Automatisierung der Digitalisierung nahe. Das aufwändige Nachzeichnen muss genauer und schneller werden. Ein solches Verfahren der Mustererkennung in Bildern wird in der KI als Segmentierung bezeichnet.

In der Zellbiologie fallen tatsächlich eine große Menge an Mikroskopbildern von Zellhaufen an, die quantitativ und qualitativ ausgewertet werden müssen. Auch dies ist ein Segmentierungsproblem.

²⁸⁶ Erstellt vom Autor. Vgl. Smith et al. 2022, Abbildung 1.

Cellpose ist ein *Deep-Learning-Algorithmus*, der mit einer großen Zahl verschiedenster segmentierter Zellbilder trainiert wurde. Die Autoren sprechen in der ersten Version von über 70 000 Bildern.²⁸⁷

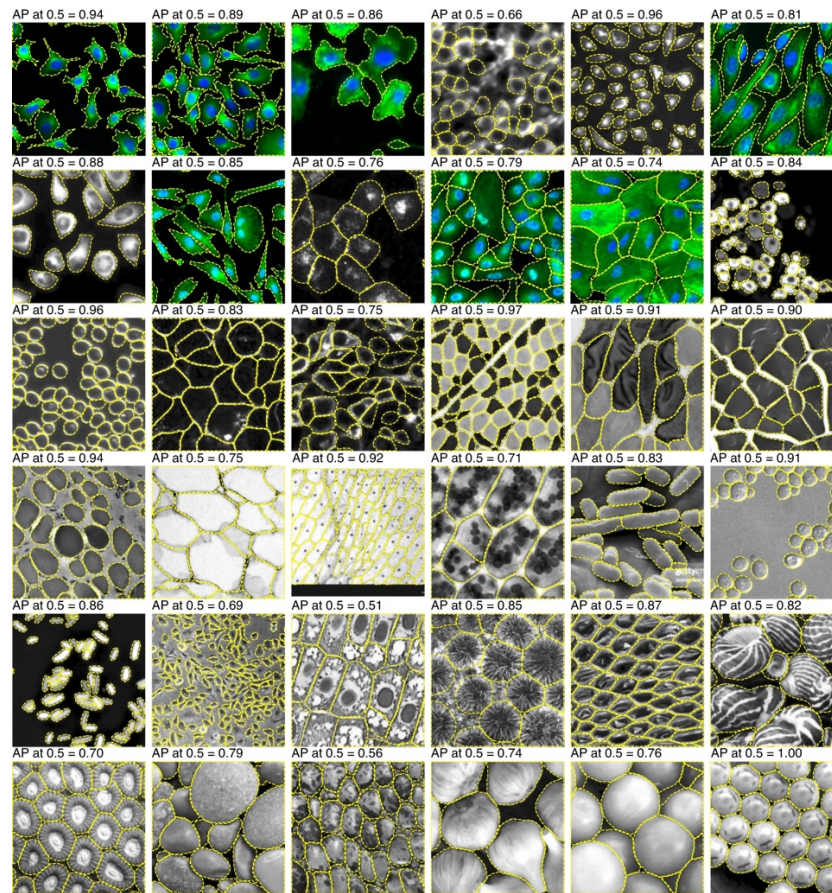


Abbildung 9.5: Beispiele von Segmentierungen mit *Cellpose*²⁸⁸

Den Entwicklern von *Cellpose*²⁸⁹ ist deren Weiterverwendbarkeit bewusst. Ab Version 2²⁹⁰ bietet das System eine grafische Schnittstelle für das *Human-in-the-Loop-Machine-Learning*.²⁹¹

Zur Nutzarmachung von *Cellpose* für die Segmentierung auf den Grabungen des DEI wurden mehrere Orthofotos der Grabung in Tiberias aus dem Jahr 2022 ausgewählt.²⁹²

²⁸⁷ Stringer et al. 2021.

²⁸⁸ Stringer et al. 2021, Abb. 2.

²⁸⁹ Carsen Stringer, Tim Wang, Michalis Michaelos und Marius Pachitariu vom HHMI Janelia Research Campus in Ashburn, Virginia.

²⁹⁰ Stringer et al. 2022.

²⁹¹ Ab der Version 3 kann *Cellpose* sogar mit Bildfehlern wie Unschärfe und Rauschen umgehen (siehe Stringer et al. 2024). Bildfehler sind für den Anwendungsfall der Segmentierung der Orthofotos allerdings nicht relevant.

²⁹² Damit der Algorithmus die Steine unabhängig von der Ausrichtung erkennt, wurde auch rotierte Varianten der Fotos eingesetzt.

Diese Fotos boten sich an, da die hier eine große Menge an Mauern auf einer begrenzten Fläche ergraben wurden.

Cellpose bietet gleich mehrere Modelle zur Segmentierung an. Die Autoren bezeichnen dies als ihren „Modellzoo“. Einen Parameter muss man allerdings vorgeben, und zwar den erwarteten Zelldurchmesser in Pixeln. In einem ersten Schritt wurden die Orthofotos mit verschiedenen Modellen und Zellvorgaben durch *Cellpose* segmentiert. Dabei wurde das Ergebnis im Verhältnis zu einer korrigierten sehr guten Segmentierung ausgezählt und prozentual bewertet. Dabei wurde der Anteil der korrekt segmentierten Steine sowie der Anteil der fälschlicherweise segmentierten Steine notiert.



Abbildung 9.6: Trainingsbild 1 für das *Human-in-the-Loop-Machine-Learning*²⁹³

²⁹³ Copyright: BAI/DEI.

Bild 1	Modell Zoo	Zelldurchmesser	Masken	Zeit (s)	Erkannt (%)	FALSCH (%)
1.png	cyto	30	134	17,6	80	10
1.png	cyto	50	66	10,6	50	5
1.png	nuclei	30	45	6	30	50
1.png	nuclei	50	13	3,6	10	40
1.png	tissuenet	30	0	16,1	0	0
1.png	tissuenet	50	0	6,8	0	0
1.png	livecell	30	3	14,5	1	100
1.png	livecell	50	1	6,6	1	100
1.png	cyto2	30	126	17,8	80	15
1.png	cyto2	50	68	11,1	50	10
1.png	CP	30	158	17,4	85	20
1.png	CP	50	72	11,1	55	15
1.png	CPx	30	121	16,9	80	40
1.png	CPx	50	76	11,5	50	15
1.png	TN1	30	42	14,8	30	20
1.png	TN1	50	22	7	15	70
1.png	TN2	30	0	14,3	0	0
1.png	TN2	50	0	5,3	0	0
1.png	TN3	30	0	14,3	0	0
1.png	TN3	50	0	6,1	0	0
1.png	LC1	30	7	14,4	2	100
1.png	LC1	50	4	6,9	1	100
1.png	LC2	30	12	14,6	2	100
1.png	LC2	50	2	6,2	1	100
1.png	LC3	30	31	15,2	20	100
1.png	LC3	50	7	6,9	5	100
1.png	LC4	30	77	16,6	50	100
1.png	LC4	50	26	9,1	20	100

Tabelle 9.1: Cellpose-Segmentierungen von Bild 1

Dabei stellte sich heraus, dass das Modell *cyto* die besten Ergebnisse erzielte. Das Modell „cyto_2“ folgt nahe dahinter. Schon mit der dem nicht optimierten Modell wird eine Erkennungsrate der Steine von ca. 80% erzielt. Für die meisten Bilder ist ein Durchmesser von 30 der optimale Wert. Dieser hängt aber tatsächlich von der Steingröße und Auflösung ab. Ist also nicht verallgemeinerbar.

Das Modell *cyto* wurde manuell²⁹⁴ mit *Human-in-the-Loop-Machine-Learning* trainiert. Nach zwei Trainingsdurchläufen wurden Ergebnisse erzielt, die durchschnittlich über 90% bei einer Fehlerrate von unter 5% liegen. Eine weitere Verbesserung wurde bei weiteren Versuchen nicht mehr erreicht.

²⁹⁴ Der Autor dankt Simon Kollmeier für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

3.Korrektur	Modell	Zelldurchmesser	Masken	Zeit (s)	Erkannt (%)	Falsch (%)
1	cyto_stones_2	46,25	76	11,4	95	5
1b	cyto_stones_2	46,25	62	18,75	85	5
1c	cyto_stones_2	46,25	63	18,8	85	5
2	cyto_stones_2	46,25	72	10,4	95	5
2b	cyto_stones_2	46,25	65	17,9	95	5
2c	cyto_stones_2	46,25	64	17,9	95	5
3	cyto_stones_2	46,25	57	11,6	95	5
3b	cyto_stones_2	46,25	53	18,5	95	5
3c	cyto_stones_2	46,25	54	18,7	95	10
4	cyto_stones_2	46,25	78	10,4	90	5
4b	cyto_stones_2	46,25	73	18	90	5
4c	cyto_stones_2	46,25	72	18,3	90	5
5	cyto_stones_2	46,25	83	8,5	95	5
5b	cyto_stones_2	46,25	78	12,3	95	5
5c	cyto_stones_2	46,25	85	12,2	95	5
6	cyto_stones_2	46,25	97	11,1	95	5
6b	cyto_stones_2	46,25	89	16,2	95	5

Tabelle 9.2: Ergebnisse nach 2 Trainingsrunden

9.2.1 Vektorisierung und Georeferenzierung der Segmentierung

Die Segmentierung durch *Cellpose* liegt als Pixelbild vor. Dabei werden die erkannten Segmente durchnummeriert. Die Randpixel jedes Segmentes bekommen den Wert, welcher der Nummerierung entspricht. Alle anderen Pixel bekommen den Wert Null. Für den Einsatz zur Digitalisierung der Orthofotos werden aber georeferenzierte Vektordaten benötigt. Daher muss noch eine (automatisierte) Vektorisierung und eine Georeferenzierung durchgeführt werden.

Die Umsetzung erfolgt in der Programmiersprache *Python*. Für die Vektorisierung werden die Segmente separat in Polygone umgewandelt. Als Vektorisierer wird der Algorithmus *Shapes* aus dem Modul *Features* des Paketes *Rasterio* eingesetzt. *Rasterio* stellt Werkzeuge zur Geodatenverarbeitung von Pixelbildern bereit. Es beruht auf der Standardbibliothek *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL), die auch in QGIS verwendet wird.

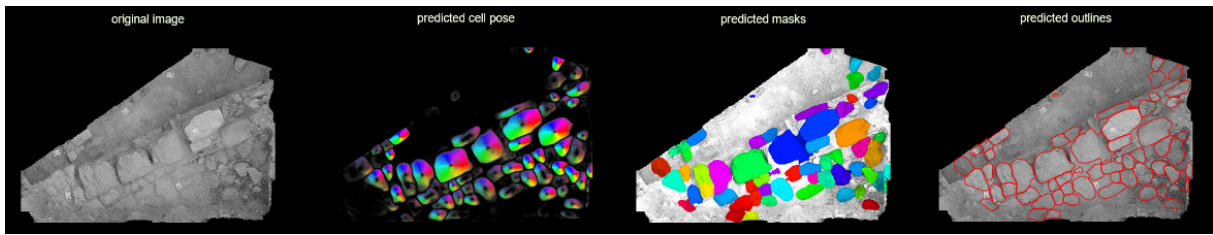


Abbildung 9.7: Orthofoto – Modellvorhersage – Segmentiertes Pixelbild – Vektorbild²⁹⁵

9.2.2 GeoCellpose als grafisches und Kommandozeilentool

Um die Digitalisierung der Orthofotos möglichst nahtlos in die Grabungsabläufe integrieren zu können, wurde ein Programm mit grafischer Benutzeroberfläche und ein Kommandozeilentool entwickelt. Da sowohl die im DEI eingesetzte Software *Agisoft Metashape* und *QGIS* über Schnittstellen für *Python* verfügen, ist eine weitere Automatisierung möglich.

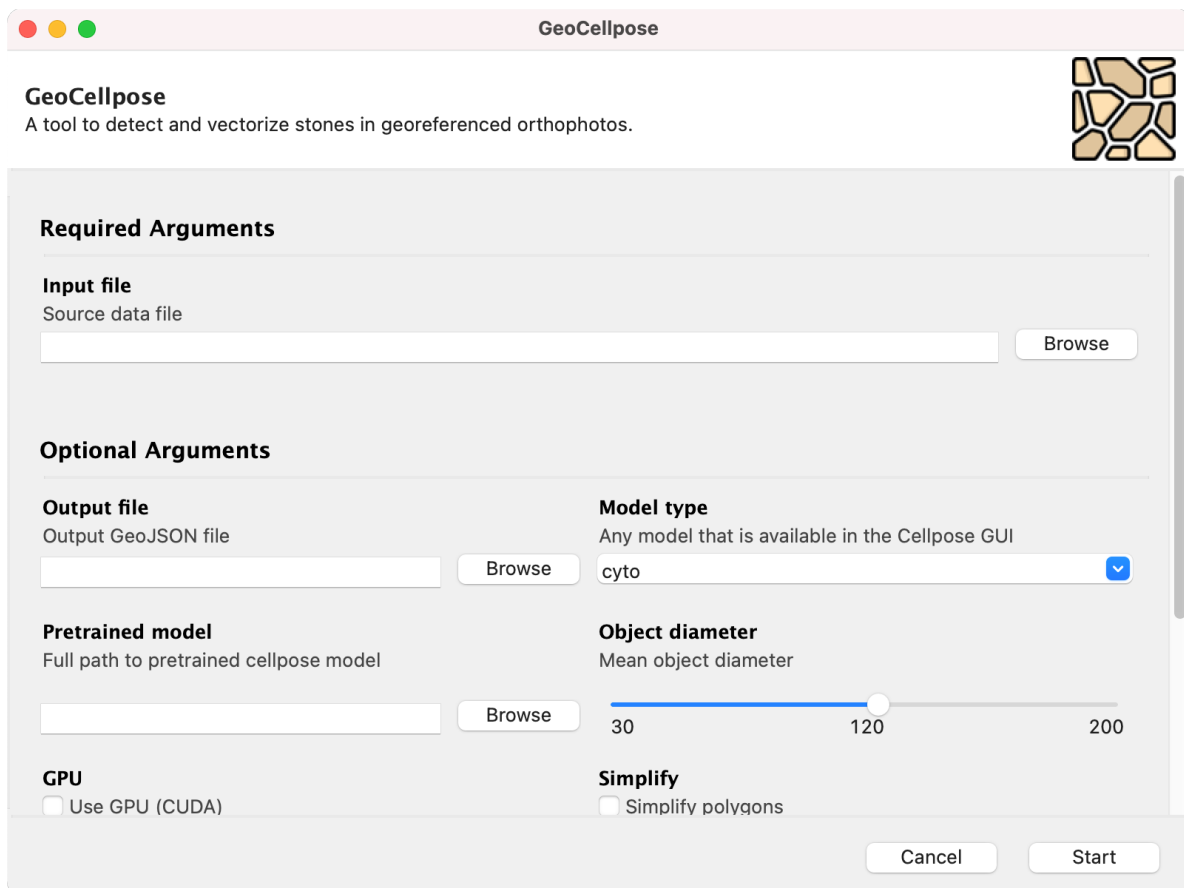


Abbildung 9.8: Screenshot von GeoCellpose

²⁹⁵ Copyright: Autor.

Eine teil- bzw. ganz automatisierte Erstellung von Umzeichnungen aus Orthofotos am PC ist möglich. Der notwendige Algorithmus wurde auf den Anwendungsfall (Steinumzeichnung) optimiert und der ganze Prozess mit der notwendigen Georeferenzierung in eine einfach zu benutzende App verwandelt.

Es bleibt aber noch einiges zu tun, um die manuelle Arbeit komplett zu ersetzen. Steine sind nur ein Teil der Zeichnung. Viele andere Objekte, z.B. Fußböden verschiedener Art oder Gruben müssen dargestellt werden. Bei Mauern werden auch nicht nur die Steine gezeichnet, sondern auch die Außenkanten in besonderer Weise (in der Regel durch eine dickere Linie) markiert. Dasselbe gilt für andere konstruktive Elemente, wie z.B. Kanäle. Alle diese Aspekte benötigen noch der weiteren Entwicklung. Die Umsetzung erscheint aber mit den sich schnell entwickelnden Methoden aus dem Maschinellen Lernen möglich.

Schwer vorstellbar ist, dass sich alle Vorgaben auf einmal erfüllbar sind oder gar, dass sie sich separat innerhalb der archäologischen Wissenschaft lösen lassen. Bei diesem Beispiel wurde ein Modell aus der Biologie entlehnt. Solche Segmentierungs-Modelle werden in vielen Bereichen gebraucht. So sind weitere Entwicklungen in diesem Bereich erwartbar, die für die Archäologie anpassbar sind.²⁹⁶

9.3 Zweites Beispiel – Die Erstellung eines Wissensmanagementsystems für die Archäologie

Bis hierhin wurde in dieser Arbeit die Verarbeitung der durch eine eigene Grabung generierten Daten betrachtet. Tatsächlich werden in der wissenschaftlichen Kommunikation die Ergebnisse vieler anderer Forschenden parallel ausgewertet. Das kann in der Vorbereitung und muss bei der Publikation einer Grabung stattfinden. Dies ist auch für ein eigenes landschaftsarchäologisches Projekt des BAI/DEI anwendbar.

Dieses soll im Folgenden als Beispiel für die hier bestehende Herausforderung beschrieben und erläutert werden:

²⁹⁶ Vgl. Pierdicca/Paolanti 2022. Anstatt das Orthofoto zu segmentieren, könnte man auch das zugrundeliegende 3D-Modell klassifizieren. Für diesen Ansatz siehe Brodu/Lague 2012. Für einen weiteren Ansatz mit Orthofotos und Höhenmodellen siehe Chen et al. 2021.

Der Autor dieser Arbeit führte zusammen mit Katja Soennecken den Umlandsurvey zum *Tall Zirā‘a* im *Wādī al-‘Arab* durch (siehe Kapitel 3.3).²⁹⁷ Westlich des *Wādī al-‘Arab* auf cisjordanischer Seite liegt das *Naḥal Tāvôr* in Untergaliläa mit einer eigenen reichen Geschichte, die in vielen archäologischen Projekten aufgearbeitet wurde und wird.

Der Vergleich der historischen Entwicklung von der Bronzezeit bis zur islamischen Epoche in Cis- und Transjordanien anhand dieser beiden Siedlungsräume ist ein Projekt, welches durch das BAI/DEI insbesondere auch durch den Autor in Angriff genommen wird. Diese Region bietet eine Auswahl wichtiger Landschaftssysteme und kann exemplarisch Aufschluss über das Verhältnis der Besiedlung und Wirtschaft des südlichen Galiläas zum transjordanischen Raum geben. Da die Grabung in Tiberias am See Genezareth zu den Hauptprojekten im Institut gehört, besteht außerdem im BAI/DEI ein großes Interesse an allen archäologischen Informationen aus Untergaliläa und in dessen Umfeld.

Abbildung 9.9: Datenbank auf Basis des *Archaeological Survey of Israel*

Für das *Wādī al-‘Arab* liegt, wie in dieser Arbeit ausführlich besprochen wurde (siehe Kapitel 3.3 und 8.4) eine Datenbank mit den Fundplätzen und der Literatur vor. Für das *Naḥal Tāvôr* wurde in einem ersten Schritt eine eigene Datenbank zur Erfassung der bekannten archäologischen Fundplätze erstellt. Als Datenbasis wurde auf den *Archaeological*

²⁹⁷ Soennecken/Leiverkus 2021.

Survey of Israel zurückgegriffen.²⁹⁸ Bei diesem Projekt, das seit den 1960er Jahren in Israel durchgeführt wird, werden alle archäologischen Orte systematisch aufgeteilt und in Quadranten von 10 km x 10 km Größe aufgenommen. Für jeden Quadrant ist ein eigenes Team zuständig. Die Veröffentlichung erfolgt je nach Fertigstellung der Untersuchungen eines Quadranten. Es ist nachvollziehbar, dass durch die Länge des Projektraumes und die große Anzahl an beteiligten Archäologen die Daten nicht nach einem einheitlichen Standard aufgenommen und von unterschiedlicher Aktualität sind. Daher ist eine Aktualisierung der Daten und ein Qualitätsmanagement notwendig. Dazu werden möglichst vollständig alle weiteren archäologische Veröffentlichungen, welche für die Region relevant sind, gesammelt. Dies führt schnell zu einer sehr großen Sammlung von Veröffentlichungen.

Liegen die Publikationen digital vor, z.B. als PDF-Datei, kann man sie in einer Literaturdatenbank speichern. Diese sind nach Autoren, Titeln und weiteren Angaben durchsuchbar. Je nach System ist es auch möglich nach Stichworten oder in Exzerpten suchen. Schon an dieser Stelle ist eine Unterstützung durch KI-Modelle sinnvoll.²⁹⁹

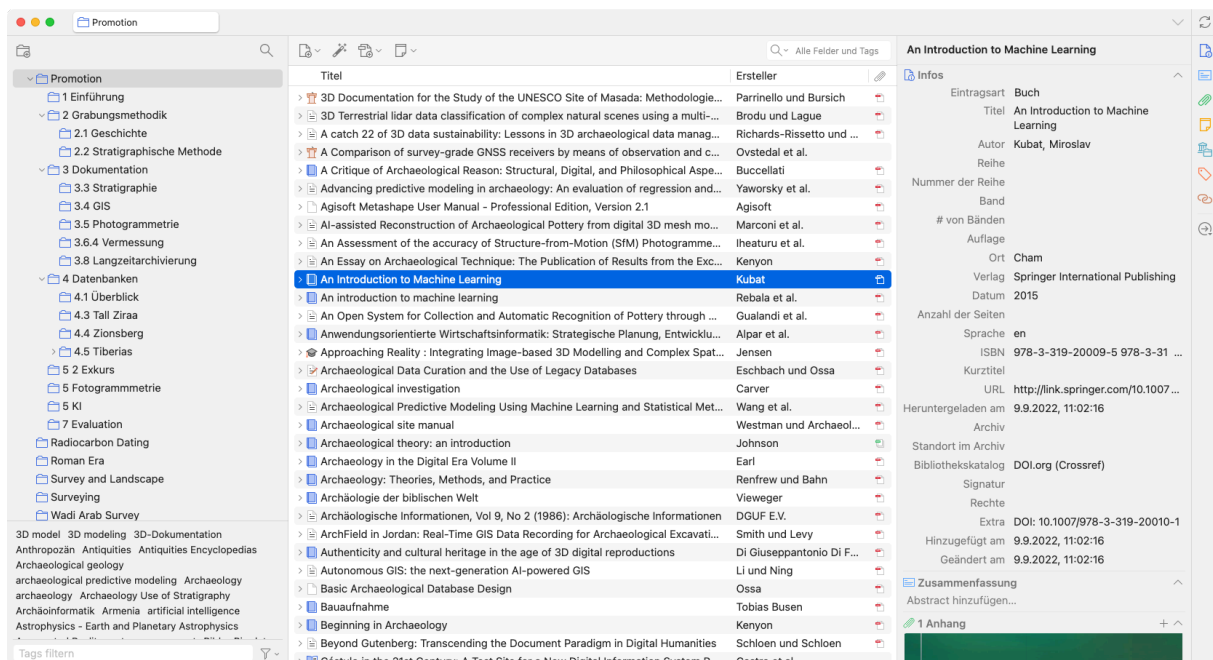


Abbildung 9.10: Literaturdatenbank Zotero³⁰⁰

²⁹⁸ Siehe https://www.antiquities.org.il/survey/new/default_en.aspx (abgerufen am 01.06.2024).

²⁹⁹ Z.B. die Erweiterung *Aria* für Zotero, die eine Unterstützung durch GPT in Zotero integriert. Siehe <https://github.com/lifan0127/ai-research-assistant> (abgerufen am 27.08.2024).

³⁰⁰ <https://www.zotero.org/> (abgerufen am 27.08.2024).

9.3.1 Datentypen und Daten speichern

Wie im vorigen Unterkapitel gesehen, liegen Informationen in unterschiedlichen Formen und Formaten vor. Die Datenquellen kann man dabei in drei Kategorien einteilen:

1. *Strukturierte Daten* sind Daten, die in Datenbanken vorliegen. Sie lassen sich leicht mit Software erfassen und durchsuchen.
2. *Semistrukturierte Daten* liegen z.B. als einzelne Tabellen oder als Dokumente im JSON-Format³⁰¹ vor. Gegenüber Datenbanken fehlt es an den expliziten Beziehungen zwischen den Tabellen, die erst komplexe Abfragen möglich machen.
3. *Unstrukturierte Daten* sind alle Dokumente, die keine explizite für eine Software ersichtliche Definition der Inhalte aufweisen. Dazu gehören Textdokumente, Karten, Pläne aber auch alle weiteren Bild-, Video- und Audiodateien.

Dokumente und Datenbanken werden auf unterschiedlichen Weisen an unterschiedlichen Orten bereitgestellt. Datenbanken werden häufig durch die Projekte bzw. Institutionen bereitgestellt, die für die Erstellung und Betrieb verantwortlich sind. Semi-strukturierte Daten finden sich in Portalen, die projektspezifisch, organisationsübergreifend³⁰² organisiert sind. Textdokumente werden klassischerweise in Bibliotheken aufbewahrt, die heutzutage einen digitalen Zugriff auf Teile des Bestandes ermöglichen. Tendenziell werden also Daten eher nach Institution (z.B. Universität, Institut) bereitgestellt und nicht nach Thema oder Forschungsgebiet. Eine Ausnahme bildet z.B. das Portal *arXiv*³⁰³, das sich als zentrale Plattform für die Vorabveröffentlichung von Artikeln insbesondere in Mathematik und Physik etabliert hat. Es ist offensichtlich, dass eine derartige thematische Bündelung das Potenzial hat, Forschungsarbeit zu erleichtern.

Sollen große Mengen von Forschungsdaten und Ergebnissen gespeichert werden, so wird wieder nach der Art der Daten unterschieden. Die Speicherung mehrerer Datenbanken mit einem gemeinsamen Zugriff wird als ein *Data Warehouse bezeichnet*. Einen Datenspeicher mit semistrukturierten und unstrukturierten Daten, für die es eine gemeinsame Erschließung gibt, ist ein sogenannter *Data Lake*. In vielen Fällen liegen aber Daten in allen

³⁰¹ Siehe Kapitel 10.3.1.

³⁰² Siehe z.B. das Projekt *Mapping Past Societies* der Harvard University: <https://darmc.harvard.edu/> (abgerufen am 01.07.2024).

³⁰³ Siehe <https://arXiv.org> (abgerufen am 28.07.2024).

Formen vor. Dies ist auch in der archäologischen Forschung so, wie oben dargestellt wurde.

Ein weiterer Aspekt ist die Organisation der Speicherung. Denkbar ist eine dezentrale Speicherung, wobei die Datenbanken und Dokumente im Wesentlichen bei einzelnen Organisationen verbleiben. Der Datenzugriff wird über Schnittstellen gewährleistet. Dies erfordert einen hohen Aufwand an Koordination. Die Alternative ist eine Strategie mit einer zentralen Datenhaltung. Dies wiederum bedingt eine Institution, die diese Aufgabe übernimmt, und es erzeugt hohe Kosten, die an einer einzelnen Stelle auftreten. Diese Fragen sind organisatorischer Art können hier nicht geklärt werden.

9.3.2 Daten befragen

Die Erschließung der Informationen ist der Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz eines Wissensmanagementsystems. Hier kommt Künstliche Intelligenz zum Einsatz. Bis *Google* den Markt der Internetsuche revolutionierte, waren komplexe Suchmasken die Norm.³⁰⁴ Mit *Google* wurde der einfache Suchschlitz populär. *Googles* Suchalgorithmus liefert eine Liste der Frage semantisch ähnlicher Internetdokumente in absteigender Reihenfolge der Ähnlichkeit.

Mit dem Aufkommen der *Large Language Models* (LLM),³⁰⁵ hat sich die Erwartungshaltung an eine Suchantwort grundsätzlich geändert. Statt einer Anfrage mit Stichworten, wie bei *Google*, werden Fragen in ganzen Sätzen angenommen. Das System antwortet dann auch mit grammatikalisch korrekten Texten mit Referenzen zu den Quellen.³⁰⁶ Zu beachten ist, dass sich nicht nur die Form der Präsentation ändert, sondern auch die Möglichkeiten der KI-Modelle, mit ausgeschriebenen Texten zu antworten, genutzt werden.³⁰⁷

³⁰⁴ In einigen Bibliotheken kann man solche Suchmasken noch finden.

³⁰⁵ In der Beobachtung des Autors hat sich die öffentliche Wahrnehmung von Künstlicher Intelligenz und insbesondere von LLMs mit der Einführung von GPT 3.5 im Jahr 2022 stark verbessert.

³⁰⁶ Zurzeit (August 2024) testet die Firma *OpenAI* ein neues Suchinterface namens *SearchGPT*, welches der *Google* Suche Konkurrenz machen soll.

³⁰⁷ Siehe Abbildung 9.12.

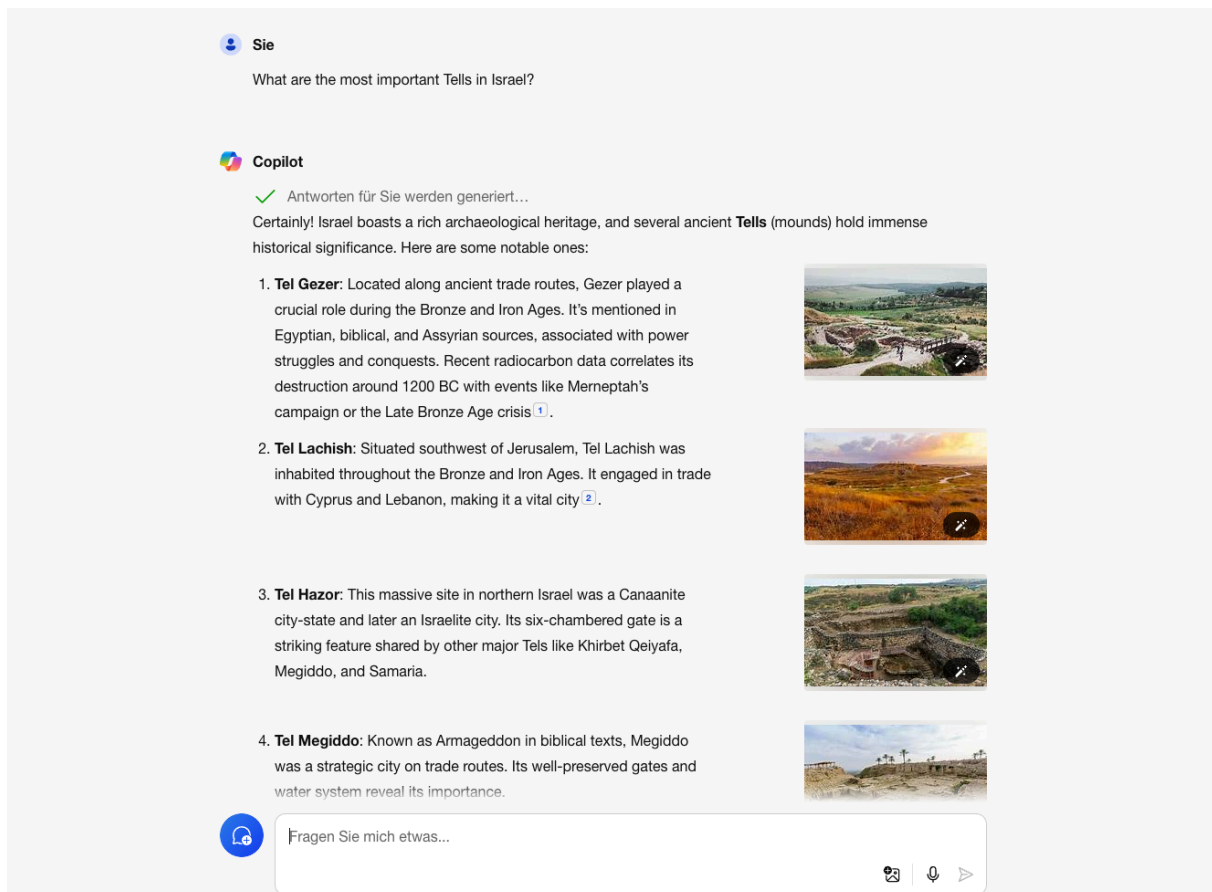


Abbildung 9.11: ChatGPT-Abfrage in Microsoft Bing

Um ein solches Wissensmanagementsystem zu erstellen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Die naheliegende Variante ist, mit den vorhandenen Daten ein eigenes KI-Modell zu trainieren. Dabei wird man mit mehreren Problemen konfrontiert. Neben der Grundentscheidung, ob die Datenbasis groß genug für ein effektives Modell ist, ist das Training eines Modells computertechnisch äußerst aufwendig und damit auch sehr teuer. Hinzu kommt noch, dass in der Wissenschaft ständig neue Ergebnisse veröffentlicht werden – neue Grabungen, neue Daten, neue Publikationen. Daher muss das KI-Modell ständig weitertrainiert werden, um die neuen Informationen auch anbieten zu können. Bei Veränderungen am Modelldesign selbst wird ein komplettes neues Training mit allen Daten notwendig.

Der hohe (Kosten-)Aufwand bleibt eine permanente Herausforderung. Einfacher wird es, wenn ein schon vorhandenes Modell mit den archäologischen Daten angereichert wird. In einem solchen Grundmodell wäre schon ein großer Teil des Aufwandes enthalten. Dennoch ist das weitere Trainieren aufwendig und es bleibt die statische Natur des Modells, welches mit regelmäßigem teurem Aufwand begegnet werden muss.

Eine Alternative ist die Konzeption eines Systems mit *Retrieval Augmented Generation* (RAG). Hier werden die Dokumente nicht zum Training des Modells benutzt, sondern in einer Vektordatenbank gespeichert.³⁰⁸ Die Anfrage wird dann zuerst an die Vektordatenbank gestellt, welche eine Liste, der am besten passenden Informationen aus der Dokumentenbasis liefert. Das können bei Texten z.B. einzelne Seiten oder Abschnitte sein. Diese Informationen werden in einem zweiten Schritt an ein LLM weitergereicht mit der Aufgabe daraus eine kohärente Antwort zu generieren. Der Vorteil eines solchen System liegt auf der Hand. Der Aufwand der Vektorisierung ist begrenzt, muss nur einmal für jedes Dokument durchgeführt werden. Die Datenbasis kann zudem im laufenden Betrieb ständig erweitert werden. Außerdem wird in diesem Verfahren sichergestellt, dass nur „relevanten“ wissenschaftlichen Daten befragt werden – anders als z.B. bei GPT, der alle Quellen – vor allem nichtwissenschaftliche – miteinbezieht.

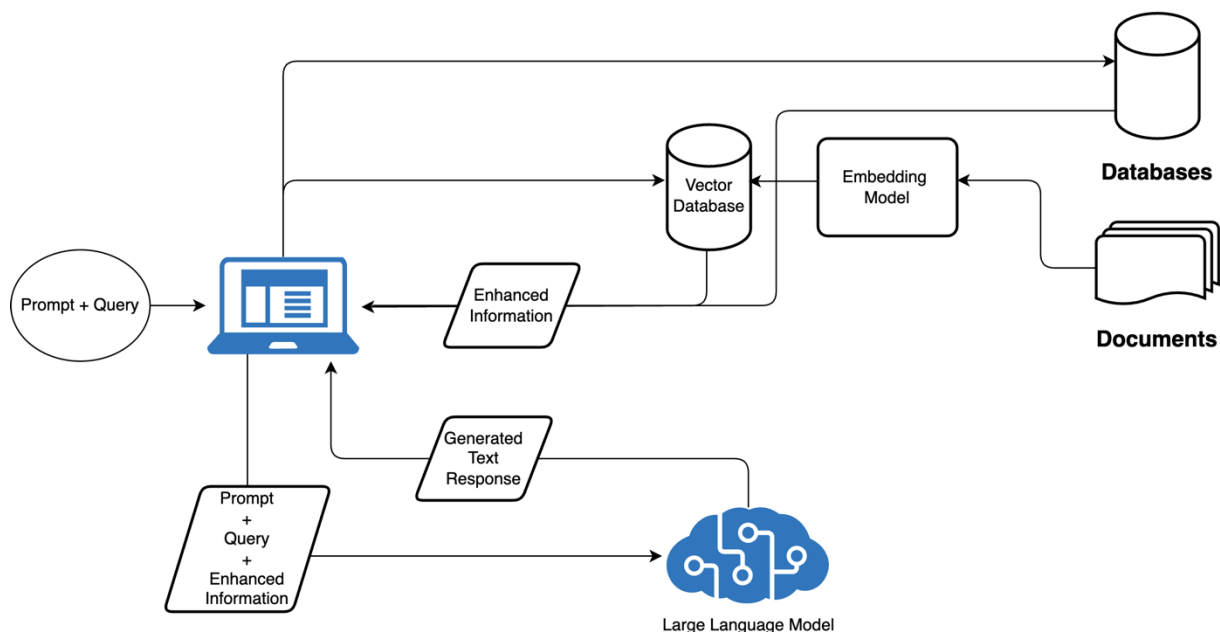


Abbildung 9.12: Retrieval Augmented Generation (RAG)³⁰⁹

³⁰⁸ Die Funktionsweise einer Vektordatenbank lässt sich einfach wie folgt erklären. Ein Textdokument wird in kleinere Einheiten, z.B. Seiten, aufgeteilt. Die semantische Bedeutung dieser Einheit wird in einen Vektor, d.h. feste Anzahl von geordneten Zahlen übersetzt. Eine Anfrage wird ebenso in einen Vektor übersetzt. Die Abstände zwischen Vektoren sind messbar. Die nächstliegenden Vektoren und die damit ähnlichsten Texteinheiten zu Anfrage werden in absteigender Reihenfolge als Antwort zurückgegeben.

³⁰⁹ Erstellt vom Autor, vgl. <https://aws.amazon.com/de/what-is/retrieval-augmented-generation/> (abgerufen am 30.08.2024).

9.3.3 Erweiterung der Semantik

Im vorherigen Unterkapitel wurden verschiedene Möglichkeiten, ein wissenschaftliches Wissensmanagementsystem auf Basis eines *Large Language Models* zu konzeptionieren, beschrieben. Um die Antworten auf Anfragen für die archäologische Wissenschaft³¹⁰ zu optimieren, ist meines Erachtens eine Erweiterung des semantischen Konzepts notwendig.

Zeit und Raum sind die definierenden Faktoren für jede archäologische Information. Ein Befund ist ein bestimmtes Raumvolumen an einem Ort, welches datiert wird. Ein Fund besitzt einen Fundort und eine Datierung. Die Verankerung in Raum und Zeit lässt sich auch auf Ereignisse erweitern. Eine Schlacht findet an einem Ort zu einem Zeitpunkt statt. Ein Edikt wird an einem Ort zu einem Zeitpunkt erlassen. Eine Regentschaft hat einen Anfang, ein Ende und betrifft ein Herrschaftsgebiet. Räumliche Informationen sind hierarchisch. Tiberias liegt in Untergaliläa. Untergaliläa ist Teil von Galiläa. Zeitinformationen können punktuell sein, aber auch einen Zeitraum erfassen. Diese Zeiträume können auch Bezeichnungen haben, wie z.B. „byzantinische Zeit“.³¹¹

LLMs und Vektordatenbanken haben aber kein Konzept für Raum und Zeit. Um auf Fragen bestmögliche Antworten aus dem System zu liefern, sollte die Semantik explizit um die Definition von Raum und Zeit erweitert werden.³¹²

In der Archäologie sind für Zeitangaben sowohl relative Chronologien als auch absoluten Daten üblich. Allerdings hat eine relative Zeitangabe unterschiedliche Bedeutung – je nach Kontext. Die Bronzezeit in Mitteleuropa (2200–800 v. Chr.) umfasst einen anderen Zeitraum als in der südlichen Levante (3600–1200/1150 v. Chr.). Sogar innerhalb einer Region kann die Bedeutung einer chronologischen Angabe vom Autor oder vom Entstehungszeitpunkt abhängen. Daher ist eine schlichte tabellarische Zuordnung nicht möglich. Ein trainiertes KI-Modell kann dies aber lösen.

Ein um Raum und Zeit erweitertes RAG-System ist in Abbildung 9.13 zu sehen. Dazu werden spezielle ML-Modelle trainiert, die Daten im Hinblick auf Raum und Zeit untersuchen.

³¹⁰ Tatsächlich gilt dies für alle historischen Wissenschaften.

³¹¹ Die genauen Daten für eine Bezeichnung können umstritten sein (siehe z.B. die Kontroverse um den Beginn der Eisenzeit IIA in Vieweger 2019, II 73–98).

³¹² Siehe auch Travé Allepuz et al. 2021.

Diese Information fließt dann in die Vektorisierung ein. Die Anfragen müssen dieses Verfahren auch durchlaufen. Die Antworten werden damit präziser Hinblick auf Raum und Zeit sein.

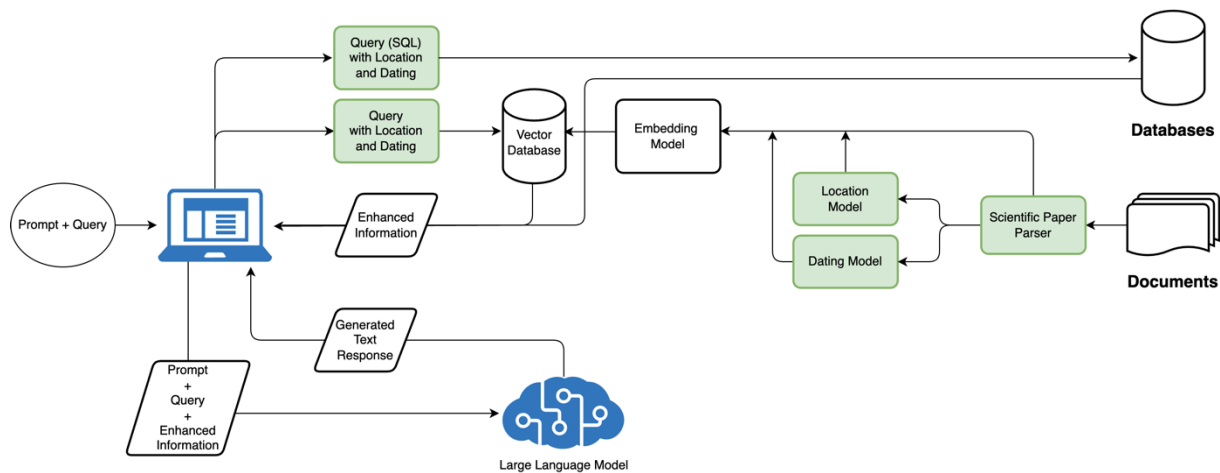


Abbildung 9. 13: Erweiterter RAG-Workflow³¹³

9.3.4 Eine neue Benutzerschnittstelle

Ein System mit einem erweiterten RAG-Workflow wie oben beschrieben, braucht nun auch eine konkrete Möglichkeit der Abfrage, damit es für das vorgestellte Projekt vom Anfang dieses Kapitels nutzbar wird. Eine Abfrage in natürlicher Sprache, wie bei *ChatGPT* (siehe Abbildung 9.11), ist eine zentrale Komponente. Eine weitere Komponente wäre eine Kartenansicht. Die raumbezogenen Informationen (in den Antworten des Systems) könnten so immer in Form einer Karte dargestellt werden.³¹⁴

Die Befragung von *Large Language Models* mit einer einfachen Schnittstelle, für die keine technische Kompetenz notwendig ist, ist Realität. Mit der Verbreitung dieser Technik werden aber auch die Schwächen, wie die Halluzinationen³¹⁵ und fehlender konzeptioneller Logik (Zeit, Raum) deutlich. An funktionierenden Wissensmanagementsystemen mit verlässlichen Antworten besteht in vielen Bereichen Interesse. Die Konzepte und Logiken der historischen Wissenschaften insbesondere der Archäologie müssen dabei eingebracht werden. Ohne die Spezifika zu beachten, werden generalisierte Systeme nur begrenzten Nutzen bringen.

³¹³ Copyright: Autor.

³¹⁴ Für eine KI-unterstützte Bearbeitung Geodaten-Abfragen siehe z.B. Vorona et al. 2021.

³¹⁵ Antworten mit Falschinformationen, wie nichtexistierenden Publikationen.

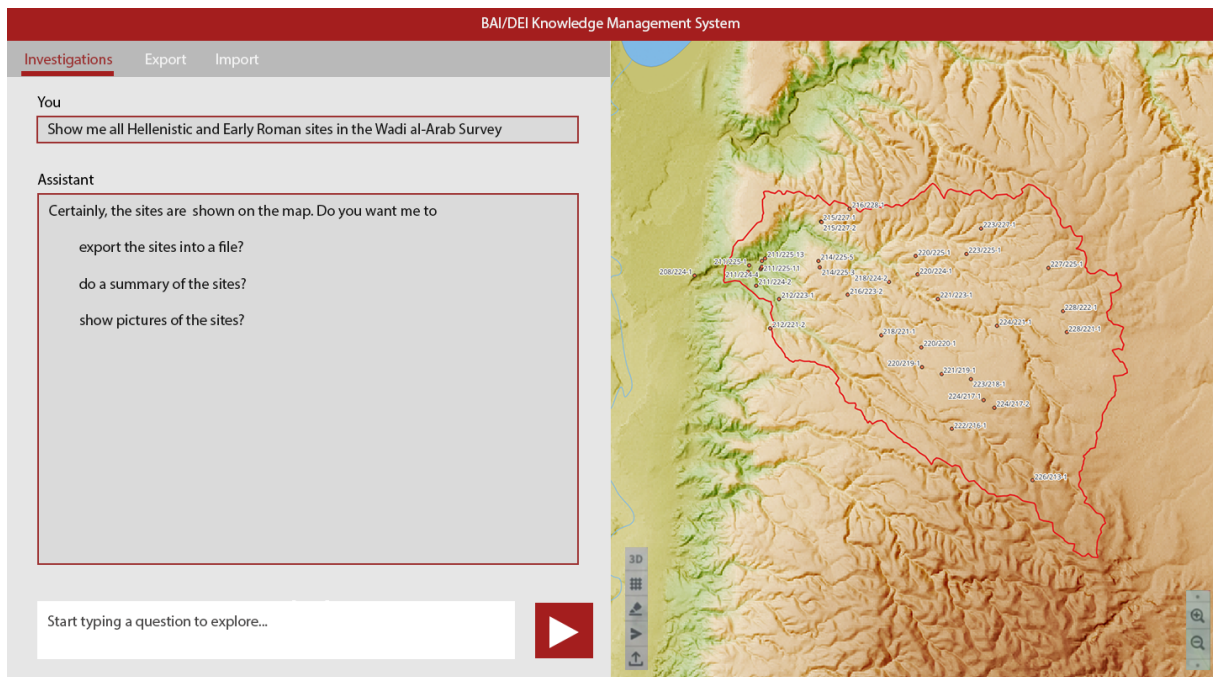


Abbildung 9.14: Modell einer Schnittstelle für die Abfrage eines archäologischen Wissensmanagementsystems³¹⁶

9.4 Fazit

In diesem Kapitel wurden zwei Beispiele aus der aktuellen archäologischen Arbeit im BAI/DEI vorgestellt bei denen Künstliche Intelligenz einen substantziellen Beitrag zur Vereinfachung von Aufgaben in der Archäologie liefern kann.

Die erste Aufgabe, die Unterstützung beim Zeichnen von Plänen, lässt sich mit einem Segmentierungsalgorithmus aus der Bildanalyse deutlich vereinfachen und findet schon praktische Anwendung im BAI/DEI. Die Suche nach weiteren Optionen wird fortgeführt, bis eine vollumfänglich zufriedenstellende Lösung gefunden ist.

Die zweite Aufgabe, ein Wissensmanagementsystem für die archäologische Recherche, ist ein in aktueller Entwicklung befindliches Projekt des BAI/DEI. Auch hier wird eine in anderen Zusammenhängen angewendete KI-Technik, *Retrieval Augmented Generation*, für die speziellen Anforderungen der Archäologie erweitert.

Bei der Suche nach effektiven Lösungen richtet sich der Blick insbesondere auf die Entwicklung der *Large Language Models* (LLMs) selbst. Für die Nutzung in der Wissenschaft

³¹⁶ Copyright: Autor.

müssen die Schwächen der aktuellen Modelle, wie die Halluzinationen (erfundene Fakten in Antworten) und das fehlende Verständnis für Konzepte noch aufgelöst werden.

Beide Beispiele weisen darauf hin, dass auch in der archäologischen Wissenschaft weitere Arbeitsabläufe durch den Einsatz von KI verändert, vereinfacht, ermöglicht werden. Momentan scheinen diese Anwendungen noch deutlich ausbaufähig. Sie werden aber in naher Zukunft realisiert werden können und Teile der archäologischen Arbeit verändern.

10 Langfristige Verfügbarkeit – Eine oft vernachlässigte Aufgabe

10.1 Die langfristige Verfügbarkeit der Grabungsdaten

Es erscheint unumgänglich, auch die langfristige digitale Verfügbarkeit von Grabungsdaten über die Grabungspublikation hinaus in den Blick zu nehmen.³¹⁷ Ein solches Konzept hat andere Schwerpunkte als die Nutzungsszenarien während einer Grabung, für einen vorläufigen Bericht, (zumeist) jährliche Publikationen oder die Endpublikation. Essenziell ist hierfür, wie eine einfache Abfrage von Daten ermöglicht werden kann – wobei die Datenpflege und Fehlerkorrektur (für die ehemals am Projekt beteiligten Personen) weiter erhalten bleiben sollte.

Da der Kreis der Interessenten für eine spätere Evaluation der Grabungsdaten nicht mehr auf die Projektbeteiligten beschränkt bleibt, sollte der Datenbankzugriff möglichst voraussetzungslos ermöglicht werden. Die Daten sollten ohne eine spezielle Software abfragbar sein. Aus diesem Grund bietet sich ein interaktiver Datenbankzugriff per Webbrowser an. Weiterhin wäre es sinnvoll, Abfragen über eine universelle Schnittstelle zu ermöglichen, sodass die Daten in anderen Applikationen weitere Verwendung (zu Forschungszwecken) finden können. Auch für die Integration in ein Wissensmanagementsystem (siehe Kapitel 9.3), ist dies Voraussetzung zu schaffen.

Nicht mehr von Bedeutung sind die mobile Datenerfassung, die Generierung neuer Vermessungsdaten und die Anpassung an den Grabungsworkflow.

³¹⁷ Vgl. Eschbach/Ossa 2011, Neuroth et al. 2012 und Matskevich/Weinblum 2021.

10.2 Ein browsergestützter Datenbankzugriff mit *Open-Source-Software*

Es gibt mehrere Möglichkeiten zu einer Lösung des im vorigen Unterkapitel umrissenen Problems der Langzeitverfügbarkeit von Projektdaten. An dieser Stelle soll eine besonders geeignete Möglichkeit herausgegriffen werden.

Django ist ein weitverbreitetes *Framework* für die Erstellung von webbasierten Anwendungen auf Grundlage der Programmiersprache *Python*.³¹⁸ Es ist eine hervorragende Möglichkeit, die Grabungsdatenbanken des BAI/DEI für einen Langzeitzugriff bereitzustellen. Unter anderem arbeitet *Django* mit *PostgreSQL* als zugrundeliegendem Datenbankmanagementsystem zusammen. Selbst die Integration von Geodaten einer *PostgreSQL/PostGIS*-Datenbank³¹⁹ ist mit Hilfe von Erweiterungen möglich.

- *Django* erlaubt außerdem die freie Definition des Datenbankschemas. Für die Integration von Bildern existiert ein standardmäßig eingebautes System.
- Vor allem lassen sich die Datenbankschemen nachbilden. Auch die Zweiteilung in eine GIS-Datenbank und eine eigentliche Datenbank entfällt, da *PostgreSQL/PostGIS* beide Teilaufgaben übernimmt.
- Außerdem ist SQL³²⁰ als Datenbankschnittstelle *nativ* vorhanden.
- Die Integration in *QGIS*³²¹ für den Geodatenzugriff ist ebenso Standard.

Die vorhandenen Datenbanksysteme für die Grabungen Zionsberg und Tiberias besitzen bereits eine Synchronisationsmöglichkeit zwischen *PostgreSQL/PostGIS* und *Claris FileMaker*. Die Übertragung in eine Langzeitsystem kann über diese erweiterte Schnittstelle geschehen. Lizenzkosten wie für *Claris FileMaker*³²² fallen nicht an, da *Django* unter einer *Open Source*-Lizenz veröffentlicht wird. Das Grabungsinformationssystem Zionsberg wurde in *Django* nachprogrammiert (siehe Abbildungen 10.1 und 10.2).

Man sollte aber auch die Nachteile einer solchen Lösung im Auge behalten. Das im BAI und DEI verwendete *Claris FileMaker* stellt von Hause aus Funktionalitäten zur Verfügung, die in *Django* nachprogrammiert werden müssen. Zu den notwendigen Möglichkeiten

³¹⁸ Siehe <https://www.djangoproject.com/> (abgerufen am 16.08.2024).

³¹⁹ Siehe Kapitel 8.2.2.

³²⁰ Siehe Kapitel 8.2.2.

³²¹ Siehe Kapitel 6.4.

³²² Siehe Kapitel 8.2.1.

gehören die Exportfunktionen in Tabellen und komplexe Suchabfragen in der Weboberfläche. Wünschenswert, aber nicht notwendig wäre ebenso eine Exportfunktion in PDF-Dokumente.

Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus der Natur von *Django* als flexibel erweiterbare *Open-Source*-Plattform, die permanent aktiv weiterentwickelt wird. Für die volle Funktionalität werden Erweiterungen von Drittanbietern benötigt. Folglich ist man stets auch auf eigene Programmierung angewiesen. Das macht die Pflege der *Software* komplexer, denn zusätzlich zu den Entwicklern des Kernsystems ist man auch auf die langfristige Entwicklung der Drittanbieter-Module angewiesen.

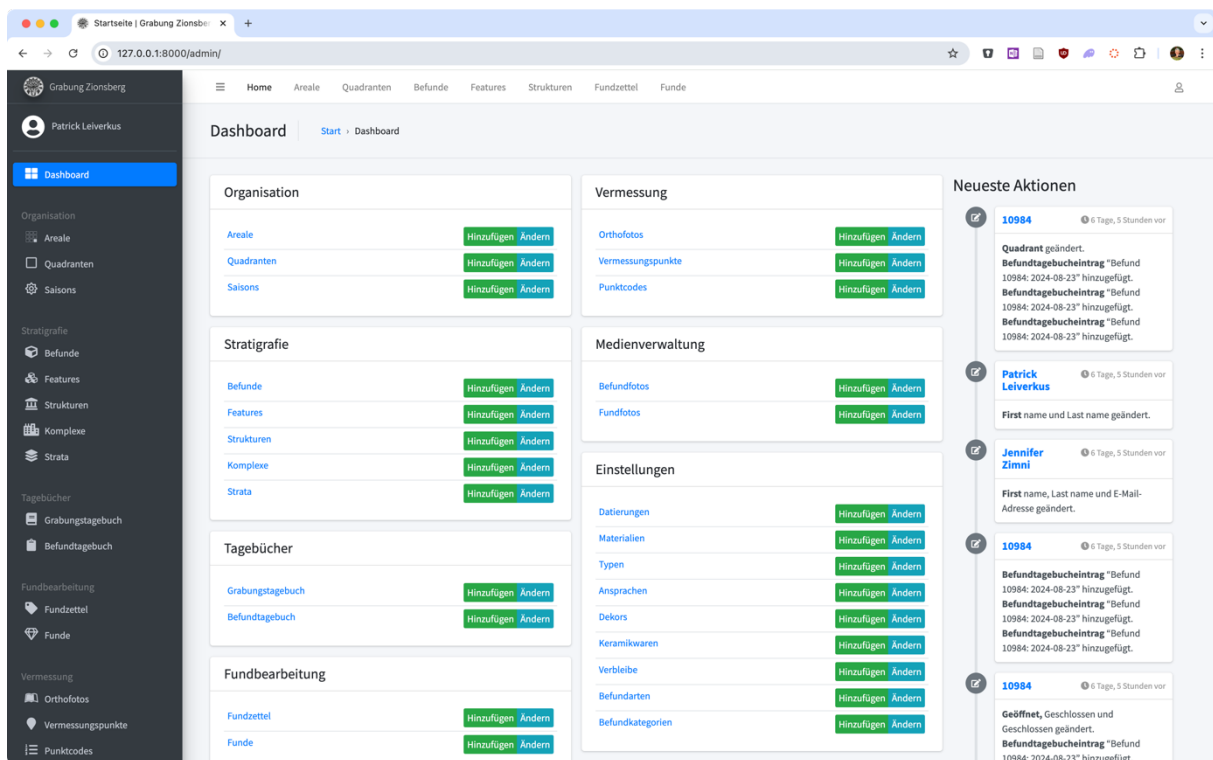


Abbildung 10.1: Administrationsbereich des Zionsberg-Projektes³²³

³²³ Copyright: Autor.

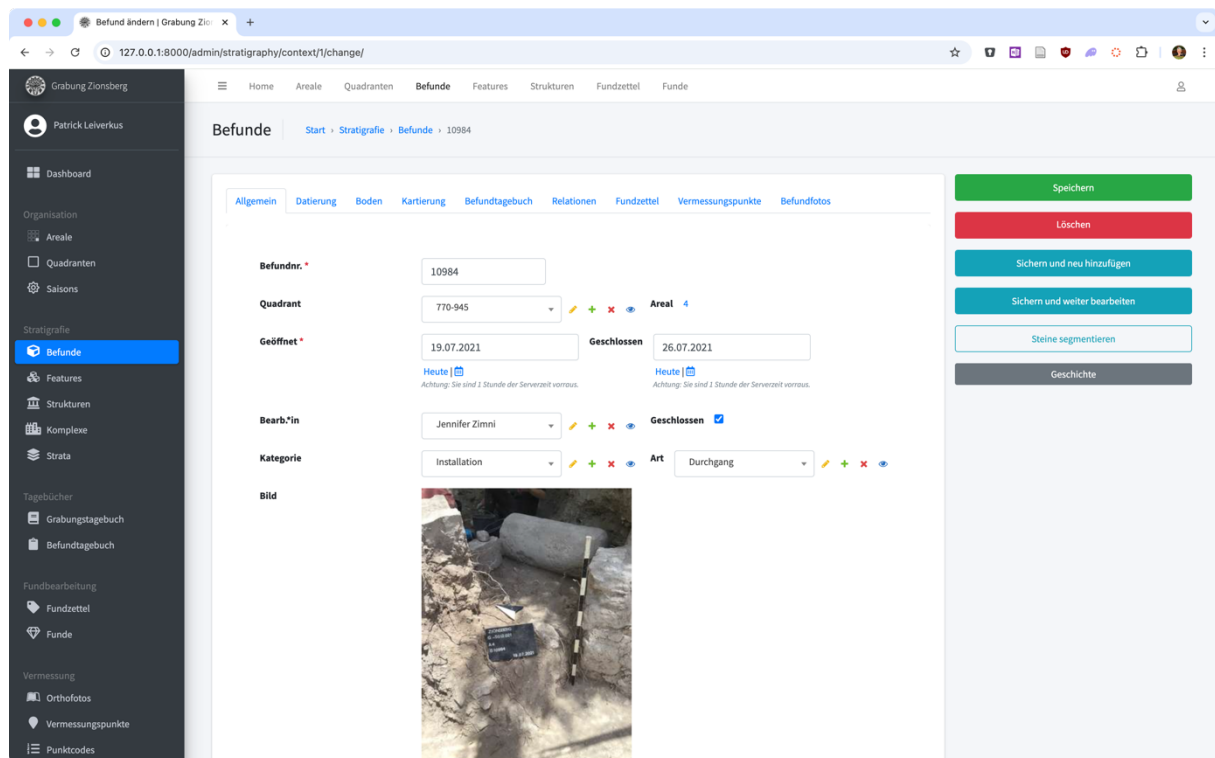


Abbildung 10.2: Befundformular für das Zionsberg-Projekt³²⁴

Mit der hier vorgestellten Lösung existiert eine mögliche Strategie für das BAI/DEI bei der Langzeitspeicherung von Datenbanksystemen. Bis zum Abschluss der aktiven Projekte im BAI/DEI wird weiterhin auch nach alternativen Ansätzen geschaut werden. Daher wird im nächsten Kapitel die Strategie des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) beleuchtet werden.

10.3 Alternativen – Schaffung von eigenen relationalen und dokumentenbasierten Datenbanksystemen

Das Deutsche Archäologische Institut (DAI) verfolgt seit 2016 die Entwicklung einer eigenen standardisierten Datenbank für die Grabungsprojekte des DAI. Es verfolgt dabei einen radikalen Ansatz.³²⁵

Das im DAI bisher vielfach verwendete *Clariss FileMaker*, soll durch eine komplette Eigenentwicklung auf Basis von Webtechniken und *Open-Source-Software* ersetzt werden. Damit würden alle Ausgrabungsprojekte des DAI einheitlich dokumentiert und zugänglich.

³²⁴ Copyright: Autor.

³²⁵ Cuy et al. 2019.

Gleichzeitig soll so eine einheitliche Software auch für die digitale Langzeitverfügbarkeit zur Verfügung stehen.

Im Gegensatz zu den in dieser Arbeit vorgestellten Systemen entsteht am DAI eine einzige *Software*, die sowohl bei der Grabung zur Datenerfassung als auch für die langfristige digital Publikation verwendet wird.

Dieser Ansatz lässt sich im Kontext des DAI als großes Institut erklären, weil

- das DAI hunderte von Altgrabungen sein Eigen nennt/nannte, die der digitalen Nutzbarmachung harren,
- das DAI hohe Lizenzkosten durch die Verwendung von FileMaker auf seinen Grabungen tragen muss und
- eine Vielzahl von Insellösungen in den Projekten des DAI existieren.³²⁶

Aus der Projektpublikation geht hervor, dass die *Offline*-Nutzung mit Synchronisationsmöglichkeit bei dieser Datenbank möglich sein soll.³²⁷ Dies wird in einem *Desktop-Client* realisiert. Ein mobiler *Client* wird aber erst seit 2021 auf der Entwicklungsseite geführt. Dieser befindet sich leider noch in einer frühen Phase der Entwicklung.³²⁸

Die Vermessung bleibt ein separater Arbeitsablauf, dessen fertige Daten über eine Datei in den *iDAI.field* Client importiert wird.³²⁹ Eine Integration in ein System, wie der aktuellen Vorgehensweise im BAI/DEI (siehe Kapitel 8.5.1) konnte hier also noch nicht erreicht werden. Der Ansatz des DAI orientiert sich in dieser Hinsicht noch an gewohnten Abläufen. Insbesondere das Fehlen eines mobilen *Clients*, der für die papierlose Grabung unverzichtbar ist und daher im Zentrum der Entwicklung am BAI/DEI steht, verhindert substantielle Digitalisierungsfortschritte. Ohne diesen bleibt die Grabungsdokumentation in der „Papier-Computer-Methode“ stecken, wie diese auf den Kampagnen der Grabung auf dem *Tall Zirā‘a* in den 2000er Jahren Verwendung fand.³³⁰

Technisch wird in *iDAI.field* statt eines SQL-basierten Datenbankmanagementsystems³³¹ ein Dokumenten-basiertes verwendet.³³² Ein wesentlicher Nachteil ist der nicht

³²⁶ Der vorhergehende Ansatz im DAI eine Vereinheitlichung der Grabungsdatenbanken zu erreichen, *iDAI.field* 1 wurde 2011 angekündigt und basierte noch auf *Claris FileMaker*. Siehe Schäfer 2011.

³²⁷ Cuy et al. 2019, S. 1f.

³²⁸ Siehe <https://github.com/dainst/idai-field> (abgerufen am 31.07.2024).

³²⁹ Cuy et al. 2019, S. 4.

³³⁰ Siehe Kapitel 8.3.1.

³³¹ Siehe 8.2.2.

³³² Im Gegensatz zu klassischen relationalen Datenbanken, die aus Tabellen mit festen Spalten und Relationen bestehen, kann in einem dokumentenorientierten Datenbanksystem jeder Eintrag unterschiedlich

standardisierte Zugriff auf die Daten, wie dies bei SQL möglich wäre, wo eine nahtlose Integration mit anderen Applikationen (wie z.B. *QGIS*), die ein tabellenbasiertes Datenmodell vorsehen, *per se* möglich ist. Für eine einfache Darstellung auf einer Karte innerhalb des Interfaces reicht dies aus. Für die weitere Nutzung in einem GIS wird die Datenbank mit einer *PostgreSQL/PostGIS*-Datenbank synchronisiert, wie der Abbildung 10.3 zu entnehmen ist.

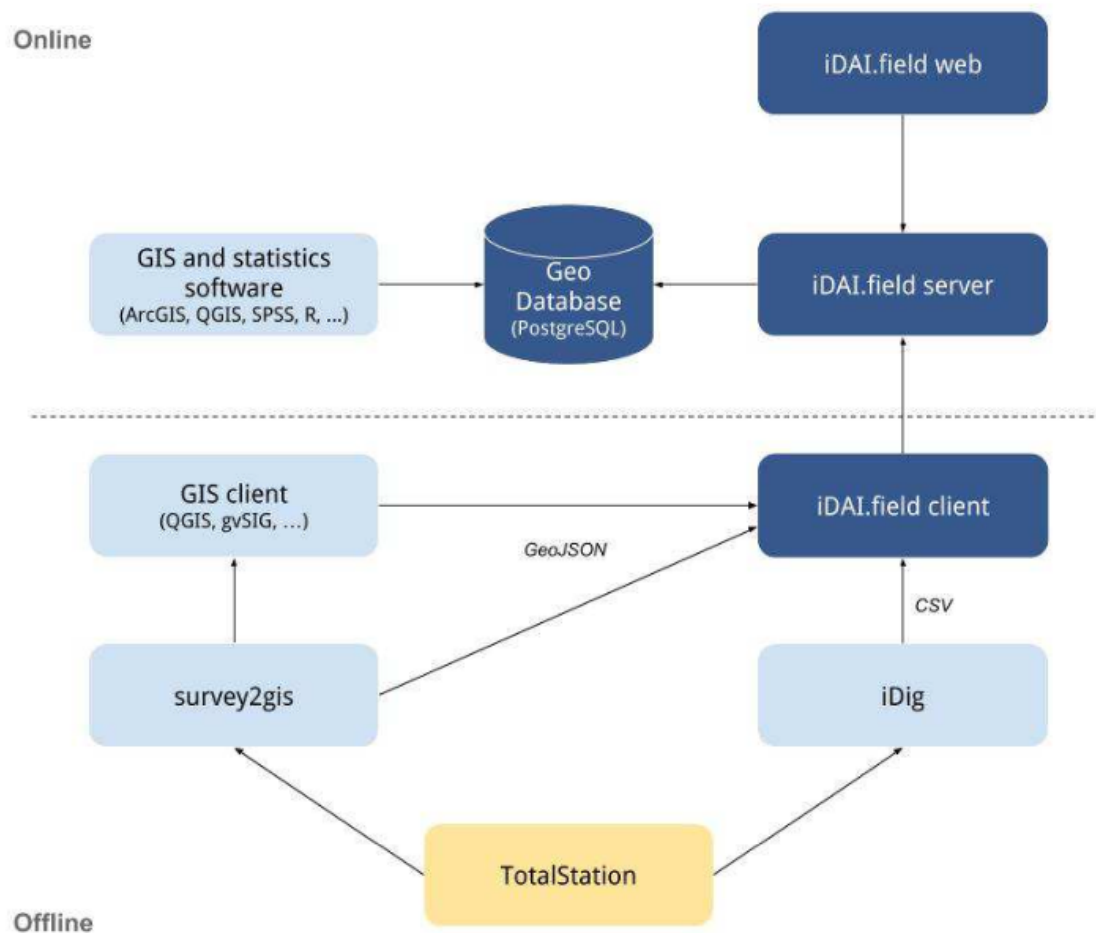


Abbildung 10.3: Data Flow in *iDAI.field*³³³

Schließlich ist der *iDAI.field* Server mit einer Webkomponente versehen (siehe Abbildung 10.3). Über diese wird die langfristige öffentliche Verfügbarkeit der Projektdaten

sein, hat also keine starre Spaltenstruktur. Der Vorteil ist die Flexibilität, denn jedes Dokument kann anders aussehen. Damit muss man nicht, wie bei relationalen Datenbanken, bei einer Änderung der Spaltenstruktur, das Datenbankschema ändern.

³³³ Cuy et al. 2019, Abb. 2.

sichergestellt. Da in der Softwarearchitektur nur *Open-Source-Software* eingesetzt wird und die Benutzerschnittstellen auf Webtechniken, also Webseiten, beruhen, ist diese leicht umzusetzen. An dieser Stelle besitzt der Ansatz des DAI einen Vorteil gegenüber denen in den Kapiteln 8.5 und 8.6 beschriebenen Lösungen.

Eine Gefahr für ein Projekt mit solch einer langen Entwicklungszeit liegt in der technischen Entwicklung selbst. Eingeführte Datenbanksysteme bieten fortlaufend neue Möglichkeiten. Solche neuen Standards werden sich auch in Zukunft vielgestaltig und schnell entwickeln und von den potenziellen Ausgräbern gern angenommen werden.

Am deutlichsten wird die Problematik bei der nicht realisierten mobilen Anwendung und zeigt das Problem des DAI-Weges auf.

Die disruptive Qualität der Welt der Informationstechnik begrenzt so den Wert des eigenen Aufwandes, der immer wieder an die aktuellen Weiterentwicklungen der professionellen Anbieter angepasst werden muss. So ist die bei der Konzeption des DAI-Projektes angenommene Nichtverfügbarkeit eines Internetzuganges am Grabungsort heute eigentlich nur noch eine seltene Ausnahme. Daher erscheint die Projektpriorität der Offline-Funktionalität eigentlich überholt.

Die Strategie des BAI/DEI basiert hingegen auf einer realistischen Abschätzung der (gegenüber dem DAI) eigenen Größe und der geringen Anzahl von Grabungsstätten. Mit den begrenzten Entwicklungsressourcen müssen funktionierende Systeme für die Projekte *ad hoc* zu Verfügung stehen. Die Entwicklung geschieht in und mit den Projekten.

Dazu ist bei der Auswahl der Software von starker Bedeutung, dass die Basisfunktionalität schon vorhanden ist und nicht selbst programmiert werden muss. Das hat das BAI/DEI dazu bewogen, anders als das DAI weiter auf *Claris FileMaker* zu setzen, da diese Datenbanksoftware die Basisfunktionalität des Desktop-Clients und des Mobil-Clients schon mitbringt. Die Kosten stehen hier im Verhältnis zu der gebotenen Leistung, die auch in der Stabilität und den laufenden *Updates*, welche durch neue *Hardware* bzw. Betriebssystemversionen notwendig werden, bestehen.

10.3.1 Ein einheitliches Datenbanksystem für die Grabungen des BAI/DEI durch parametrisierte Attributfelder?

Wie oben gesehen, plant das DAI, die in den verschiedenen Projekten vorhandenen Datenbanken durch eine einheitliche Software abzulösen. Unterschiedliche Datenbanken, selbst wenn sie der gleichen Struktur einer stratigrafischen Grabung folgen, haben je nach Art der Grabung oder der Zeitstellungen des archäologischen Ortes unterschiedliche Merkmale, die von Befunden und Funden erhoben werden. Dafür wird im Datenmodell *iDAI.field* zwischen den Kern- und projektspezifischen Attributen unterschieden.³³⁴ Die projektspezifischen Attribute sind flexibel änderbar.

Es ist überlegenswert, ob so eine Vorgehensweise für die Grabungsdatenbanken des BAI/DEI denkbar ist. Dazu würden mehrere Informationen in ein Feld eingetragen, z.B. mittels eines JSON-Eintrages.³³⁵

Der Vorteil eines solchen Vorgehens liegt in der Einheitlichkeit. Von Nachteil ist aber, dass die Standard-Werkzeuge für Darstellung und Benutzerinteraktion bei *Claris FileMaker* nicht mehr genutzt werden können. Auch stehen die Standardabfrage- und Suchmöglichkeiten des Datenbanksystems für diese Felder nicht mehr zur Verfügung. Damit verzichtet man aber gerade die Stärken von *Claris FileMaker* (siehe Kapitel 8.2.1).

Die Nachteile überwiegen hier sehr deutlich die Vorteile, da das eingesetzte System *Claris FileMaker* die einfache und stabile Benutzeroberfläche auf Desktop und Mobilgeräten kompromittiert.

Wenn in Zukunft eine Unterstützung der JSON-Speicherung in z.B. *Claris FileMaker* oder *Django* (siehe Kapitel 10.2) selbst angeboten wird, müssen diese Überlegungen noch einmal neu bewertet werden.

³³⁴ Cuy et al. 2019, S. 4ff.

³³⁵ JSON (*Javascript Object Notation*) ist ein textbasiertes Format zur Speicherung von Textdaten. Da viele moderne Programmiersprachen von Hause aus der Verarbeitung von JSON-Informationen enthalten, hat sich JSON als Standardformat zum (automatisierten) Datenaustausch etabliert. Spezielle Konventionen erlauben auch die Speicherung von georeferenzierten Daten (GeoJSON).

```

{ "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    { "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "Point",
        "coordinates": [102.0, 0.5]
      },
      "properties": {
        "prop0": "value0"
      }
    },
    { "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [102.0, 0.0], [103.0, 1.0], [104.0, 0.0], [105.0, 1.0]
        ]
      },
      "properties": {
        "prop0": "value0",
        "prop1": 0.0
      }
    },
    { "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "Polygon",
        "coordinates": [
          [ [100.0, 0.0], [101.0, 0.0], [101.0, 1.0],
            [100.0, 1.0], [100.0, 0.0] ]
        ]
      },
      "properties": {
        "prop0": "value0",
        "prop1": {"this": "that"}
      }
    }
  ]
}

```

Abbildung 10.4: Beispiel eines GeoJSON-Eintrages³³⁶

³³⁶ <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/geojson.htm> (abgerufen 20.08.2024).

10.4 Langzeitarchivierung mit CIDOC CRM

Das CIDOC³³⁷ CRM (*Conceptual Reference Model*) ist nach eigener Angabe „ein theoretisches und praktisches Instrument für die Integration von Informationen im Bereich des kulturellen Erbes. Es wurde von einer freiwilligen Gemeinschaft von Experten entwickelt und bietet formale Definitionen und einen strukturierten Rahmen für die Beschreibung von Konzepten und Beziehungen, die in der Dokumentation des kulturellen Erbes verwendet werden. [...] Das CRM ist als ISO-Norm anerkannt und wurde in 20-jähriger Entwicklungsarbeit verfeinert“.³³⁸

Für die Verwendung zur Beschreibung von Grabungsdokumentation gibt es die Erweiterung *CRMarchaeo*.³³⁹ Ziel ist es, die gesamte Grabungsdokumentation mittels der standardisierten Beschreibung des *CRMarchaeo* in Dokumentform abzulegen. Da die Information hochstrukturiert vorliegt, kann sie zu weiteren maschinellen Auswertungen herangezogen werden. Klar ist, dass die Daten dann in einer statischen Form vorliegen, Korrekturen nicht oder nur sehr schwer vorgenommen werden können.

Da das *CRMarchaeo* einer stratigrafischen Grabung nachgebildet wurde,³⁴⁰ ist ein Export auch der Grabungsdatenbanken des BAI/DEI denkbar.³⁴¹ Einen erheblichen Zeitaufwand würde dies dennoch bedeuten, da eine eigene Exportfunktion erst programmiert werden müsste.³⁴² Sinnvoll wäre dies nur, wenn die Langzeitspeicherung und die Erschließung der Daten von einer Organisation (kostenfrei) übernommen würde, welche die Weiterentwicklung der notwendigen Software und der Schnittstellen gewährleistet.

Inwieweit ein solches Konzept für eine Langzeitverfügbarkeit von Grabungsdaten kosteneffizient ist, wenn zukünftige Lösungen auf Basis von KI-Methoden, tatsächlich die Erschließung von Grabungspublikationen und Daten automatisiert übernehmen können, bleibt abzuwarten

³³⁷ *Comité international pour la documentation*.

³³⁸ Siehe <https://cidoc-crm.org/> (abgerufen am 31.07.2024).

³³⁹ Siehe <https://www.cidoc-crm.org/crmarchaeo/> (abgerufen am 31.07.2024).

³⁴⁰ Siehe <https://www.cidoc-crm.org/crmarchaeo/> (abgerufen am 31.07.2024). Auf dieser Seite wird tatsächlich vom Prinzip der Harris-Matrix gesprochen. Die Harris-Matrix setzt aber die stratigrafische Methode voraus.

³⁴¹ Faniel et al. 2013, S. 303 – Die Autoren wenden ein, dass CIDOC CRM zu stark auf die Bedürfnisse von Museen ausgerichtet sei. Archäologische Spezifika wie z.B. Chronologien, die in unterschiedlichen Kontexten verschiedene Bedeutungen haben, finden keine Abbildung.

³⁴² Siehe für Fallbeispiele von Datenmodellierungen mit CIDOC CRM Große et al. 2017.

11 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit stellt dar, dass mit den technischen und digitalen Entwicklungen der letzten Jahre und Jahrzehnte neue Herausforderungen und insbesondere große Chancen für die archäologische Arbeit und deren Dokumentation entstanden. Am Beispiel der archäologischen Projekte des BAI/DEI auf dem *Tall Zirāʿa*, dem Umweltsurvey um den *Tall Zirāʿa*, auf dem Zionsberg in Jerusalem und in Tiberias konnte beschrieben werden, welche Neuerungen bei der Organisation, Dokumentation und Auswertung der wissenschaftlichen Arbeit eingeführt wurden.

Diese Neuerungen tragen dem Gedanken der korrekten und umfassenden Dokumentation der Gründungsdaten im weitesten Sinne ebenso Rechnung wie der Notwendigkeit, finanzielle Mittel und insbesondere die Aufwendung für die gut ausgebildeten Spezialisten effektiv (auch über territoriale und politische Grenzen hinweg) einzusetzen. Die dafür notwendigen Veränderungen bei den Feldarbeiten, den Analysen der Fundgruppen sowie bei der Vorbereitung von Publikationen (*Change Management*) im BAI/DEI wurden über eine Zeitspanne von etwa 20 Jahre beschrieben.

Optimierte Grabungsdokumentationen bringen einen hohen Grad an Automatisierung von Vorgängen und technischen Lösungen für z.B. ehemals klassische Zeichnungen, ausgewählte Fotografien und handschriftliche Notizen mit sich. Eine moderne Grabung wird daher nicht ohne eine grundständige solide technische Überwachung und innovatives Fehlermanagement durchgeführt werden können. Dennoch lauern auch Gefahren. Ein Grabungstag ohne Internetverbindung, ohne GPS-Konnektivität oder ohne Datenbankzugriff würde alle Forschungsarbeit zu diesem Zeitpunkt obsolet machen. Die Abhängigkeit von einem digital betriebenen Workflow bedarf daher stets auch des vorausschauenden

Risikomanagement, wie in verschiedenen Notfallsituationen dennoch korrekt und verlässlich gearbeitet und dokumentiert werden kann.³⁴³

Letztlich stehen in den modernen Datenbanken/Datenmanagementsystemen für eine künftige Publikation deutlich mehr gut geordneter Daten zur Verfügung (vom Notizzettel bis zum 3D-Bild und ebenso die Bestimmungen der Spezialisten zu C14 als noch in den Zeiten der „Zettelkästen“). Auch die Prüfung von möglicherweise fehlerhaften oder dubiosen Einträgen ist im Nachhinein gut möglich geworden.

Die digitale Revolution entwickelt sich anhand schrittweiser digitaler Transformationen und Evolutionen. Wir befinden uns nur in einem Zwischenstadium dieser Entwicklungen.

Neue Herausforderungen, weitere Schritte auf diesem Weg, bestehen in:

- der Integration von KI (gerade im Bereich der Planerstellung; Kapitel 9.2)
- der Automatisierung der 3D-Modellaufnahme (RTK-Drohne³⁴⁴, automatischer Upload, ohne Passpunkte; Kapitel 5.4)
- der individuellen RTK-GNSS-Vermessung der Dokumentierenden via Smartphone, Tablet (keine Passpunkte bei terrestrischer Aufnahme der 3D-Modelle; Kapitel 4.5)
- Integration von dreidimensionaler Darstellung in Grabungsinformationssysteme³⁴⁵

In diesem Sinne zeichnet diese Arbeit keinen Endpunkt, sondern nur ein Zwischenfazit. Der Autor wird auch weiterhin Projekte der Biblischen Archäologie im beschriebenen Sinn begleiten.

³⁴³ In der Konkretisierung bedeutet dies, dass bei der Feldarbeit zur Dokumentation Tablet-Computer eingesetzt werden, mit denen auch die Grabungsfotografie durchgeführt wird. Der Druck der Fundlabel geschieht durch Mobildrucker. Zur Vermessung wird ein hochgenaues RTK-GPS eingesetzt. Die Messdaten fließen direkt in das Grabungsinformationssystem ein. Auch die Pläne der stratigrafischen Schichten lassen sich aus dem Informationssystem generieren, wobei die Erstellung der Zeichnungen mit Künstlicher Intelligenz unterstützt stattfindet. – Dies bedeutet: Es gibt keine/n Zeichner/in mehr, Befunde werden auf Orthofotos im Grabungsinformationssystem markiert. Ein großer Teil der Vermessungsarbeiten wird durch Umzeichnung der Orthofotos ersetzt. Die Vermessungsarbeit wird dadurch entlastet, denn während der Grabungsarbeit werden nur noch Befundkanten und Funde eingemessen. Dadurch erhöht sich die spontane Verfügbarkeit der Vermessung.

³⁴⁴ Vgl. Eling/Münstermann 2020 und Suleymanoglu et al. 2023.

³⁴⁵ Vgl. Trautner 2015.

Literaturverzeichnis

Agisoft 2024. *Agisoft Metashape User Manual. Professional Edition, Version 2.1*. St. Petersburg: Agisoft.

Alpar, Paul/Rainer Alt/Frank Bensberg/Christian Czarnecki 2023. *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen*. 10. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (Hg.) 2024. *Leitfaden zur Qualitätssicherung von bildbasierten Digitalen Oberflächenmodellen (bDOM) und True Orthophotos (TrueDOP)*. München: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.

Barcelo, Juan A. 2009. *Computational Intelligence in Archaeology*. Hershey/PA: IGI Global.

Barker, Philip 2002. *Techniques of Archaeological Excavation*. London: Routledge.

Bar-Nathan, Rachel 2001. *The Pottery, Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho* (Final Reports of the 1973–1987 Excavations 3). Jerusalem: Israel Exploration Society.

Bar-Nathan, Rachel/Judith Gärtner 2013. *The finds from Jericho and Cypros, Hasmonean and Herodian palaces at Jericho* (Final Reports of the 1973–1987 Excavations 5). Jerusalem: Israel Exploration Society.

Bauer, Manfred 2010. *Vermessung und Ortung mit Satelliten. Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme*. Berlin: Wichmann.

- Bloch, Franziska 2006. *Hirbat al-Minya. Die unglasierte Keramik*. In: Franziska Bloch/Vereena Daiber/Peter Knötzele (Hg.). Studien zur spätantiken und islamischen Keramik. Hirbat al-Minya – Baalbek – Resafa (Orient-Archäologie 18). Rahden/Westfalen: Marie Leidorf, 1–110.
- Bouziani, Mourad/H. Chaaba/Ettarid Mohamed 2021. *Evaluation of 3D Building Model Using Terrestrial Laser Scanning and Drone photogrammetry*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVI-4/W4-2021, 39–42.
- Brandolini, Filippo/Giacomo Patrucco 2019. *Structure-from-Motion (SFM) Photogrammetry as a Non-Invasive Methodology to Digitalize Historical Documents. A Highly Flexible and Low-Cost Approach?* Heritage 2/3, 2124–2136.
- Bria, Rebecca/Kathryn E. DeTore 2016. *Enhancing Archaeological Data Collection and Student Learning with a Mobile Relational Database*. In: Erin Walcek Averett/Jody Michael Gordon/Derek B. Counts (Hg.). Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology. Grand Forks/ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 143–182.
- Brodu, Nicolas/Dimitri Lague 2012. *3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: Applications in geomorphology*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 68, 121–134.
- Browman, David L./Douglas R. Givens 1996. *Stratigraphic Excavation. The first New Archaeology*. American Anthropologist 98/1, 80–95.
- Buccellati, Giorgio 2017. *A Critique of Archaeological Reason. Structural, digital, and philosophical aspects of the excavated record*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Burdziakowski, Pawel 2017. *Evaluation of Open Drone Map Toolkit for Geodetic Grade Aerial Drone Mapping. Case study*. In: 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Sofia: STEF92 Technology, 101–110.

- Burrows, Cynthia 2016. *Developing an Archaeological Specific Geodatabase to Chronicle Historical Perspectives at Bethsaida, Israel* (Masterarbeit). Los Angeles: University of Southern California.
- Busen, Tobias/Miriam Knechtel/Clemens Knobling/Elke Nagel/Manfred Schuller/Birte Todt 2017. *Bauaufnahme*. München: TUM.University Press.
- Bzdok, Danilo/Naomi Altman/Martin Krzywinski 2018. *Statistics Versus Machine Learning*. Nature Methods 15/4, 233–234.
- Carver, Martin O. H. 1990. *Digging for Data. Archaeological approaches to data definition, acquisition and analysis*. In: Riccardo Francovich/Daniele Manacorda (Hg.). *Lo scavo archeologico: dalla diagnosi all'edizione*. Florenz: Edizioni All'Insegna del Giglio, 45–120.
- 2009. *Archaeological Investigation*. London: Routledge.
- 2015. *Publication in Field Archaeology*. In: Martin O. H. Carver/Bisserka Gaydarska/Sandra Montón-Subías (Hg.). *Field Archaeology from Around the World. Ideas and Approaches*. Springer Briefs in Archaeology. Cham: Springer International Publishing, 89–91.
- Chen, Zhiang/Tyler R. Scott/Sarah Bearman/Harish Anand/Devin Keating/Chelsea Scott/J. Ramón Arrowsmith/Jnaneshwar Das 2021. *Geomorphological Analysis Using Unpiloted Aircraft Systems, Structure from Motion, and Deep Learning*. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Las Vegas: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1276–1283.
- Cobb, Peter J./Tiffany Earley-Spadoni/Philip Dames 2019. *Centimeter-Level Recording for All. Field experimentation with new, affordable geolocation technology*. Advances in Archaeological Practice 7/4, 353–365.
- Cuy, Sebastian/Juliane Watson/Thomas Kleinke/Daniel de Oliveira/Philipp Gerth/Julina Schierenbeck 2019. *A Modern Approach to Distributed Fieldwork Documentation*. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2017. Wien: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie, 1–8.

- Di Segni, Leah/Yizhar Hirschfeld 1987. *Four Greek Inscriptions from the Monastery at Khirbet ed-Deir in the Judean Desert*. *Orientalia Christiana Periodica* 53, 365–386.
- Dreiser, Anja 2006. *Die Sgraffito- und Champlevé-Keramik aus Ḥirbat al-Minya am See Genezareth* (Magisterarbeit). Bamberg: Universität Bamberg.
- Drower, Margaret S. 1995. *Flinders Petrie. A Life in Archaeology*. Madison/WI: The University of Wisconsin Press.
- Ducke, Benjamin/Bernhard Fritsch/Manuel Schilling 2021. *Qualitätssicherung von 3D-Modellen für die Online-Publikation*. *Forum for Digital Archaeology and Infrastructure* 1, 1–30.
- Graeme, Earl (Hg.) 2013. *Archaeology in the Digital Era. Volume II*. Amsterdam: University Press.
- Eckstein, Günter 1982. *Photogrammetrische Vermessungen bei archäologischen Ausgrabungen*, *Denkmalpflege in Baden-Württemberg* 11/2, 60–67.
- Eling, Christian/Günter Münstermann 2020. *Direkte Georeferenzierung von Bildverbänden: Zum Leistungsstand von UAV-Systemen mit integrierten RTK-Modulen*. In: Heinz-Jürgen Przybilla/Thomas P. Kersten (Hg.). *UAV 2020. The sky is the limit? Beiträge zum 185. DVW-Seminar am 17. und 18. Februar 2020 in Hattingen* (Schriftenreihe des DVW 97). Augsburg: Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 77–90.
- El-Khouri, Lamia 2008. *The Roman Countryside in Northwest Jordan (63 BC–AD 324)*. *Levant* 40/1, 71–87.
- Ellis, Steven J. R. 2016. *Are We Ready for New (Digital) Ways to Record Archaeological Fieldwork? A Case Study from Pompeii*. In: Erin Walcek Averett/Jody Michael Gordon/Derek B. Counts (Hg.). *Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology*. Grand Forks/ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 53–75.
- Eschbach, Krista L./Alanna Ossa 2011. *Archaeological Data Curation and the Use of Legacy Databases*. Oswego/NY: State University of New York.

- Eve, Steve/Guy Hunt 2008. *ARK: A Development Framework for Archaeological Recording*. In: Axel Posluschny/Karsten Lambers/Irmela Herzog (Hg.). *Layers of Perception*. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007 (Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 10). Bonn: Dr. Rudolf Habelt, 1–5.
- Faniel, Ixchel/Eric Kansa/Sarah Whitcher Kansa/Julianna Barrera-Gomez/Elizabeth Yakel 2013. *The Challenges of Digging Data. A study of context in archaeological data reuse*. In: JCDL '13. Proceedings of the 13th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries. New York/NY: Association for Computing Machinery, 295-304.
- Fowler, Peter J./Riccardo Francovich/Daniele Manacorda 1990. *Site Landscape Context*. In: Riccardo Francovich/Daniele Manacorda (Hg.). *Lo scavo archeologico: dalla diagnosi all'edizione*. Florenz: Edizioni All'Insegna del Giglio, 121–131.
- Galor, Katharina/Israel Roll/Oren Tal 2009. Apollonia-Arsuf between Past and Future. *Near Eastern Archaeology* 72/1, 4–27.
- Garbrecht, Günter/Ehud Netzer 2001. *Die Wasserversorgung geschichtlicher Wüstenfestungen am Jordantal*. In: Weil Dierx/Günter Garbrecht (Hg.). *Wasser im Heiligen Land. Biblische Zeugnisse und archäologische Forschungen*. Mainz: Philipp von Zabern, 222–239.
- Glueck, Nelson 1942. *Further Explorations in Eastern Palestine*. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 86, 14–24.
- Goetz, Jason/Alexander Brenning/Marco Marcer/Xavier Bodin 2018. *Modeling the Precision of Structure-From-Motion Multi-View Stereo Digital Elevation Models from Repeated Close-Range Aerial Surveys*. *Remote Sensing of Environment* 210, 208–216.
- Göldner, Rainer 2019. *Digitalisierung*. Dresden: Kommission Archäologie und Informationssysteme im Verband der Landesarchäologen Deutschlands.
- Gordon, Jody Michael/Erin Walcek Averett/Derek B. Counts/Kyosung Koo/Michael K. Toumazou 2016. *DIY Digital Workflows on the Athienou Archaeological Project*,

- Cyprus*. In: Erin Walcek Averett/Jody Michael Gordon/Derek B. Counts (Hg.). Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology. Grand Forks/ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 111–141.
- Große, Peggy/Laura Albers/Sarah Wagner 2017. *Semantische Datenmodellierung mit dem CIDOC CRM. Drei Fallbeispiele*. In: Maximilian Eibl/Martin Gaedke (Hg.). INFORMATIK 2017. Bonn: Gesellschaft für Informatik Bonn, 1209–1220.
- Gualandi, Maria Letizia/Gabriele Gattiglia/Francesca Anichini 2021. *An Open System for Collection and Automatic Recognition of Pottery through Neural Network Algorithms*. Heritage 4/1, 140–159.
- Haala, Norbert/Kirsten Wolff 2009. *Digitale photogrammetrische Luftbildkamarasysteme. Evaluation der automatischen Generierung von Höhenmodellen*. In: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation Tagungsband 18, 23–32.
- Hamplová, Adéla/Avital Romach/Josef Pavlíček/Arnošt Veselý/Martin Čejka/David Franc/Shai Gordin 2024. *Cuneiform Stroke Recognition and Vectorization in 2D Images*. Digital Humanities Quarterly 18/1.
- Hanbury-Tenison, Jack W. 1984. *Wādī Arab Survey 1983*. Annual of the Department of Antiquities of Jordan 28, 385–424. 494–496
- Harris, Edward Cecil 1989. *Principles of Archaeological Stratigraphy*. London: Academic Press.
- Harris, Edward Cecil/Marley R. Brown/Gregory J. Brown (Hg.) 1993. *Practices of Archaeological Stratigraphy*. London: Academic Press.
- Heinzl, Armin/Alexander Mädeche/René Riedl 2024. *Wirtschaftsinformatik. Einführung und Grundlegung*. Berlin: Springer Gabler.
- Helmecke, Gisela 2005. *Die Ausgrabungen in Tabgha/Chirbat al-Minya 1936–1939*. In: Jens Kröger. Islamische Kunst in Berliner Sammlungen. 100 Jahre Museum für Islamische Kunst in Berlin. Berlin: Parthas, 150–155.
- Helmhold, Marc 2023. *Wettbewerbsvorteile entlang der Supply Chain sichern*. Wiesbaden: Springer Gabler.

- Hester, Thomas R./Harry J. Shafer/Kenneth L. Feder 1997. *Field Methods in Archaeology*. Mountain View/CA: Mayfield.
- Higginbotham, Edward 1985. *Excavation Techniques in Historical Archaeology*. Australian Journal of Historical Archaeology 3, 8–14.
- Hirschfeld, Yizhar 1993. *The Cave-Church at Khirbet ed-Deir*. In: Yoram Tsafrir (Hg.). *Ancient Churches Revealed*. Jerusalem: Israel Exploration Society, 244–258.
- 1999. *The Early Byzantine Monastery at Khirbet Ed-Deir in the Judean Desert. The Excavations in 1981–1987*. Jerusalem: The Hebrew University Jerusalem.
- Hodder, Ian 1999. *The Archaeological Process. An introduction*. Oxford: Blackwell.
- 2004. *Theory and Practice in Archaeology*. London: Routledge.
- Homsher, Robert S./ Matthew J. Adams/ Adam B. Prins/ Ryan Gardner-Cook 2017. *New Directions with Digital Archaeology and Spatial Analysis in the Jezreel Valley*. Journal of Landscape Ecology 10/3, 154–164.
- Hummler, Madeleine 2015. *Recording Fieldwork*. In: Martin O. H. Carver/Bisserka Gaydarska/Sandra Montón-Subías (Hg.). *Field Archaeology from Around the World. Ideas and Approaches*. Springer Briefs in Archaeology. Cham: Springer International Publishing, 63–70.
- Iheaturu, Chima/Emmanuel Ayodele/ Chukwuma John Okolie 2020. *An Assessment of the accuracy of Structure-from-Motion (SfM) Photogrammetry for 3D terrain mapping*. Geomatics, Landmanagement and Landscape 2, 65–82.
- IANUS-Forschungsdatenzentrum für Archäologie & Altertumswissenschaften 2017. *IT-Empfehlungen für den nachhaltigen Umgang mit digitalen Daten in den Altertumswissenschaften*. Version 1.0.0.0. Berlin: Deutsches Archäologisches Institut.
- Jensen, Peter 2017. *Where are we? Reviewing the Integration of Complex Spatial Data in Current Field Archaeology*. Internet Archaeology 44.
<https://doi.org/10.11141/ia.44.8>
- 2018a. *Approaching Reality. Integrating Image-based 3D Modelling and Complex Spatial Data in Archaeological Field Recording*. Aarhus: Aarhus Universitet.

- 2018b. *Semantically Enhanced 3D. A Web-based platform for spatial integration of excavation documentation at Alken Enge, Denmark*. *Journal of Field Archaeology* 43/1, 31–44.
- Johnson, Matthew 2020. *Archaeological Theory. An introduction*. Hoboken/NJ: Wiley Blackwell.
- Karasik, Avshalom/Zvika Greenhut/Joe Uziel/Nahahon Szanton 2014. *Documentation and Analyses on the National Scale at the Israel Antiquities Authority. The Story of One (Broken) Sherd*. *Near Eastern Archaeology* 773, 3–215.
- Kenkel, Frauke 2020. *Hellenistic to Umayyad Period (Strata 8-3). Ceramic, Glass and Metal Finds*. In: Dieter Vieweger/Jutta Häser (Hg.). *Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final Report, Band 6*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- Kenyon, Kathleen M. 1953. *Beginning in Archaeology*. London: Phoenix House.
- 1971. *An Essay on Archaeological Technique. The Publication of Results from the Excavation of a Tell*. *Harvard Theological Review* 64/2–3, 271–279.
- Kersten, Thomas P./Maren Lindstaedt 2020. *Zur Qualität dichter Punktwolken aus UAV-basierten Bildflügen*. In: Heinz-Jürgen Przybilla/Thomas P. Kersten (Hg.). *UAV 2020. The sky is the limit? Beiträge zum 185. DVW-Seminar am 17. und 18. Februar 2020 in Hattingen (Schriftenreihe des DVW 97)*. Augsburg: Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 141–162.
- Khoury, Rami George 1988. *The desert castles*. Amman: Al Kutba.
- Kubat, Miroslav 2015. *An Introduction to Machine Learning*. Cham: Springer International Publishing.
- Kuhnen, Hans-Peter 2016. *Khirbat al-Minya. Der Umayyadenpalast am See Genezareth (Orient-Archäologie 36)*. Rahden/Westfalen: Marie Leidorf.
- Kuhnen, Hans-Peter/Franziska Bloch 2014. *Kalifenzeit am See Genezareth. Der Palast von Khirbat al-Minya/The Age of the Caliphs at the Sea of Galilee. The Palace of Khirbat al-Minya*. Mainz: Nünnerich-Asmus.

- Kuhnen, Hans-Peter/Miri Pines/Oren Tal 2018. *Horbat Minnim Preliminary Report*. Hadashot Arkheologiyot. Excavations and Surveys in Israel 130. Jerusalem: Israel Antiquities Authority.
- Lindstaedt, Maren/Thomas Kersten/Martin Sauerbier/Janine Peterhans/Peter Fux 2007. *Terrestrisches Laserscanning und digitale Photogrammetrie zur archäologischen Dokumentation der Petroglyphen von Chichictara in Peru*. In: Thomas Luhmann/Christina Müller (Hg.). Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2007. Heidelberg: Wichmann Verlag, 328–337.
- Lock, Gary 2003. *Using Computers in Archaeology*. London: Routledge.
- López, Marcelo Castro/Francisco Arias de Haro/Libertad Serrano Lara/Ana L. Martínez Carrillo/Manuel Serrano Araque/Justin St. P. Walsh 2016. *Cástulo in the 21st Century: A Test Site for a New Digital Information System*. In: Erin Walcek Averett/Jody Michael Gordon/Derek B. Counts (Hg.). Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology. Grand Forks/ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 319–335.
- Lowe, David G. 2004. *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. International Journal of Computer Vision 60/2, 91–110.
- Lucas, Gavin 2001. *Critical Approaches to Fieldwork. Contemporary and Historical Archaeological Practice*. London: Routledge.
- 2012. *Understanding the Archaeological Record*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Luetzenburg, Gregor/Aart Kroon/Anders A. Bjørk 2021. *Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences*. Scientific Reports 11/1, 22221.
- Marcoff, Michael/Derwas James Chitty 1929. *Notes on Monastic Research in the Judean Wilderness 1928–1929*. Palestine Exploration Fund Quarterly Statement 61/3, 167–178.
- Marconi, Eleonora/Antonio Budano/Giancarlo Della Ventura/Federico Fina/Alberto Botti/Sandro Tassa/Ottavia Palacino/Lorenzo Conte/Marianna Franco/Francesco Pacetti/Caterina Coletti/Armida Sodo/Luca Tortora 2023. *AI-assisted*

- Reconstruction of Archaeological Pottery from digital 3D mesh models*. *Heritage* 4/1, 140-159.
- Masson-MacLean, Edouard/James O'Driscoll/Cathy McIver/Gordon Noble 2021. *Digitally Recording Excavations on a Budget. A (Low-Cost) DIY Approach from Scotland*. *Journal of Field Archaeology* 46/8, 595–613.
- Matskevich, Svetlana 2015. *Recording Systems for Archaeological Excavations in the Levant. Past and Future*. Jerusalem: Hebrew University.
- Matskevich, Svetlana/Liat Weinblum 2021. *Digital Archaeological Archiving in Israel*. *Internet Archaeology* 58, 1–9.
- Mittmann, Siegfried 1970. *Beiträge zur Siedlungs- und Territorialgeschichte des nördlichen Ostjordanlandes* (Abhandlungen des Deutschen Palästina-Vereins 2). Wiesbaden: Harrassowitz.
- Mennenga, Moritz/Kay Schmütz 2022. *profileAAR. A Plugin to Transform Section Control Points for Rectifying Archaeological Section Images in QGIS*. *Siedlungs- und Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet* 45, 227–234.
- Merlo, Stefano 2016. *Making Visible. Three-dimensional GIS in Archaeological Excavation*. Oxford: BAR Publishing.
- Motz, Christopher F. 2016. *Sangro Valley and the Five (Paperless) Seasons. Lessons on building effective digital recording workflows for archaeological fieldwork*. In: Erin Walcek Averett/Jody Michael Gordon/Derek B. Counts (Hg.). *Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology*. Grand Forks/ND: The Digital Press at the University of North Dakota, 77–109.
- Müller-Brehm, Jaana/Philipp Otto/Michael Puntschuh 2020. *Einführung und Überblick. Was bedeutet Digitalisierung?* In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.). *Digitalisierung. Informationen zur politischen Bildung* 344. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 4–5.
- Murtiyoso, Arnadi/Pierre Grussenmeyer/Deni Suwardhi/Rabby Awalludin 2018. *Multi-Scale and Multi-Sensor 3D Documentation of Heritage Complexes in Urban Areas*. *International Journal of Geo-Information* 7/12, 483–492.

- Netzer, Ehud 1993. *Tulul Abu el-ʿAlayiq*, In: Ephraim Stern/Ayelet Lewinson-Gilboa/Joseph Aviram (Hg.). *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land*. Jerusalem: The Israel Exploration Society & Carta, 682–691.
- 2001. *Stratigraphy and Architecture, Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho* (Final Reports of the 1973–1987 Excavations 1). Jerusalem: Israel Exploration Society.
- 2004. *Stratigraphy and Architecture. The Coins, Hasmonean and Herodian palaces at Jericho* (Final Reports of the 1973–1987 Excavations 2). Jerusalem: Israel Exploration Society.
- 2006. *The Architecture of Herod, the Great Builder* (Text and Studies in Ancient Judaism 117). Tübingen: Verlag Mohr Siebeck.
- Neuroth, Heike/Stefan Strathmann/Achim Oßwald/Regine Scheffel/Jens Klump/Jens Ludwig (Hg.) 2012. *Langzeitarchivierung von Forschungsdaten. Eine Bestandsaufnahme*. Boizenburg: Verlag Werner Hülsbusch.
- Olson, Brandon R./Ryan A. Placchetti/Jamie Quartermaine/Ann E. Killebrew 2013. *The Tel Akko Total Archaeology Project (Akko, Israel). Assessing the Suitability of Multi-Scale 3D Field Recording in Archaeology*. *Journal of Field Archaeology* 38, 244–262.
- Ossa, Alanna 2005. *Basic Archaeological Database Design*. Oswego/NY: State University of New York.
- Otte, Ralf 2021. *Maschinenbewusstsein: Die neue Stufe der KI – wie weit wollen wir gehen?* Frankfurt/Main: Campus.
- Otte, Ralf 2023. *Künstliche Intelligenz Für Dummies*. Newark/NJ: John Wiley & Sons.
- Øvstedal, Ola/Johan Tobias Arnell/Isak Foss Ingebrigtsen/Simen Walbækken Tangen/Bjørn-Eirik Roald 2022. *A comparison of survey-grade GNSS receivers by means of observation and coordinate domain approaches; traditional vs low-budget*. FIG Peer Review Journal: FIG Congress 2022.
- Patrich, Joseph 1993. *Hyrcania*. In: Ephraim Stern/Ayelet Lewinson-Gilboa/Joseph Aviram (Hg.). *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land*. Jerusalem: The Israel Exploration Society & Carta, 639–641.

- Parrinello, Sandro/Daniele Bursich 2019. *3D Documentation for the Study of the UNESCO Site of Masada: Methodologies and Applied Research for the Analysis of Roman Fields*. In: Wolfgang Börner/Susanne Uhlirz. *Proceedings of the 22nd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2017*. Wien: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie, 1–15.
- Pell, Taleatha/Joan Y. Q. Li/Karen E. Joyce 2022. *Demystifying the Differences between Structure-from-Motion Software Packages for Pre-Processing Drone Data*. *Drones* 6/1, 24–47.
- Petrie, W. M. Flinders 1904. *Methods & Aims in Archaeology*. London: MacMillan.
- Pierdicca, Roberto/Marina Paolanti 2022. *GeoAI. A review of artificial intelligence approaches for the interpretation of complex geomatics data*, *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems* 11/1, 195–218.
- Prins, Adam B./Matthew J. Adams/Robert S. Homsher/Michael Ashley 2014. *Digital Archaeological Fieldwork and the Jezreel Valley Regional Project, Israel*. *Near Eastern Archaeology* 77/3, 196–201.
- Pritchard, James 1952. *The Excavation at Herodian Jericho, 1951*. *The Annual of the American Schools of Oriental Research* 32/3, 56–58.
- Quartermaine, Jamie/Brandon R. Olson/Ann E. Killebrew. 2014. *Image-Based Modeling Approaches to 2D and 3D Digital Drafting in Archaeology at Tel Akko and Qasrin. Two Case Studies*. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies* 2, 110–127.
- Raphael, Lutz (Hg.) 2006. *Klassiker der Geschichtswissenschaft, II. Von Fernand Braudel bis Natalie Z. Davis*. München: Beck.
- Rebala, Gopinath/Ajay Ravi/Sanjay Churiwala 2019. *An Introduction to Machine Learning*. Cham: Springer International Publishing.
- Renfrew, Colin/Paul G. Bahn 2016. *Archaeology. Theories, Methods, and Practice*. London: Thames & Hudson.
- Richards-Rissetto, Heather/Jennifer von Schwerin 2017. *A Catch 22 of 3D data sustainability. Lessons in 3D archaeological data management & accessibility*. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 6, 38–48.

- Ritter, Markus 1994. *Die Baudekoration des umayyadischen Palastes Ḥirbat al-Minya am See Genezareth* (Magisterarbeit). Bamberg: Universität Bamberg.
- 2012. *Umayyadisches Ornament und christliche Motive. Marmorrelieffriesen (Champlevé) im Palast von Ḥirbat al-Minya*. In: Ernst Herzfeld-Gesellschaft (Hg.). *Beiträge zur Islamischen Kunst und Archäologie* 3. Wiesbaden: Reichert, 113–137.
- 2016. *Umayyad Foundation Inscriptions and the Inscription of Khirbat al-Minya. Text, Usage, Visual Form*. In: Hans-Peter Kuhnen (Hg.). *Khirbat al-Minya. der Umayyadenpalast am See Genezareth*. Rahden/Westfalen: Marie Leidorf, 59–84.
- 2017. *Der umayyadische Palast des 8. Jahrhunderts in Ḥirbat al-Minya am See von Tiberias. Bau und Baudekor* (Studien zur islamischen Kunst und Archäologie 1). Wiesbaden: Reichert.
- Rosen-Ayalon, Myriam/Katia Cytryn-Silverman/Giora Solar 2005. *Khirbat al-Minya. Notes and News*. *Israel Exploration Journal* 55, 216–219.
- Rozenberg, Silvia 2008. *The Decoration of Herod's Third Palace at Jericho, Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho* (Final Reports of the 1973–1987 Excavations 4). Jerusalem: Israel Exploration Society.
- Schäfer, Felix F. 2011. *Ein modulares Dokumentationssystem für archäologisches Feldforschungsprojekte (iDAI.field)*. *Kölner und Bonner Archaeologica* 1, 201–211.
- Schiffer, Michael B. 1987. *Formation Processes of the Archaeological Record*. Albuquerque/NM: University of New Mexico Press.
- Schloen, Sandra R./Miller C. Prosser 2023. *Database Computing for Scholarly Research. Case Studies Using the Online Cultural and Historical Research Environment*. Cham: Springer International Publishing.
- Schloen, J. David/Sandra R. Schloen 2012. *OCHRE. an Online Cultural and Historical Research Environment*. Winona Lake/IN: Eisenbrauns.
- 2014. *Beyond Gutenberg: Transcending the Document Paradigm in Digital Humanities*. *Digital Humanities Quarterly* 8/4.

- Schmidt, Katharina 2019. *The 2018 and 2019 Excavation Seasons. The Iron Age, Hellenistic and Early Roman Period in Area II*. In: Dieter Vieweger/Jutta Häser (Hg.), Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final Report IX. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- Sharp, Kayeleigh/Melissa Litschi 2014. *Maximizing E-Data Collection. A Novel Approach for Data Collection and Transmission Using Tablet Technology*. *Advances in Archaeological Practice* 2/2, 104–122.
- Silaparasetty, Nikita 2020. *Machine Learning Concepts with Python and the Jupyter Notebook Environment. Using Tensorflow 2.0*. Berkeley/CA: Apress.
- Smith, Abraham George/Jens Petersen/Cynthia Terrones-Campos/Anne Kiil Berthelsen/Nora Jarrett Forbes/Sune Darkner/Lena Specht/Ivan Richter Vogelius 2022. *RootPainter3D: Interactive-machine-learning enables rapid and accurate contouring for radiotherapy*. *Medical Physics* 49/1, 461–473.
- Smith, Neil G./Luca Passone/Said al-Said/Mohamed al-Farhan 2014. *Drones in Archaeology. Integrated Data Capture, Processing, and Dissemination in the al-Ula Valley, Saudi Arabia*. *Near Eastern Archaeology* 77/3, 176–181.
- Smith, Neil G./Thomas E. Levy 2014. *ArchField in Jordan. Real-Time GIS Data Recording for Archaeological Excavations*. *Near Eastern Archaeology* 77/3, 166–170.
- Soennecken, Katja/Patrick Leiverkus 2021. *Wādī al-‘Arab*. In: Dieter Vieweger/Jutta Häser (Hg.). Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final report VIII. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- Stengel, Oliver/Alexander van Looy/Stephan Wallaschkowski 2017. *Digitalzeitalter – Digitalgesellschaft. Das Ende des Industriezeitalters und der Beginn einer neuen Epoche*. Wiesbaden: Springer.
- Streatfeild-James, Jake 2021. *QGIS for Archaeologists*. BAJR Practical Guide Series 42. Selkirk: British Archaeological Jobs Resource.
- Stringer, Carsen/Tim Wang/Michalis Michaelos/Marius Pachitariu 2021. *Cellpose. A generalist algorithm for cellular segmentation*. *Nature Methods* 18/1, 100–106.
- Stringer, Carsen/Marius Pachitariu 2022. *Cellpose 2.0. How to train your own model. Bioinformatics*. *Nature Methods* 19, 1634–1641.

- 2024. *Cellpose 3.0. One-click image restoration for improved cellular segmentation*. Preprint. DOI:10.1101/2024.02.10.579780.
- Suleymanoglu, Barış/Rami Tamimi/ Yalçın Yilmaz/Metin Soycan/Charles Toth 2023. *Road Infrastructure Mapping by using iPhone 14 Pro. An Accuracy Assessment*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVIII-M-1-2023, 347–353.
- Tamimi, Rami 2022. *Relative Accuracy Found Within iPhone Data Collection*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B2-2022, 303–308.
- Teubner, Rolf Alexander 1999. *Organisations- und Informationssystemgestaltung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Trautner, Thomas 2015. *Visualizing Archaeological Excavations based on Unity3D*. In: Michael Wimmer/Jiří Hladůvka/Martin Ilčík (Hg.). *Proceedings of the 19th Central European Seminar on Computer Graphics*. Wien: University of Technology. Institute of Computer Graphics and Algorithms, 1–8.
- Travé Allepuz, Esther/Pablo del Fresno Bernal/Alfred Mauri Martí/Sonia Medina Gordo 2021. *The Semantics of History. Interdisciplinary Categories and Methods for Digital Historical Research*. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 6/5, 47–56.
- Ullman, S./Sydney Brenner 1979. *The interpretation of structure from motion*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 203/1153, 405–426.
- Vial, Gregory 2019. *Understanding digital transformation. A Review and a Research Agenda*. *The Journal of Strategic Information Systems* 28/2, 118–144.
- Vieweger, Dieter 2012. *Archäologie der biblischen Welt*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- 2019. *Geschichte der biblischen Welt. Die südliche Levante vom Beginn der Besiedlung bis zur römischen Zeit I-III*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- 2022. *Geschichte der biblischen Welt. Die südliche Levante von der Spätantike bis zur umayyadischen Zeit IV-V*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.

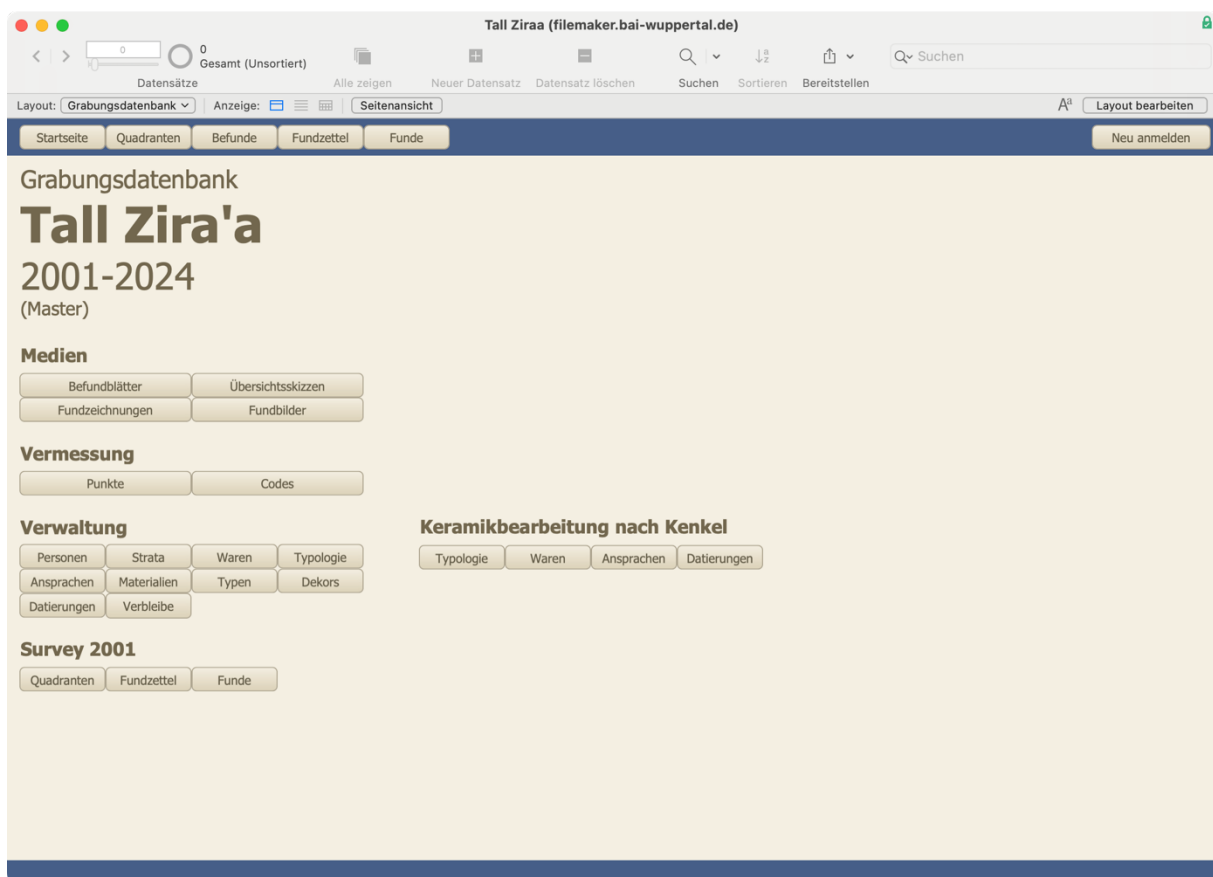
- Vieweger, Dieter/Jennifer Zimni/Friederike Schöpf/Michael Würz 2020. *DEI Excavations on the Southwestern Slope of Mount Zion (2015–2019)*. Archäologischer Anzeiger 2020/1, 268–292.
- Vieweger, Dieter/Jutta Häser (Hg.) 2017–2025. *Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final Report I–X*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- 2017. *Introduction*. In: Dieter Vieweger/Jutta Häser (Hg.). *Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final Report I*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- 2019. *Early and Middle Bronze Age*. In: Dieter Vieweger/Jutta Häser (Hg.). *Tall Zirā‘a. The Gadara Region Project (2001–2011). Final Report VI*. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.
- Vogt, Maximilian/Adrian Rips/Claus Emmelmann 2021. *Comparison of iPad Pro’s LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution*. Technologies 9/2, 25–37.
- Vorona, Dimitri/Andreas Kipf/Thomas Neumann/Alfons Kemper 2019. *DeepSPACE. Approximate Geospatial Query Processing with Deep Learning*. In: Farnoush Banaei-Kashani/Goce Trajcevski/Ralf Hartmut Güting/Lars Kulik/Shawn Newsam (Hg.). SIGSPATIAL '19. Proceedings of the 27th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. New York: Association for Computing Machinery, 500–503.
- Wachtel, Ido/Royi Zidon/Shimon Garti/Gideon Shelach-Lavi 2018. *Predictive modeling for archaeological site locations: Comparing logistic regression and maximal entropy in north Israel and north-east China*. Journal of Archaeological Science 92, 28–36.
- Wang, Yuan/Xiaodan Shi/Takashi Oguchi 2023. *Archaeological Predictive Modeling Using Machine Learning and Statistical Methods for Japan and China*. International Journal of Geo-Information 12, 238.
- Weber, Thomas Maria 2002. *Gadara – Umm Qes. Gadara Decapolitana. Untersuchungen zur Topographie, Geschichte, Architektur und der bildenden Kunst einer Polis Hellenis im Ostjordanland* (Abhandlungen des Deutschen Palästina-Vereins 30). Wiesbaden: Harrassowitz Verlag.

- Weippert, Helga 1971. *Palästina in vorhellenistischer Zeit* (Handbuch der Archäologie 1). München: Beck.
- Westman, Andrew 1995. *Archaeological Site Manual*. London: Museum of London.
- Wood, Jason 2015. *The Archaeological Study of Buildings*. In: Martin O. H. Carver/Bis-serka Gaydarska/Sandra Montón-Subías (Hg.) 2015. *Field Archaeology from Around the World. Ideas and Approaches*. Springer Briefs in Archaeology. Cham: Springer International Publishing, 53–62.
- Wright, George Roy Haslam/Józef Tadeusz Milik 1961. *The Archaeological Remains at El Mird in the Wilderness of Judea*. Biblica 42/1, 1–27.
- Yaworsky, Peter M./Kenneth B. Vernon/Jerry D. Spangler/Simon C. Brewer/Brian F. Codding 2020. *Advancing predictive modeling in archaeology. An evaluation of regression and machine learning methods on the Grand Staircase-Escalante National Monument*. PLOS ONE 15/10, 1–22.

Anhang 1: Benutzerinterfaces der Datenbanken und Informationssysteme

1 Grabungsdatenbank *Tall Zira'a*

1.1 Startbildschirm



1.2 Quadranten

1.2.1 Allgemein

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: **Quadranten** | Anzeige: **Seitenansicht** | Layout bearbeiten

Quadrant AL 116

Allgemein | Übersichtsskizzen

Quadrant: **AL 116** | Areal: **1** | Geöffnet: | Aktiv: ☒ Ja ☐ Nein

minNord: **225235** | maxNord: **225240** | minOst: **211775** | maxOst: **211780**

Befund	Datierung	Beschreibung	Interpretation
40	modern	Graubraune lockere Erde mit Wurzelwerk	Erbefund
44	EZ II A/B (jünger)	Größere Krugfragmente (Rekonstruktion durch Blana)	
55	EZ II A/B (beide)	Lockere graubraune Erde - mit größeren Steinen Zusammenhang mit Context 18 in AL 117	
56	EZ II A/B (beide)	Steine mit lockerer hellbrauner Erde	
81	EZ II A/B (beide)	graubraune lockere Erde mit vielen Steinen	
82	EZ II A/B (beide)	Steinansammlung unbehauener Steine, Verbindung zu Kontext 24 und 64 in AM 117 55= 82	
84	SB 1. Stratum 1. Phase	Steinansammlung und darunter befindliche Lehmziegelmauer	
85	SB 1. Stratum 1. Phase	Große Steine - Mauer	
86	SB 1. Stratum 1. Phase	große Steine - Zusammenhang mit 85 = Mauer	
87	EZ II A/B (beide)	Lehmziegel (im Baulk sichtbar)	

Erstellt von: . Letzte Änderung 23.05.2012 11:49:12 von admin.

Formular zur Verwaltung der Quadranten mit Liste der dazugehörigen Befunde

Eingabefelder

Quadrant

Areal

Geöffnet

Aktiv

minNord

maxNord

minOst

maxOst

Hier wird der Name des Quadranten angegeben

Nummer des Areals eingeben, zu dem der Quadrant gehört

Datum, wann in dem Quadranten das erste Mal gegraben wurde

Angabe, ob der Quadrant gerade aktiv begraben wird. Aktive Quadranten erscheinen bei der Befunderfassung zur Auswahl

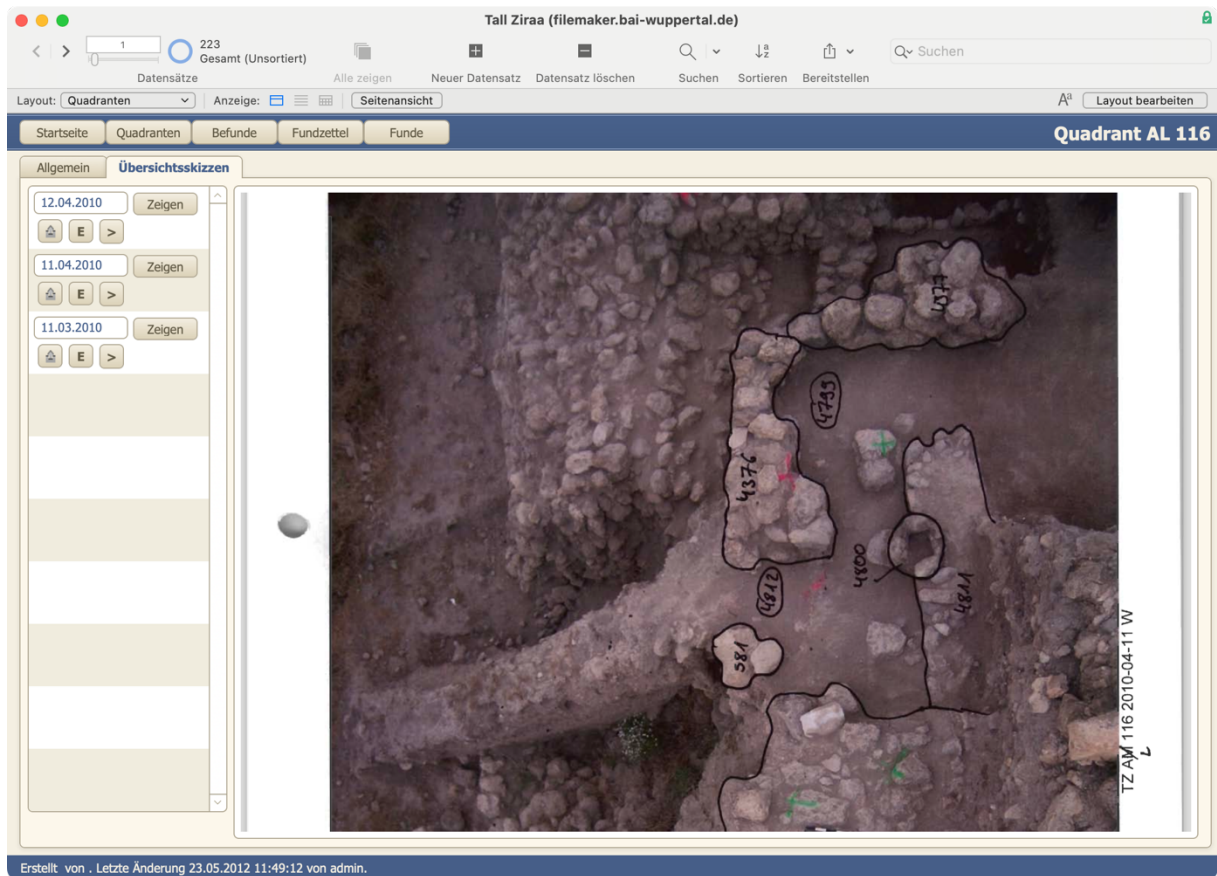
Nordkoordinate des südwestlichen Eckpunktes (Palestine Grid)

Nordkoordinate des nordöstlichen Eckpunktes (Palestine Grid)

Ostkoordinate des südwestlichen Eckpunktes (Palestine Grid)

Ostkoordinate des nordöstlichen Eckpunktes (Palestine Grid)

1.2.2 Übersichtsskizzen



Hier werden die täglichen Senkrechtfotos des Quadranten
(mit eingezeichneten Befunden) angezeigt (Kapitel 5.3).

1.3 Befunde

1.3.1 Allgemein

The screenshot shows a web-based database interface titled 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main window displays the 'Befund 5868' entry form. The form is organized into several sections: 'Allgemein' (General), 'Boden' (Soil), 'Relationen' (Relations), 'Funde' (Findings), 'Vermessung' (Surveying), 'Befundblatt' (Findings sheet), and 'Übersichtsskizzen' (Overview sketches). The 'Allgemein' section contains fields for 'Befund' (5868), 'Quadrant' (AS 120), 'Areal' (I), 'Bearbeiter/in' (SS), 'Geöffnet' (26.03.2011), 'Geschlossen' (26.03.2011), 'Datierung' (EZ I), 'Stratum' (13 (2013)), 'Fundzahl' (19), and 'Fertig' (radio buttons for Ja/Nein). Below these are three text areas: 'Beschreibung' (Description), 'Interpretation', and 'Bemerkungen' (Remarks). The 'Beschreibung' field contains text about the find's location and soil characteristics. The 'Interpretation' field contains text about the find's context and the surrounding area. The 'Bemerkungen' field is empty. On the right side of the form, there is a vertical list of other 'Befunde in AS 120', including 4052, 4066, 4068, 4438, 4440, 4463, 4516, 4605, 4613, 4615, 5169, 5170, 5173, 5174, 5260, 5447, 5448, 5778, 5779, 5794, 5795, 5796, 5797, 5798, 5799, 5800, 5809, and 5810. The bottom of the interface shows a status bar with the text 'Erstellt 26.03.2011 17:50:25 von ss. Letzte Änderung 03.06.2012 20:58:14 von DV.'

Eingabemaske zur Erfassung der Grunddaten eines Befundes.

In der Spalte rechts werden alle Befunde des gleichen Quadranten aufgelistet

Eingabefelder

<i>Befund</i>	Nummer des Befundes
<i>Quadrant</i>	Quadrant in dem der Befund liegt
<i>Areal</i>	Areal des Befundes (wird automatisch berechnet)
<i>Bearbeiter/in</i>	Kürzel der dokumentierenden Person
<i>Geöffnet</i>	Datum des Grabungsbeginn des Befundes
<i>Geschlossen</i>	Datum des Grabungsende des Befundes
<i>Datierung</i>	Datierung des Befundes
<i>Stratum</i>	Stratum des Befundes
<i>Fundzahl</i>	Anzahl der gezählten Funde in diesem Befund (wird automatisch berechnet)
<i>Fertig</i>	Nach Schließen des Befundes und Abschluss der Dokumentation auf „ja“ zu setzen
<i>Beschreibung</i>	Genaue Beschreibung des Befundes
<i>Interpretation</i>	Interpretation des Befundes
<i>Bemerkungen</i>	Sonstige Bemerkungen

1.3.2 Boden

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

6054 7,896 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Befunde Anzeige: Seitenansicht

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde **Befund 5868**

Allgemein **Boden** Relationen Funde Vermessung Befundblatt Übersichtsskizzen

Sediment ☐ sandig ☒ lehmig ☐ schluffig ☐ humos

Konsistenz ☐ sehr hart ☒ hart ☐ locker ☐ sehr locker

Verunreinigungen ☒ keine ☐ wenig ☐ stark

Gründe

Farbe

☒ weißlich
☐ gelblich
☐ gräulich
☒ bräunlich
☐ schwärzlich
☐ rötlich

Einschlüsse

Asche ☐ viel ☐ wenig ☒ keine
Holzkohle ☐ viel ☐ wenig ☒ keine
gebrannter Lehm ☐ viel ☐ wenig ☒ keine
Mörtel-/Ziegelreste ☐ viel ☐ wenig ☒ keine
Grus ☐ viel ☒ wenig ☐ keine
Kies ☐ viel ☒ wenig ☐ keine
Steine ☐ viel ☐ wenig ☒ keine
Blöcke ☐ viel ☐ wenig ☒ keine

Befunde in AS 120

4052
4066
4068
4438
4440
4463
4516
4605
4613
4615
5169
5170
5173
5174
5260
5447
5448
5778
5779
5794
5795
5796
5797
5798
5799
5800
5809
5810

Erstellt: 26.03.2011 17:50:25 von ss. Letzte Änderung 03.06.2012 20:58:14 von DV.

Angaben zur Beschaffenheit der Erde des Befundes (Farbe, Körnigkeit, Einschlüsse)

1.3.3 Relationen

The screenshot shows a web-based database interface titled 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main window displays the 'Relationen' (Relations) tab for 'Befund 5868'. The interface includes a top navigation bar with buttons like 'Startseite', 'Quadranten', 'Befunde', 'Fundzettel', and 'Funde'. Below this, there are tabs for 'Allgemein', 'Boden', 'Relationen', 'Funde', 'Vermessung', 'Befundblatt', and 'Übersichtsskizzen'. The 'Relationen' tab is active, showing three columns for defining stratigraphic relations: 'ist älter als' (older than), 'ist gleichzeitig mit' (contemporaneous with), and 'ist jünger als' (younger than). Each column has a search bar and a dropdown menu. The right side of the interface shows a list of 'Befunde in AS 120' (Findings in AS 120) with a scrollable list of numbers from 4052 to 5810. The bottom status bar indicates the record was created on 26.03.2011 and last modified on 03.06.2012.

Angabe der stratigrafischen Relationen des Befundes zu den benachbarten Befunden
(siehe Kapitel 1.4.3)

1.3.4 Funde

Tall Ziraā (filemaker.bai-wuppertal.de)

6054 7,896 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Befunde Anzeige: Seitenansicht A⁸ Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde **Befund 5868**

Allgemein Boden Relationen **Funde** Vermessung Befundblatt Übersichtsskizzen Befunde in AS 120

Fund		Material	Anz.	Datierung	Ware	Warendat.
17727	1	Stein/Mineral	1			
17774	1	Knochen				
18448	1	Stein/Mineral	1			
19518	1	Stein/Mineral	2			
21155	1	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
21155	2	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
21155	3	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
21155	4	Keramik	1	SB	CP 3	MB/SB
21155	5	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
21155	6	Keramik	1	EZ	WM C Buff	MB SB EZ
21155	7	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
21155	8	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
21155	9	Keramik	1	SB	WM C R2B	MB SB EZ
21155	10	Keramik	1	EZ	WM C Buff	MB SB EZ
21166	1	Keramik	2		WM C Buff	MB SB EZ
21166	2	Keramik	1		WM C R2B	MB SB EZ
21166	3	Keramik	1		WM C Buff	MB SB EZ

Erstellt: 26.03.2011 17:50:25 von ss. Letzte Änderung 03.06.2012 20:58:14 von DV.

Liste der Funde, die zum Befund gehören

1.3.6 Befundblatt

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1/7,896 Gefunden (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Befunde Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde **Befund 10225**

Allgemein Boden Relationen Funde Vermessung **Befundblatt** Übersichtsskizzen

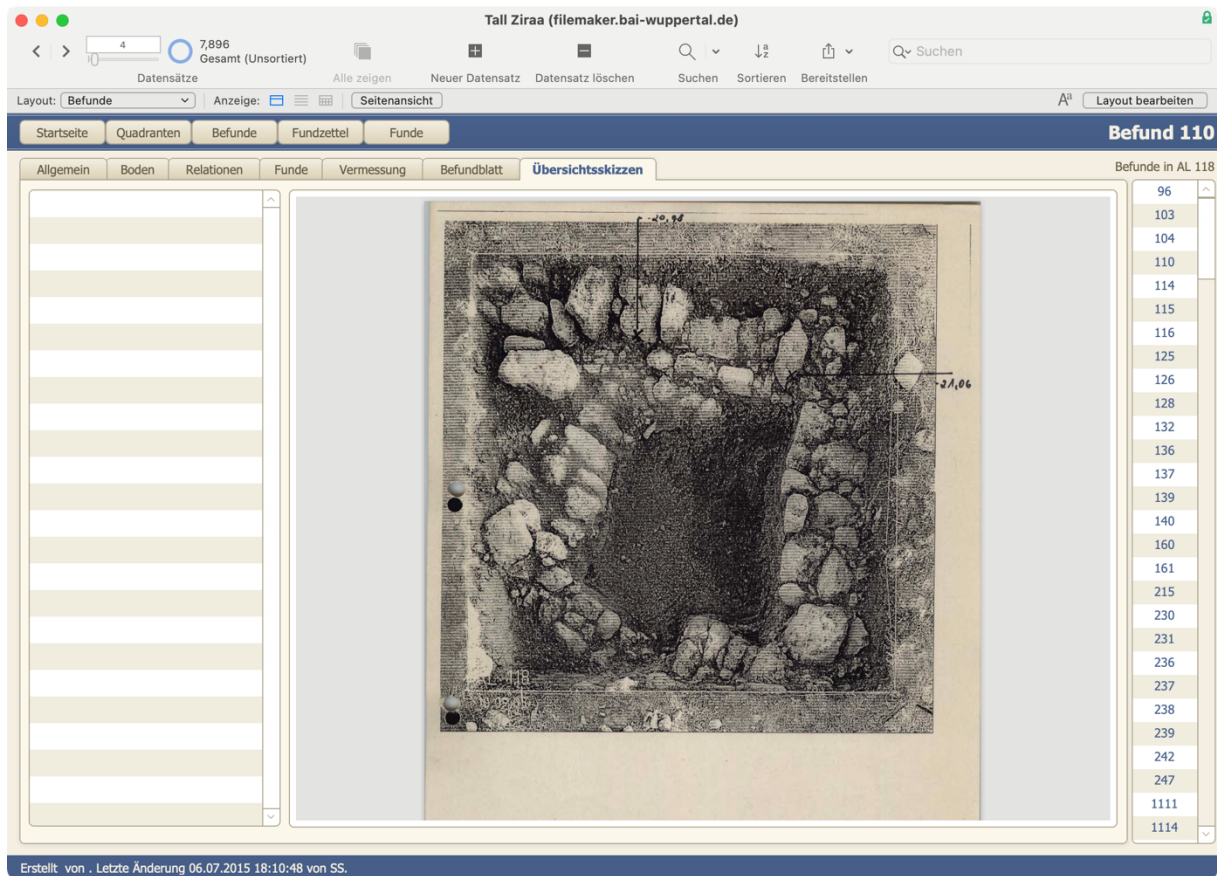
E Zeigen

Site	Area	Square	Type	Contact
T2	II	AVIAW 130		10225
Sheet	Of	Excavated	Recorder	Date
		5/1/00	LM	02.03.02
Type	Texture	Consistence	Colour	Shape section
		beim-kompakt	hellgrünlich	
Material	Comments	Material	Find labels	
Contamination	Reasons			
NONE LOW HIGH				
Below	Within	Above		
Created by	Contains	Seals		
Filled by	Equivalent to	Fit of		
Cut by	Same as	Cuts	10204, 10206, 10214	
Butted by	Bonded with	Butts		
Length/Diameter	Width	Height/depth	Niv. upper	Method of exc.
			10343-2905	
Sketches				
vgl. Skizze Befund 10223				
Description				
Grube in der Mauerlinie der Mauer 10204 und 10206, Gestein ist aus der Grube ausgebrochen, Befüllung sehr ähnlich wie 10.210				
Interpretation				
Grube				

Erstellt: 09.03.2007 15:56:31 von . Letzte Änderung 31.07.2013 12:43:24 von jh.

Das eingescannte Befundformular der Felddokumentation (siehe Kapitel 7.1)

1.3.7 Übersichtsskizzen



Die eingescannten Senkrechtfotos der Quadranten mit den eingezeichneten Befunden
(siehe Kapitel 5.3)

1.4 Fundzettel

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1 / 26.971 Gefunden (Unsortiert) | Suchen | Sortieren | Bereitstellen

Layout: Fundzettel | Anzeige: | Seitenansicht | Layout bearbeiten

Startseite | Quadranten | Befunde | Fundzettel | Funde

Fundzettel 4982

Fundzettel: 4982 | Befund: 3247 | Quadrant: AQ 120 | Areal: 1 | Datum: 16.03.2008

Material: Keramik | Bearbeiter/in: fk

Erw.	Material	Typ	Anzahl	Gewicht	Ware	Warendatierung
1	Keramik	Henkel mit	1		CI C Bu2Br-c	röm byz
2	Keramik	Randlippe	1		WM C Buff	MB SB EZ
3	Keramik	Boden -	1		WM R2B P	MB SB
4	Keramik	Randlippe	1		WM C Buff	MB SB EZ
5	Keramik	Randlippe	1		WM C Buff	MB SB EZ

Neuer Fund

Warenbestimmung

Ware	Anzahl
CI C Bu2Br	9
CI Red	5
CI Red-c	1
WM 0610	1
WM C Buff-c	1

Erstellt: 16.03.2008 15:27:07 von fk. Letzte Änderung 24.03.2008 16:14:41 von Admin.

Fundzettelformular mit Listenansicht der Funde

1.5 Funde

1.5.1 Allgemein

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Funde | Anzeige: | Seitenansicht | Fund 010691-001

Allgemein | Bilder & Zeichnungen

Fundzettel: 10691 | Erweiterung: 1 | Inventarnr: 010691-001
 Befund: 2873 | Quadrant: AI 117 | Areal: 1
 Befunddatierung: EZ II A/B (älter) | Stratum: 12 (2013)

Anzahl: 1 | Anpassen an:
 Material: Metall | Typ: Fragment | Dekor: | Ansprache: Gewandnadel | Datierung: | Referenz:
 Länge (cm): 3.4 | Breite (cm): | Höhe (cm): | Dm. Öffn. (cm): | Dm. max. (cm): 0.7 | Dm. Fuß (cm): | Dm. Öff. in. (cm): | Wandst. (cm): | Gewicht (g): 2.00

Dateneingabe: AN | Datum: 09.04.2007 | Bearbeiter/in: SH | Datum: 02.03.2010

Bemerkungen: gebogenes Objekt mit einem kleinen Haken an einem Ende (Bügel einer Fibel?)
 loan agreement 29.07.2013 permanent

Keramik | Knochen | Stein/Mineral | Metall | Bodenproben | Vermessung

☺ Keramikware: | Warendatierung: | Textur: | Typologie: | Petrographie:
 Ansprache: | Datierung Bezeichnung: | Datierung Beginn Ende: | Datierung Beginn: | Datierung Ende: | Typologie: | Warengruppe:

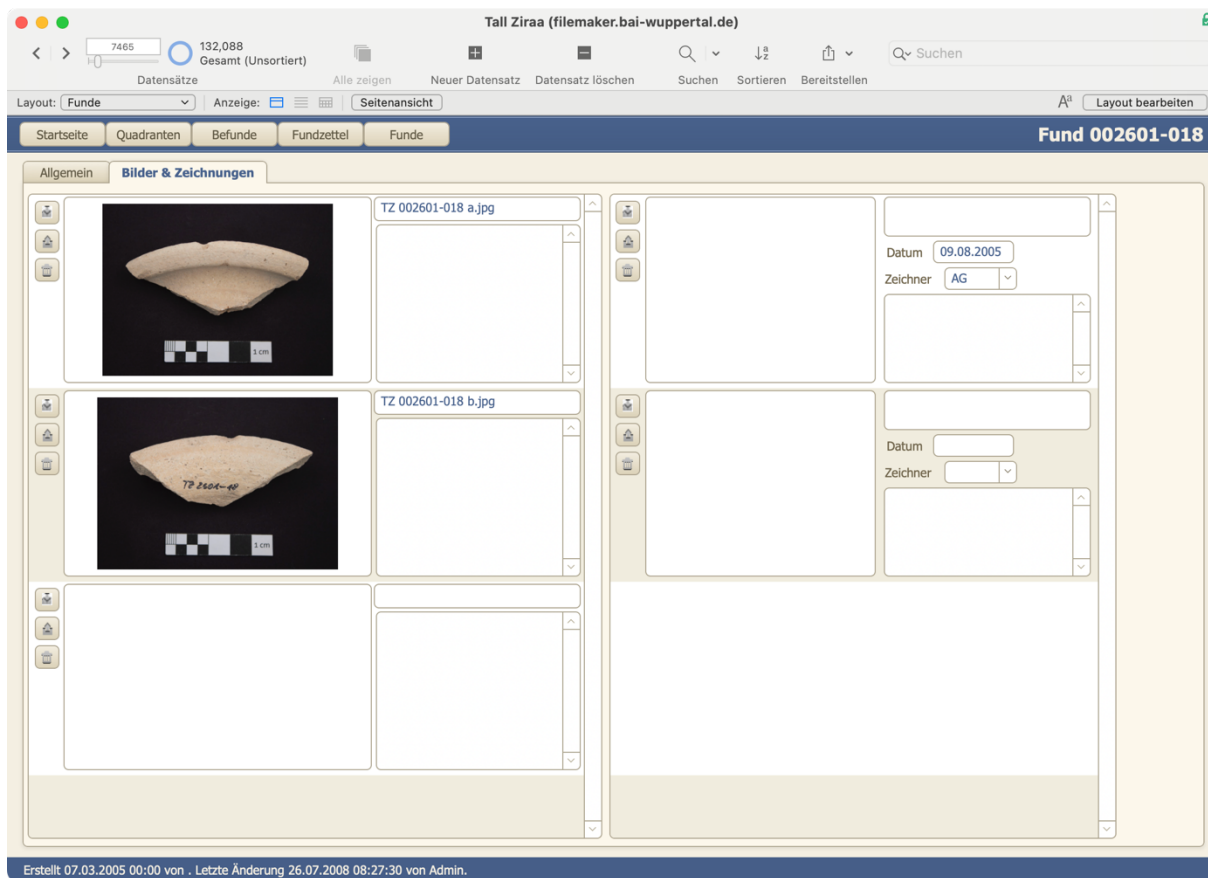
Fundzeichnungen | Anzahl Zeichnungen: 0

☺ Zeichner: | Datum: | Löschen:
 Exportiert: ☒ Archäometrie: ☐ Reimportiert: ☐ Foto: ☒ ext. Nr.: | Verbleib: BAI permanent | Lageort: Vitrine 15

Erstellt: 09.04.2007 17:14:02 von . Letzte Änderung 08.04.2016 17:35:24 von KS.

Alle Angabe zu den Einzelfunden. Auf der rechten Seite gibt es Register für Spezialangaben bei verschiedenen Fundmaterialien (Keramik, Knochen, Stein/Mineral, Metall, Bodenproben) und die Vermessungspunkte

1.5.2 Bilder und Zeichnungen



Fotos der Einzelfunde

1.6.2 Übersichtsskizzen

The screenshot displays a web-based database interface for 'Tall Ziraa' (filemaker.bai-wuppertal.de). The interface is in German and includes a top navigation bar with options like 'Datensätze', 'Anzeige', and 'Suchen'. Below this is a sidebar with a 'Quadranten' (Quadrants) section containing a grid of input fields for recording survey data. The main area shows a photograph of an archaeological site with handwritten annotations and a sketch of a structure. The title 'Übersichtsskizze vom 1.3.2010' is visible in the top right corner of the main area. At the bottom, a status bar indicates the record was created on 23.05.2012 by admin and last modified on 23.05.2012 by jo.

Formular zur massenhaften Erfassung der eingescannten Senkrechtfotos
(siehe Kapitel 5.3)

1.6.3 Fundzeichnungen/Fundbilder

The screenshot shows a web-based data entry interface for archaeological finds. The browser window title is 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The interface has a top menu bar with options like 'Layout: Fundbilder', 'Anzeige: Seitenansicht', and a search bar. Below this is a navigation bar with buttons for 'Startseite', 'Quadranten', 'Befunde', 'Fundzettel', and 'Funde'. The main content area is divided into two parts: on the left, a form for recording find details, and on the right, a large image placeholder. The form includes a 'Fund' field with the value '001092-007' and a 'Bemerkung' (remarks) text area. The image placeholder shows a photograph of a stone artifact with a 1 cm scale bar. The bottom status bar indicates the record was created on 17.05.2012 at 11:16:26 by 'ss.' and last modified on 17.05.2012 at 11:30:55 by 'admin.'.

Formular zur einfachen Erfassung der Fundfotos

1.7 Vermessung

1.7.1 Punkte

The screenshot shows the 'Tall Zira' web application interface. The browser address bar shows 'Tall Zira (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The top navigation bar includes a search bar, a 'Suchen' button, and a 'Layout bearbeiten' button. Below the navigation bar, there are tabs for 'Startseite', 'Quadranten', 'Befunde', 'Fundzettel', and 'Funde'. The 'Befunde' tab is selected. The main content area is a form for entering survey data. It includes a 'Suchen' button, a 'Punktnr' field with the value '13800', a 'Quadrant' field with the value 'AF 116', and several other fields for coordinates, height, code, and description. The 'Punktnr' field is highlighted. The 'Code' field has a dropdown menu with '21f' selected. The 'Codebeschreibung' field has the value 'Fund'. The 'Befund' field has the value '3203'. The 'Gemessen' field has the value '09.03.2008 07:28'. The 'Bemerkung' field is a large text area.

Suchen

Punktnr 13800

Nord 225211.86

Ost 211778.71

Höhe -21.26

Code 21f

Codebeschreibung Fund

Befund 3203

Gemessen 09.03.2008 07:28

Bemerkung

Erstellt 23.03.2008 20:36:47 von Admin. Letzte Änderung 25.08.2009 08:31:30 von jh.

Die Vermessungspunkte aus Tachymeter oder RTK-GPS
(mit Koordinaten im *Palestine 1923 Grid*)

1.7.2 Codes

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1

29

Gesamt (Unsortiert)

Alle zeigen

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Suchen

Layout: CodesAnzeige:SeitenansichtLayout bearbeiten

Startseite

Quadranten

Befunde

Fundzettel

Funde

Vermessungscode 1

Code	1	Beschreibung	Trigonometrischer Punkt
Code	2	Beschreibung	Festpunkt
Code	3	Beschreibung	Hilfspunkt
Code	20	Beschreibung	Höhenpunkt
Code	21ok	Beschreibung	Oberkante
Code	21u	Beschreibung	Oberkante
Code	21uk	Beschreibung	Unterkante
Code	21l	Beschreibung	Unterkante
Code	21f	Beschreibung	Fund
Code	21fok	Beschreibung	Oberkante Fund
Code	21fuk	Beschreibung	Unterkante Fund
Code	30	Beschreibung	Mauer
Code	31	Beschreibung	Zisterne
Code	22	Beschreibung	C14-Probe
Code	21m	Beschreibung	Mitte
Code	4	Beschreibung	Passpunkt
Code	24	Beschreibung	Lehmziegelmauer
Code	25	Beschreibung	Grubenmitte
Code	26	Beschreibung	Grubenrand
Code	44	Beschreibung	Bohrloch
Code	21bn	Beschreibung	Bodenprobe

Erstellt 23.03.2008 20:14:40 von Admin. Letzte Änderung 23.03.2008 20:15:56 von Admin.

Übersetzungstabelle zu den Codes der Vermessungspunkte

1.8 Verwaltung

1.8.1 Personen

The screenshot shows a web-based database management interface for 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The interface is in German and displays a form for entering or editing a person's data. The form is titled 'Personen' and includes a search bar and navigation buttons. The data fields are as follows:

Feld	Wert
Nachname	Vieweger
Vorname	Dieter
Anrede	Prof. Dr. Dr.
Anfang der Arbeit	08.09.1999
Ende der Arbeit	
Straße	Mozartstraße 33
Stadt	42115 Wuppertal
Land	Deutschland
Telefon	+49/202/429 23 51
Handy	+49/163/269 30 58
Fax	+49/2336/830978
Email	vieweger@uni-wuppertal.de
Geburtsdag	08.05.1958
Aufgabe	Grabungsleitung
Kürzel	DV
aktiv	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein

At the bottom of the form, there is a status bar indicating the creation and last modification of the record.

Erstellt: von . Letzte Änderung 06.08.2024 13:48:03 von admin.

Benutzer der Datenbank. Wird eine Person aktiv gesetzt (ganz unten), erscheint sie in den Auswahllisten

1.8.2 Strata

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

132 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Strata Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde **Stratum 16 (2013)**

Stratum 16 (2013) Datierung SB 2. Stratum

Befund	Quadrant	Datierung	Funde
232	AM 118	SB 2. Stratum	43
235	AM 118	SB 2. Stratum	103
251	AM 118	SB 2. Stratum	122
257	AM 118	SB 2. Stratum	
258	AM 118	SB 2. Stratum	
233	AM 118	SB 2. Stratum	
234	AM 118	SB 2. Stratum	
252	AM 118	SB 2. Stratum	
3833	AM 119	SB 2. Stratum	8
3832	AN 118	SB 2. Stratum	11
3834	AN 118	SB 2. Stratum	2
3823	AN 118	SB 2. Stratum	10
3807	AM 118	SB 2. Stratum	7
3806	AN 118	SB 2. Stratum	20
3805	AM 118	SB 2. Stratum	8

Erstellt: 01.06.2009 22:02:18 von dv. Letzte Änderung 03.06.2012 20:22:35 von DV.

Grabungsstratum mit Liste der dazugehörigen Befunde

1.8.3 Waren

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1 180 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Waren Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde Ware WM Ziegelrot

Kurzname: WM Ziegelrot Nummer: 3900

Name: Wheelmade Ziegelrot

Datierung: MB SB EZ

Bruch: leicht bröselig-porös, rauh, porös

Farbe des Bruches: rot-braun

Härte: hart

Magerung: Grus Kalk

Oberfläche:

Bemerkung:

Beschreibung: Scheibengedrehte rote Ware. Ziegelroter, bei dickeren Scherben im Kern auch bräunlich roter Ton mit viel mineralogischer Mischung, die auch auf der Oberfläche sichtbar ist. Raue Außenseite ohne Überzug. Mäßig harter bis harter Brand. Archäometrie:

Inventarnr	Datierung	Befund	Quadrant	Befunddatierung	Exp.
001048	MB SB EZ	16	AM	modern	<input type="checkbox"/>
001108	EZ	31	AM	(früh)röm	<input type="checkbox"/>
001127	EZ	31	AM	(früh)röm	<input checked="" type="checkbox"/>
001166	EZ	53	AM	EZ II C	<input type="checkbox"/>
001262		121	AL	SB 1. Stratum 1.	<input type="checkbox"/>
001262	SB I	121	AL	SB 1. Stratum 1.	<input checked="" type="checkbox"/>
001280	EZ II	114	AL	EZ II C	<input type="checkbox"/>
001284	EZ	129	AM	EZ I	<input type="checkbox"/>
001302	EZ	92	AM	spätrom-frühbyz	<input type="checkbox"/>
001352	MB SB EZ	150	AK	modern	<input type="checkbox"/>
001387		149	AM	EZ II A/B (älter)	<input type="checkbox"/>
001447		168	AM	EZ II A/B (älter)	<input type="checkbox"/>
001448	MB SB EZ	168	AM	EZ II A/B (älter)	<input type="checkbox"/>
001449		168	AM	EZ II A/B (älter)	<input type="checkbox"/>
002007	MB SB EZ	509	AO	modern	<input type="checkbox"/>
002010	MB SB EZ	516	AN	modern	<input type="checkbox"/>
002038	MB SB EZ	542	AO	modern	<input type="checkbox"/>
002057	EZ	597	AN	byz	<input type="checkbox"/>
002075	MB SB EZ	554	AO	oma	<input type="checkbox"/>
002075	EZ II	554	AO	oma	<input type="checkbox"/>

Erstellt: von . Letzte Änderung 24.03.2008 16:21:39 von Admin.

Definierte Keramikware der Grabung

1.8.4 Typologie

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1

109

Gesamt (Unsortiert)

Alle zeigen

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Suchen

Layout: TypologieAnzeige:SeitenansichtLayout bearbeiten

StartseiteQuadrantenBefundeFundzettelFundeTyp Kt MB 2

Typ	Datierung	Beschreibung
Kt MB 2		
Kt MB/SB 1a		
Kt MB/SB 1b		
Kt SB 1a.1		
Kt SB 1b.1		
Kt SB 1c		
Kt EZ 1a		
Kt EZ 1b		
Kt EZ 2a.2		
Kt EZ 2b.1		
Kt RömByz 1a		
Kt RömByz 1b.1		
Kt RömByz 2a		
Kt RömByz 3a.1		
Kt RömByz 3b.1		

Erstellt 15.03.2007 20:50:45 von . Letzte Änderung 15.03.2007 20:50:59 von .

Keramiktypologie der Grabung

1.8.5 Ansprachen

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Ansprachen | Anzeige: | Seitenansicht | Layout bearbeiten

Startseite | Quadranten | Befunde | Fundzettel | **Funde**

Ansprache Rollsiegel

Material: Stein/Mineral	Ansprache: Rollsiegel
Material: Elfenbein	Ansprache: Funktion unklar
Material: Elfenbein	Ansprache: Kettenglied
Material: Elfenbein	Ansprache: Löffel
Material: Elfenbein	Ansprache: Ohrring
Material: Elfenbein	Ansprache: Perle
Material: Fayence	Ansprache: Fliese
Material: Fayence	Ansprache: Gefäß
Material: Fayence	Ansprache: Krug
Material: Fayence	Ansprache: Perle
Material: Fayence	Ansprache: Ring
Material: Fayence	Ansprache: Rollsiegel
Material: Fayence	Ansprache: Schale
Material: Fayence	Ansprache: Schale/Krug
Material: Fayence	Ansprache: Schale/Teller
Material: Fayence	Ansprache: Siegel

Erstellt 23.03.2008 18:04:50 von Admin. Letzte Änderung 10.05.2019 10:55:28 von KSch.

Ansprachen für Funde

1.8.6 Materialien

The screenshot shows a web-based database interface titled 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The interface includes a top navigation bar with buttons for 'Startseite', 'Quadranten', 'Befunde', 'Fundzettel', and 'Funde'. The main content area is titled 'Material Botanik' and displays a list of materials. Each material entry consists of a label 'Material' followed by a text input field containing the material name. The materials listed are: Botanik, Eierschalen, Elfenbein, Erde (Probe), Fayence, Geweih, Glas, Holz, Holzkohle, Horn, Keramik, Knochen, Metall, Mörtel (Probe), Muschel, and Quarzfalte. The interface also features a sidebar with navigation options like 'Layout: Materialien', 'Anzeige: Seitenansicht', and 'Layout bearbeiten'. At the bottom, a status bar indicates the creation and last modification dates and times for the data.

Material
Botanik
Eierschalen
Elfenbein
Elfenbein
Erde (Probe)
Fayence
Geweih
Glas
Holz
Holzkohle
Horn
Keramik
Knochen
Metall
Mörtel (Probe)
Muschel
Quarzfalte

Erstellt 19.07.2008 19:29:20 von Admin. Letzte Änderung 19.07.2008 19:29:27 von Admin.

Fundmaterialien auf der Grabung

1.8.7 Typen

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Typen | Anzeige: | Seitenansicht

Startseite | Quadranten | Befunde | Fundzettel | Funde

Typ Objekt, fast vollständig

Material	Elfenbein	Typ	Objekt, fast vollständig
Material	Fayence	Typ	Bauchscherbe
Material	Fayence	Typ	Bauchscherbe mit Henkelansatz
Material	Fayence	Typ	Boden
Material	Fayence	Typ	Randlippe
Material	Fayence	Typ	Standfuß
Material	Glas	Typ	Ausgusstülle
Material	Glas	Typ	Bauchscherbe
Material	Glas	Typ	Bauchscherbe mit Bodenansatz
Material	Glas	Typ	Bauchscherbe mit Halsansatz
Material	Glas	Typ	Bauchscherbe mit Henkelansatz
Material	Glas	Typ	Bauchscherbe mit Karination
Material	Glas	Typ	Boden
Material	Glas	Typ	Boden - Standring
Material	Glas	Typ	Hals
Material	Glas	Typ	Henkel

Erstellt 23.03.2008 19:02:03 von Admin. Letzte Änderung 23.03.2008 19:02:14 von Admin.

Definierte Fundtypen der Grabung

1.8.8 Dekors

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1 37 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Dekors Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde Dekor Rippen

Material	Glas	Dekor	Rippen
Material	Keramik	Dekor	Bemalung
Material	Keramik	Dekor	Eindrücke
Material	Keramik	Dekor	Eindrücke und Bemalung
Material	Keramik	Dekor	Eindrücke/Lochmuster
Material	Keramik	Dekor	Glasur
Material	Keramik	Dekor	poliert
Material	Keramik	Dekor	poliert/Bemalung
Material	Keramik	Dekor	Pot marks
Material	Keramik	Dekor	Punktdekor
Material	Keramik	Dekor	Reliefdekor
Material	Keramik	Dekor	Reliefdekor und Bemalung
Material	Keramik	Dekor	Reliefdekor und Rillendekor
Material	Keramik	Dekor	Rillendekor
Material	Keramik	Dekor	Rillendekor und Bemalung

Erstellt 23.03.2008 18:50:12 von Admin. Letzte Änderung 23.03.2008 18:50:15 von Admin.

Definierte Dekors (vornehmlich Keramik)

1.8.9 Datierungen

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

144 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Datierungen Anzeig: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Befunde Fundzettel Funde **Datierung abb**

Datierung	abb	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	ayy	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	byz	von	324	bis	636	Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	byz-oma	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	BZ	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	Chalk FB	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ I	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ I EZ II	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ I EZ II AB	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ II	von		bis		Hinweis: negative Jahreszahl = v. Chr. positive Jahreszahl = n. Chr.
Datierung	EZ II A	von		bis		Hinweis:

Erstellt 19.07.2008 19:38:10 von Admin. Letzte Änderung 19.07.2008 19:38:15 von Admin.

Liste der vorkommenden Datierungen auf der Grabung

1.8.10 Verbleibe

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

< > 1 23

Gesamt (Unsortiert)

Alle zeigen

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Suchen

Layout: Verbleib AnzeigedatensätzeSeitenansichtLayout bearbeiten

Startseite

Quadranten

Befunde

Fundzettel

Funde

Verbleib Grabungshaus

Ort

Grabungshaus

Ort

BAI

Ort

DEI

Ort

DoA

Ort

Jordan Museum

Ort

Dar as Saraya

Ort

UQ Museum

Ort

TZ Steingarten

Ort

DAI

Ort

DoA UQ zur Ausfuhr

Ort

A. Mayyas Hashemite Uni

Ort

nicht auffindbar

Ort

BAI permanent

Ort

Wien

Ort

Jerusalem permanent

Ort

DAI Benecke permanent

Ort

Brückelmann

Ort

BAI temporär

Erstellt 19.07.2008 19:21:07 von Admin. Letzte Änderung 19.07.2008 19:21:24 von Admin.

Lagerorte der Funde

1.9 Keramikbearbeitung nach Kenkel

1.9.1 Typologie

The screenshot shows a web-based database interface for 'Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The interface includes a top navigation bar with options like 'Datenansätze', 'Alle zeigen', 'Neuer Datensatz', 'Datensatz löschen', 'Suchen', 'Sortieren', and 'Bereitstellen'. Below this is a search bar and a 'Layout: Kenkeltypologie' dropdown. The main content area is titled 'Kenkel Typ Am22.1 a' and displays a list of ceramic types with their descriptions. The list includes:

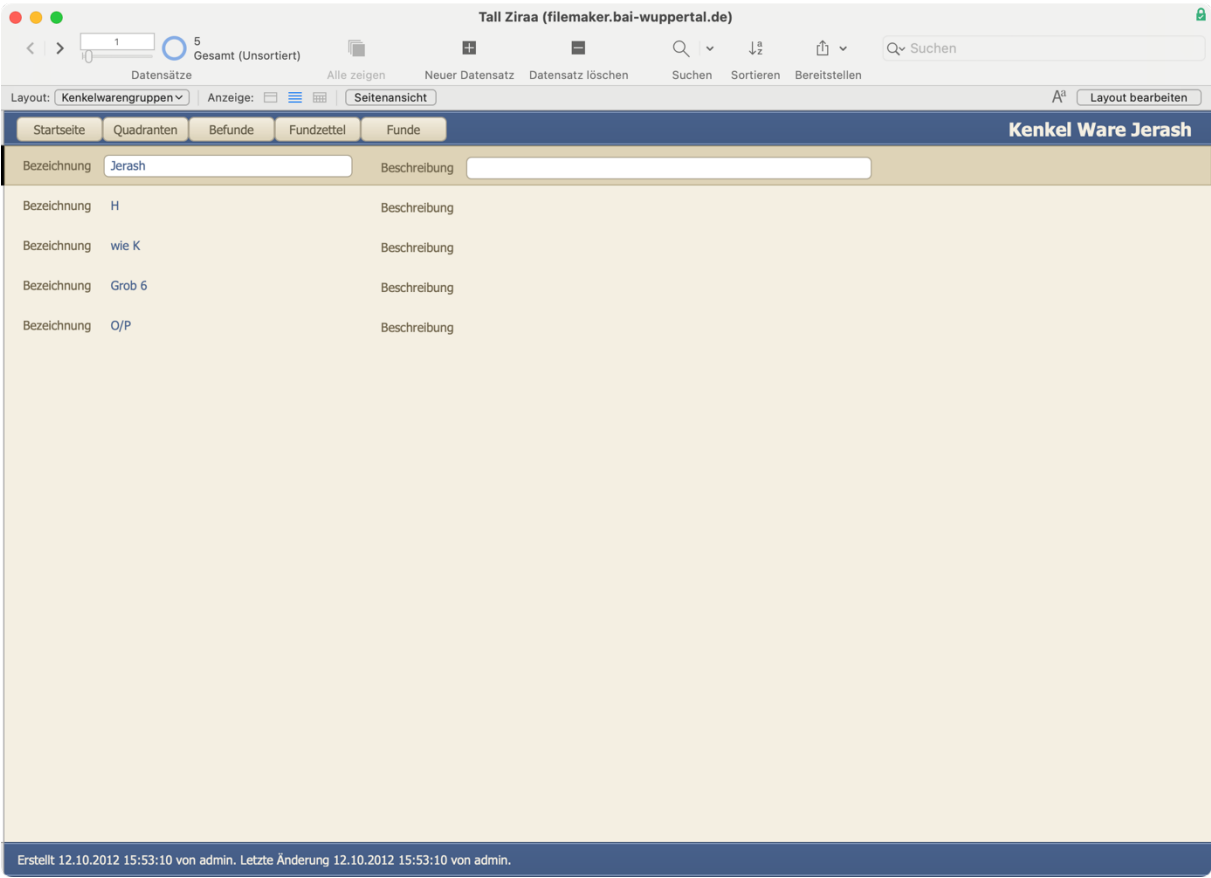
Typ	Beschreibung
Am22.1 a	
Kt9	Beschreibung
Am22.1 a	Beschreibung
Am22.1 a	Beschreibung
Kas12.1	Beschreibung
Tg11.3	Beschreibung
Ba4	Beschreibung
Ba4	Beschreibung
Ba1.1	Beschreibung
Kt25	Beschreibung
Kas1	Beschreibung
Kt2.1	Beschreibung
Kt25	Beschreibung

At the bottom, a footer note states: 'Erstellt 12.10.2012 15:33:20 von admin. Letzte Änderung 12.10.2012 15:33:20 von admin.'

Keramiktypologie nach Kenkel³⁴⁶

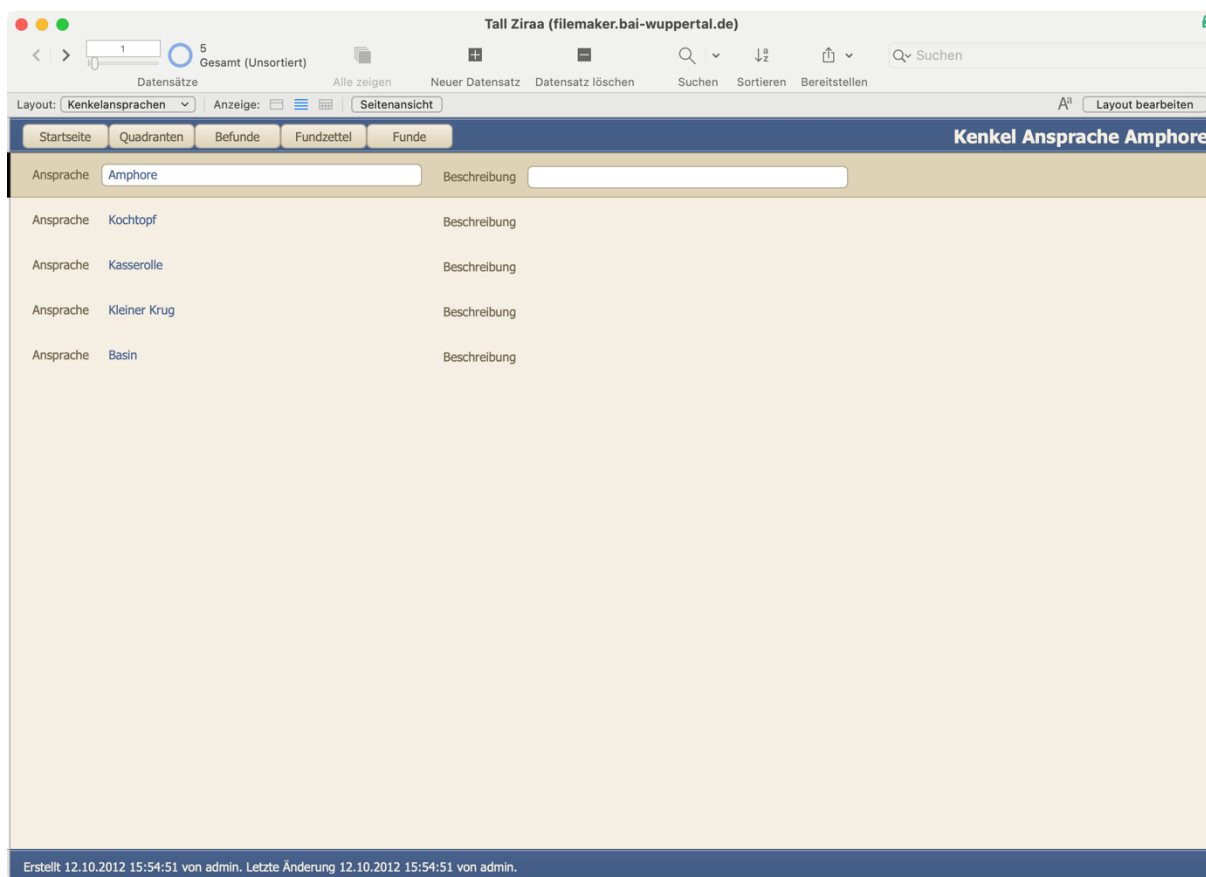
³⁴⁶ Kenkel 2020.

1.9.2 Waren



Keramikwaren nach Kenkel

1.9.3 Ansprachen



Ansprachen nach Kenkel

1.9.4 Datierungen

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

1 26 Gesamt (Unsortiert) Suchen Sortieren Bereitstellen

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Layout bearbeiten

Layout: **Kenkeldatierungen** Anzeige: Seitenansicht

Kenkel Datierung spätbyzantinisch

Bezeichnung	Beginn	Ende	Hinweis:
spätbyzantinisch	529	638	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
römisch-byzantinisch	-63	638	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
spätbyzantinisch-frühislamisch	529	750	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
2. Jh. v.–1. Jh. n. Chr.	-200	100	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
byzantinisch	324	638	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
2. Jh. v.–Mitte 2. Jh. n. Chr.	-200	150	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
römisch	-63	324	Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
FB			Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
FB I			Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
FB II			Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
FN III			Angaben in Jahreszahlen. Bitte negative Jahreszahlen für v. Chr. verwenden.
FB IV/MB I (Übermann)			Angaben in Jahreszahlen.

Erstellt 12.10.2012 16:02:38 von admin. Letzte Änderung 12.10.2012 16:24:43 von admin.

Definierte Datierungen nach Kenkel

1.10.1 Quadranten

Survey-Quadrant mit Fundliste

1.10.3 Funde

Tall Ziraa (filemaker.bai-wuppertal.de)

6,497 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Surveyfunde Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Startseite Quadranten Fundzettel Funde Survey 2001 Fund 27

Fund 27 Portugali ☐ Verbleib

Erweiterung 1 Inventarnr 27-1 Lageort

Quadrant AD 117 Bereich Plateau

Anzahl 1 Befund

Material Basalt

Typ

Dekor

Ansprache

Keramikware Dat. K-Ware Typologie nach Kenkel bzw. Schwermer

Datierung Beginn Ende

Referenz

Dimensionen (cm) WS Dm Öffn. auß Dm Öffn. inn Länge Breite Höhe

Anpassend an Dm max Dm Fuß Henkelrücken

Fotos 1/13 Gewicht (Gramm)

Fundzeichnungen

Textur

Evaluiert 2013 UQ FK/DV UQ 2013

Bemerkungen photo only

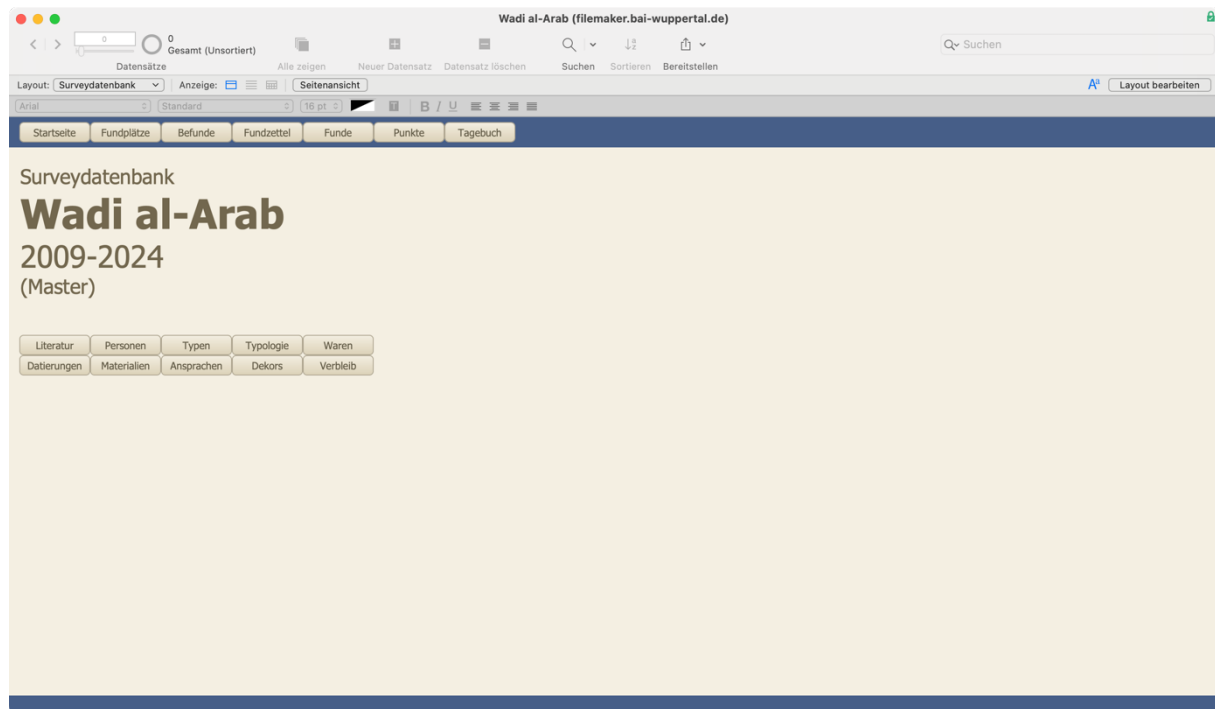
Foto ☐ Exportiert ☐ Archäometrie ☐

Erstellt: von . Letzte Änderung 28.06.2013 12:47:16 von DV.

Survey-Fund mit detaillierten Angaben zur Auswertung

2 Surveydatenbank *Wādī al-‘Arab*

2.1 Startbildschirm



2.2 Fundplätze

2.2.1 Allgemein

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

Gesamt (Unsortiert) 328

Datensätze: Neuer Datensatz, Datensatz löschen, Suchen, Sortieren, Bereitstellen

Layout: Fundplatze, Anzeige: Standard, Seitenansicht

Startseite Fundplätze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Fundplatz 212/223-1

Allgemein

Kurzbezeichnung: 212/223-1 Fundplatz: Tall Kak Bearbeiter/in: KS Datum: 28.07.2009

PG Ost: 212715 PG Nord: 1223337 Höhe: 93 Koordinatenherkunft: Eigene GPS-Messung

WGS84 Ost: 35.6651423 WGS84 Nord: 32.6035724 GPS-Punkt gemessen: 28.07.2009 08:53

Punktbezeichnung	PG Ost	PG Nord	Höhe	Gemessen	Gerätenotiz
TK	212715	1223337	93	28.07.2009 08:53	
TK1	212566	1223179	76	28.07.2009 09:23	
TK10	212720	1223343	89	28.07.2009 10:34	
TK11	212736	1223298	93	28.07.2009 11:41	
TK12	212642	1223363	63	29.07.2009 08:02	

Lage

Nordnordöstlich oberhalb des Wadi Zahar
500 m nordöstlich der Schnellstraße
Direkt an der Straße, die die Schnellstraße und Tall Ziraa verbindet, 1 km nördlich der Wadi Arab-Brücke
2 km südöstlich des Tall Ziraa
3 km westlich von Kufr Assad

Beschreibung

Es handelt sich um einen Teil mit mehreren Besiedlungsphasen und einer Fläche von ca. 1,5 ha.
Dem Teil südwestlich vorgelagert ist ein niedriges Plateau in Form von zwei Halbkreisen (Unterstadt, Bef. 212/223-1-001) und einer Fläche von ca. 1 ha.
Auch westlich des Teil befindet sich ein Plateau, von dem die nördliche Fläche als Olivenplantage, die südliche Fläche als Acker genutzt wird.
Im NO-Bereich des Teil befinden sich 13 Gruben unbekannter Herkunft (Bef. 212/223-1-006: Siehe Bef.-Blatt -006), die eventuell als Raubgräbergruben anzusprechen sind.
Der NO-Bereich des Teil wird durch einen ca. 3,00 m breiten, auf der südwestlichen Seite mit unbearbeiteten Feldsteinen abgestützten Weg (Bef. 211/223-1-002) von SO nach NW mit der darunter gelegenen Unterstadt verbunden.
Im SW fällt der Teil steil zum Wadi Zahar, im O steil zur Straße ab.
NO- und S-Hang sind mit schmalen Terrassen für Olivenbäume versehen.
Von NW führt eine Zufahrt auf den Teil.
Am Fuß des W-Hangs befindet sich ein weiteres Plateau mit einer Fläche ca. 1 ha (Bef. 212/223-1-002: Unterstadt; 212/223-1-002: Weg zur Unterstadt)

Zustand

Im NO-Bereich Olivenplantage mit dichtem Bodenbewuchs, der SW-Bereich ist Ackerfläche.
Auf dem höchsten Punkt relativ zentral ein Wasserspeicher (L. 1,86 m, Br. 1,56 m, H. 1,56 m).
Im SW befindet sich ein niedriger gelegenes Plateau (Unterstadt?), das ebenfalls landwirtschaftlich genutzt wird.

Arbeiten

Messpunkte: TK1: südlichster Punkt der Ausdehnung der Unterstadt
TK2: westlichster Punkt der Ausdehnung der Unterstadt
TK3: östlichster Punkt der Ausdehnung der Unterstadt
TK4: nördlichster Punkt der Ausdehnung der Unterstadt
TK5/ TK6: Anfang/ Ende der Straße
TK7: östlichster Punkt des Teil
TK8: nördlichster Punkt des Teil
TK9: westlichster Punkt des Teil
TK10: Wasserreservoir
TK11: Gruben
TK12: 212/223-1-007
TK13: 212/223-1-008
TK14: Quelle im Wadi
Acht Befunde: 212/223-1-001: Unterstadt
212/223-1-002: Weg zur Unterstadt

Datierung

Neolith ☐ Chalcolith ☐ FB ☒ MB ☐ SB ☐ EZ-1 ☐ EZ-IIA/B ☐ EZ-IIIC ☐ Hell ☐ F-Röm ☐ S-Röm ☐ Byz ☐ Oma ☐ Ayy/Maml ☐ Osman

Kartierung

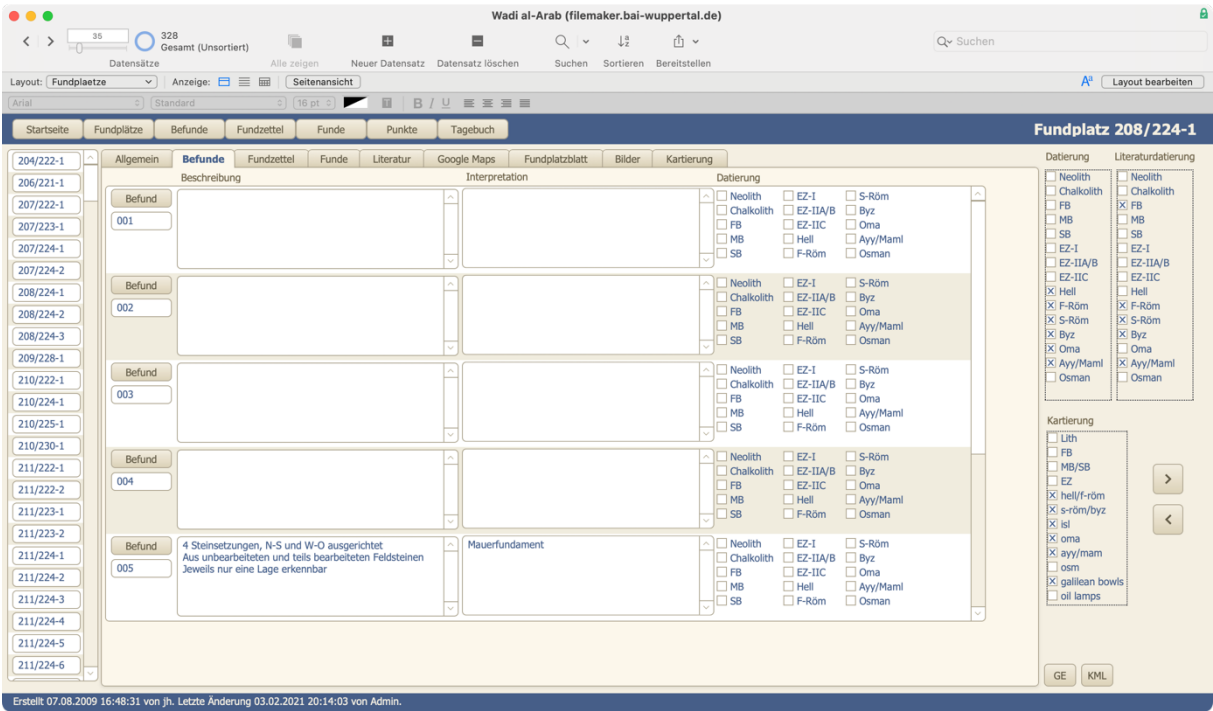
Lith ☐ FB ☒ MB/SB ☐ Ez ☐ hell/f-röm ☐ s-röm/byz ☐ isl ☐ oma ☐ ayy/mam ☐ osm ☐ galilean bowls ☐ oil lamps

GE KML

Erstellt: 01.08.2009 11:01:51 von admin. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14:02 von Admin.

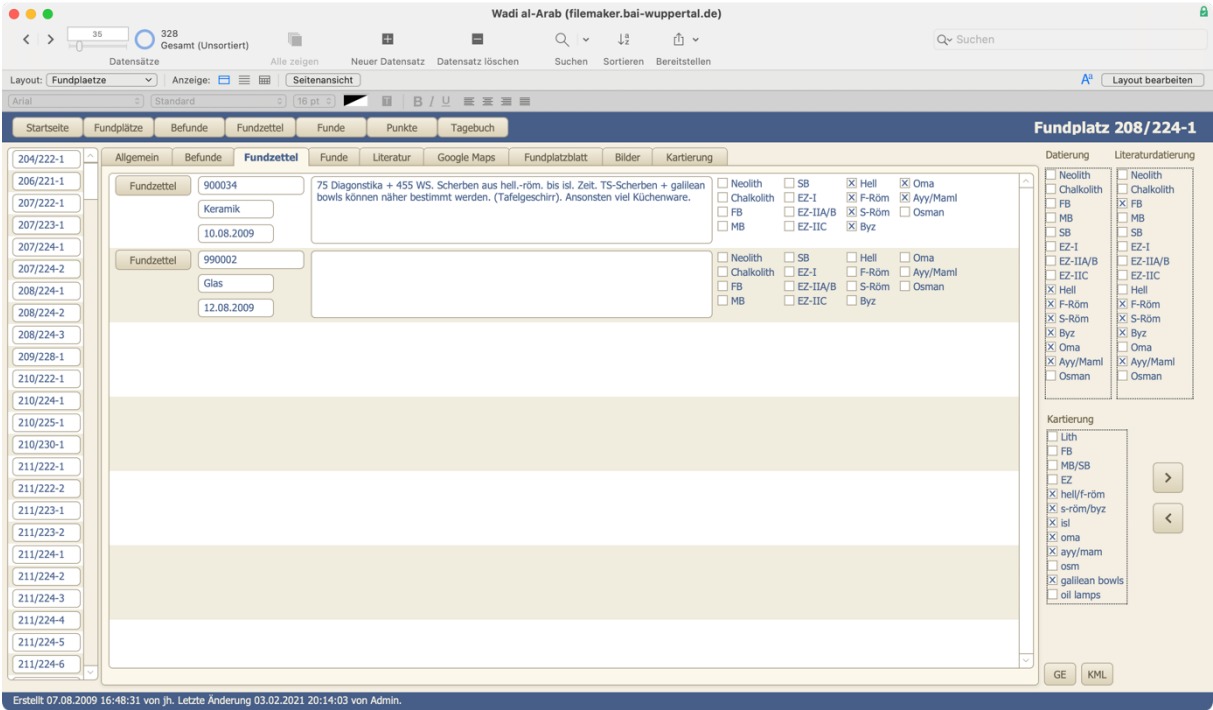
Wichtige Angaben zum Fundplatz. Auf der rechten Seite finden sich alle Angaben zur Datierung des Ortes aus der Literatur als auch durch den aktuellen Survey. Auf der linken Seite befindet sich eine Liste mit allen Fundplätzen zur Schnellnavigation

2.2.2 Befunde



Größere Fundplätze werden in Befunde aufgeteilt, die jeweils datiert werden

2.2.3 Fundzettel



Liste Fundzettel eines Fundplatzes

2.2.4 Funde

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Fundplaeetze Anzeige: Seitenansicht

Startseite Fundplaeetze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Funde

Erw.	Material	Typ	Anzahl	Gewicht	Ware	Warendatierung	Datierung
>	Keramik	Bauchscherb	455				röm byz
> 1	Keramik	Bauchscherb	1		Cl Red BuSl	byz oma	röm byz
> 1	Glas	Boden	1				modern
> 2	Keramik	Henkel	1		Cl C Bu2Br	röm byz	röm byz
> 2	Glas	Boden	1				modern
> 3	Glas	Bauchscherb	7				modern
> 3	Keramik	Henkel	1		Cl Red-c	s-röm byz	röm byz
> 4	Glas	Boden	2				
> 4	Keramik	Henkel mit	1		Cl Red	s-röm byz	röm byz
> 5	Glas	Boden	2				
> 5	Keramik	Henkel	1		Cl Red BuSl	byz oma	röm byz
> 6	Glas	Rand	2				byz oma
> 6	Keramik	Henkel mit	1		Cl C Bu2Br	röm byz	röm byz
> 7	Glas	Standfuß	2				byz oma
> 7	Keramik	Henkel	1		Cl C Bu2Br	röm byz	röm byz
> 8	Keramik	Henkel	1		Cl C Bu2Br	röm byz	röm byz
> 9	Keramik	Henkel	1		Cl C Bu2Br	röm byz	röm byz

Erstellt: 07.08.2009 16:48:31 von Jh. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14:03 von Admin.

Liste der Fund eines Fundplatzes

2.2.5 Literatur

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Fundplaeetze Anzeige: Seitenansicht

Startseite Fundplaeetze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

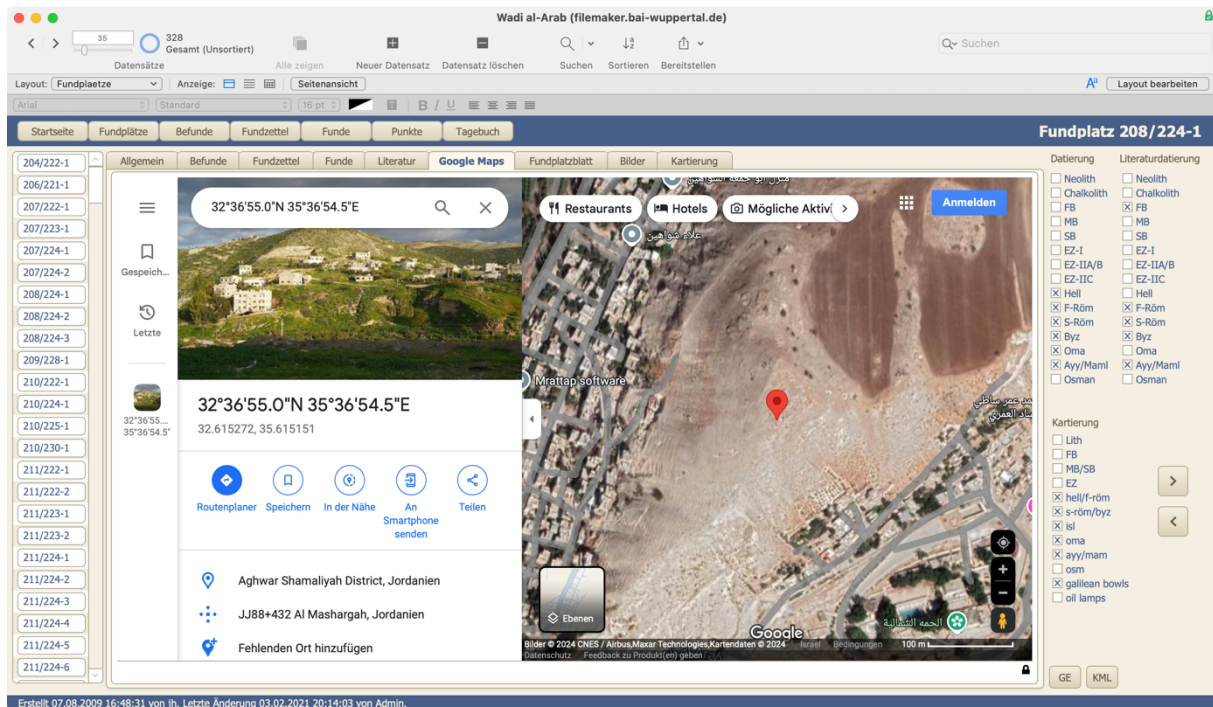
Literatur

Quelle	Bez.	Seite	Bemerkung	Datierung
Ibrahim 1976	14	48	siehe Khouri. Keine weiteren Informationen.	
Khouri 2009	2022019	103	Tall el-Minar (202019) (JVR) Located on the north side of Wadi el-'Arab in the Jordan Valley, less than 1 km northwest of North Shana. Early Bronze, Early Roman, Byzantine, and possibly Ayyubid/Mamluk pottery sherds were found. Bibl: Ibrahim et al. 1976, site 14	

Erstellt: 07.08.2009 16:48:31 von Jh. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14:03 von Admin.

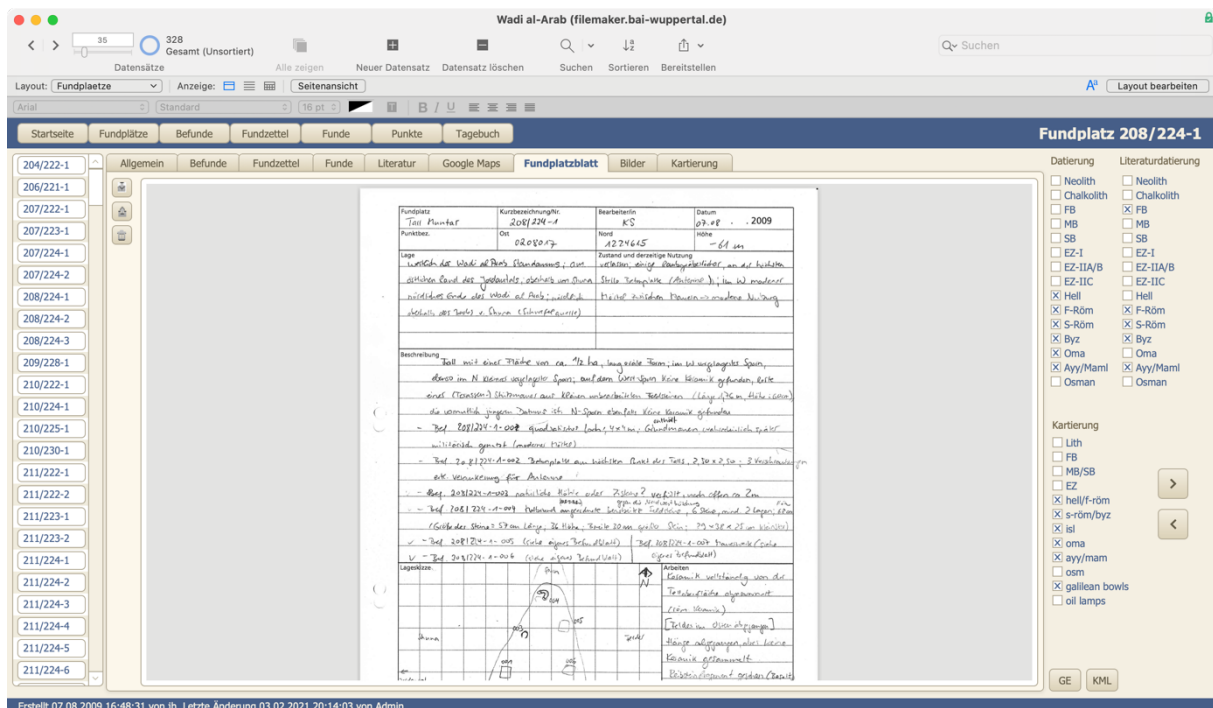
Liste der Literatur-Textstellen zu einem Fundplatz

2.2.6 Google Maps



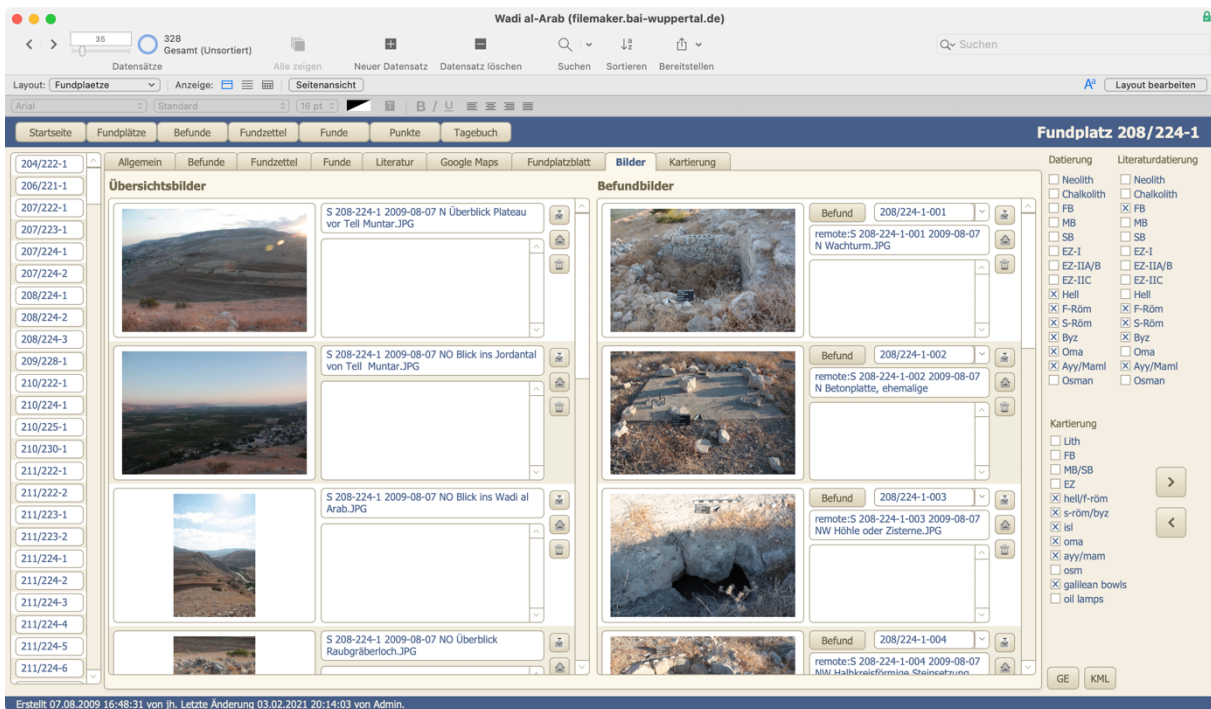
Lage des Fundplatzes in einem Google-Maps-Fenster (siehe Kapitel 8.4.3)

2.2.7 Fundplatzblatt



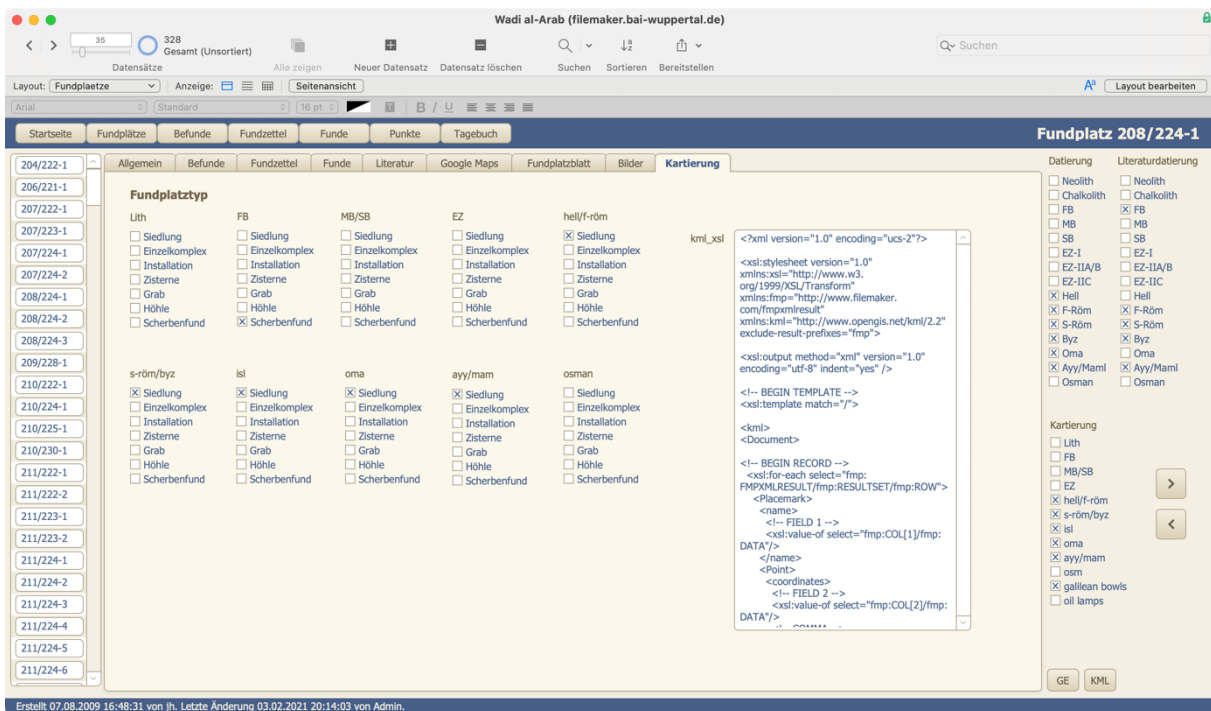
Eingescanntes Feldformular des Fundplatzes

2.2.8 Bilder



Liste der Fotos des Fundplatzes bzw. der Befunde (siehe Kapitel 8.4.3)

2.2.9 Kartierung



Übersicht über die Verteilungskarten auf der der Fundplatz erscheinen soll.
Per Tastendruck werden die erforderlichen Dateien für ein GIS erstellt
(siehe Kapitel 8.4.3)

2.3 Befunde

2.3.1 Allgemein

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

138 Gesamt (Unsortiert)

Suchen

Layout: Befunde

Anzeige: Standard

Seitenansicht

Layout bearbeiten

Startseite Fundplätze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Befund 212/223-1-006

Allgemein

Funde

GPS-Punkte

Befundblatt

Bilder

Fundplatz

212/223-1

Befund

006

Bearbeiter/in

ASch

Datum

27.07.2009

Beschreibung

Ansammlung von 12 Gruben auf der Südhalfe des Tels.

Lage

Auf der Südhalfe der Tellkuppe um einen einzelnen Baum.

Interpretation

Raubgräbergruben/Wassersuchlöcher

Zustand

Grube2: Länge 1,40m; Breite 1,30m; Tiefe 1,60m
Grube7: Länge 1,30m; Breite 1,20m; Tiefe 1,40m
Grube10: Länge 1,20m; Breite 2,10m; Tiefe 1,20m
Grube11: Länge 1,25m; Breite 1,20m; Tiefe 2,40m

Erstellt 29.07.2009 17:06:42 von admin. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14 von Admin.

Ausführliches Einzelformular eines Befundes

2.3.2 Funde

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

138 Gesamt (Unsortiert)

Suchen

Layout: Befunde

Anzeige: Standard

Seitenansicht

Layout bearbeiten

Startseite Fundplätze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Befund 212/223-1-006

Allgemein

Funde

GPS-Punkte

Befundblatt

Bilder

Fund		Material	Anz.		Ware	Warendat.
900000	1	Keramik	1	EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	2	Keramik	1	röm byz	CI C Bu2Br	röm byz
900000	3	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	4	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	5	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	6	Keramik	1	s-röm byz	CI Red	s-röm byz
900000	7	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	8	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	9	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	10	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	11	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	12	Keramik	1	MB SB EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	13	Keramik	1	röm byz	CI Red	s-röm byz
900000	14	Keramik	1	röm byz	CI C Bu2Br	röm byz
900000	15	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	16	Keramik	1	EZ	WM C Buff	MB SB EZ
900000	17	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	18	Keramik	1	röm byz	CI C Bu2Br	röm byz
900000	19	Keramik	1	MB SB EZ	WM C R2B	MB SB EZ
900000	20	Keramik	1	röm byz	CI C Bu2Br-f	röm byz
900000	21	Keramik	1	röm byz	CI Red	s-röm byz
900000	22	Keramik	1	EZ	WM C R2B	MB SB EZ

Erstellt 29.07.2009 17:06:42 von admin. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14 von Admin.

Fundliste eines Befundes

2.3.3 GPS-Punkte

Punktnr.	Ost	Nord	Höhe	Gemessen	Bemerkung
211	211666.64	1225011.75	-46.99	19.07.2010	

GPS-Punkte eines Befundes

2.3.4 Befundblatt

Fundplatz	Arbeits	Quadrat	Befund
214/227-1			214/227-1-005
Start von	Bearbeiterin	Gestrichen	Geschlossen
1	KG	12.08.2009	2009

Lage: am Fußboden des Fundplatzes, an der Befundkarte zum Südhang, Ost: 604 5434 Nord: 122 7334

Masse:

Beschreibung: 3 verschiedene bearbeitete Steine
 ① Steinquader, an der Süd-Seite unter abgewinkelte, Gesamtlänge 58 cm, Breite 4 cm, Höhe 20 cm, einseitig Teil L 54, B 36, einseitig Teil L 54, B 36
 ② Steinquader L 60 cm, B 45 cm, H 20 cm, an der Nord-Seite Einseitig (Tiefe 18 cm, Tiefe 18 cm)

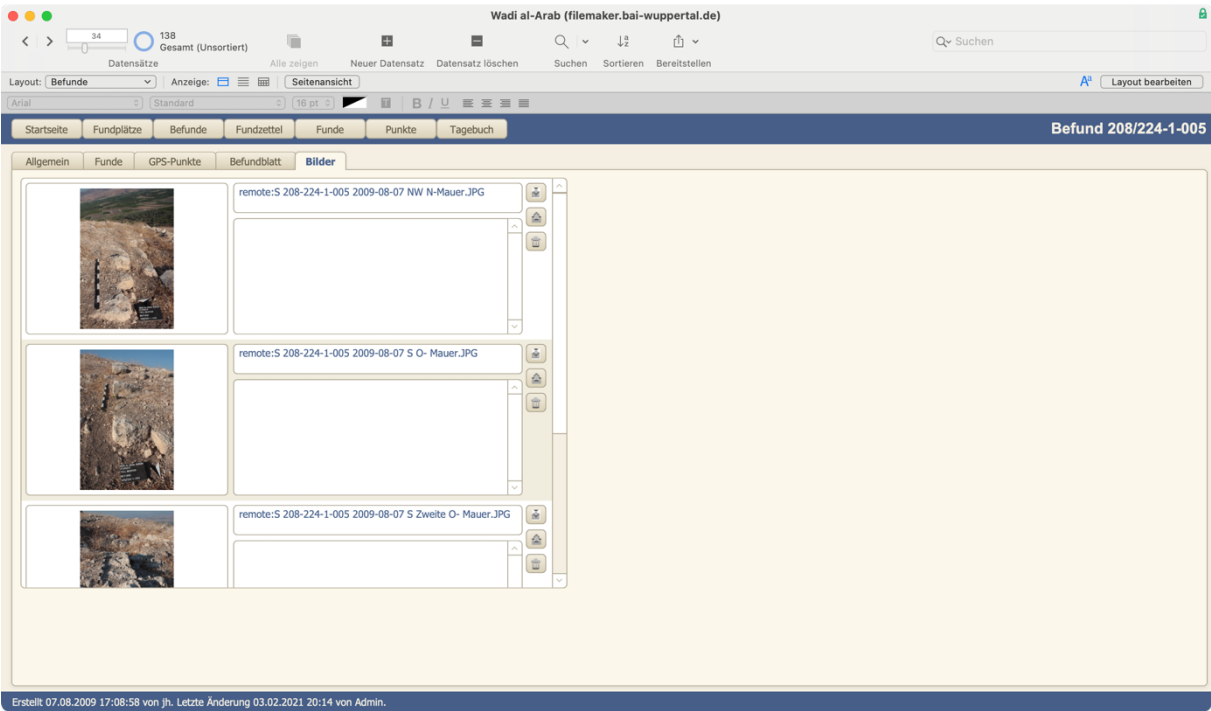
Interpretation:

Legende:

Vermessungspunkte	Höhe
Punkt 1/227-1-005	18 cm

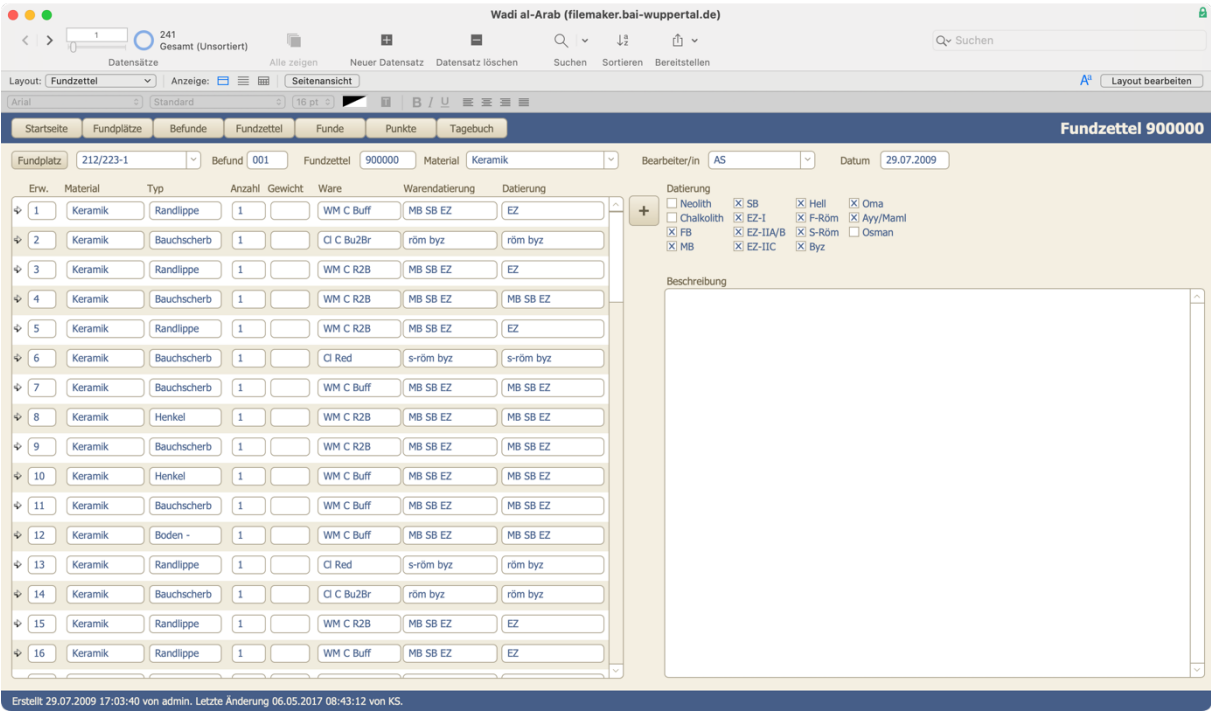
Eingescanntes Feldformular eines Befundes

2.3.5 Bilder



Liste der Fotos eines Befundes

2.4 Fundzettel



Fundzettel eines Befundes mit Liste der Funde

2.5 Funde

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

Datensätze: 4,524 Gesamt (Unsortiert)

Layout: Funde Anzeig: Seitenansicht

Startseite Fundplätze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Fund 900000-76

Fundzettel: 900000 Erw.: 76 Inventarnr.: 900000-76

Fundplatz: 212/223-1

Anzahl: 1 Anpassend an:

Material: Keramik Typ: Randlippe Dekor: Ansprache: Schale Datierung: EZ Referenz:

Länge (cm): Originallänge: Ja Nein Breite (cm): Originalbreite: Ja Nein Höhe (cm): Originalhöhe: Ja Nein

Dm. Öffn. (cm): 30.0 Dm. max. (cm): Dm. Fuß (cm): Dm. Öff. in. (cm): Wandst. (cm): 0.90 Gewicht (g):

Bearbeiter/in: AS Datum: 30.07.2009

Bemerkungen:

Keramikware: WM C R2B Warendatierung: MB SB EZ Textur: Medium Typologie:

Fundzeichnungen: Anzahl Zeichnungen: 7

Exportiert: Archäometrie: Reimportiert:

Verbleib: Grabungshaus externe Nummer:

Erstellt: 30.07.2009 16:32:13 von as. Letzte Änderung: 18.11.2014 15:09:32 von jh.

Formular zur Auswertung eines Fundes

2.6 Punkte

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

Datensätze: 624 Gesamt (Unsortiert)

Layout: GPSPunkte Anzeig: Seitenansicht

Startseite Fundplätze Befunde Fundzettel Funde Punkte Tagebuch

Punkt 1

Punktbezeichnung: 1 PG_Ost: 211605.003 PG_Nord: 1225096.7 Höhe: -69 WGS84_Ost: 35.6533902 WGS84_Nord: 32.6194861

Fundplatz: Befund: Gemessen: 30.07.2009 11:58 Gerät: Garmin GPSmap 60 Gemessen von: KS

Gerätenotiz:

Bemerkung:

Erstellt: 08.05.2012 20:59:01 von admin. Letzte Änderung: 08.05.2012 20:59:01 von admin.

Formular für die vermessenen GPS-Punkte

2.7 Tagebuch

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

1

45

Gesamt (Unsortiert)

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Layout: Tagebuch

Anzeige:

Seitenansicht

Layout bearbeiten

Startseite

Fundplätze

Befunde

Fundzettel

Funde

Punkte

Tagebuch

Tagebuch vom 28.07.2009

Datum: 28.07.2009

Autor: BS

Team: Anne Schürmann, Katja Soenneken, Alina Quentmeier, Patrick Leiverkus, Benjamin Schröder

Eintrag:

- Arbeitsbeginn um 6:05 am Tall Zira 'a. Nach einer Einweisung zum Gebrauch der GPS-Handgeräte, wurden zunächst die Quadranten für die Grabung auf dem Tell ausgemessen und markiert - Abfahrt vom Tall Zira 'a um 7:17.
- Um 7:27 nahm das Team den für die Grabung zuständigen jordanischen Regierungsvertreter an der Autobahn 16 auf und brachte ihn zum Tall Zira 'a (Ankunft 7:44).
- Der Besuch des Regierungsvertreters endete um 8:24 - er wurde anschließend vom Team wieder zum Treffpunkt an der Autobahn zurückgebracht (8:30). Das Team fuhr weiter zum Tall el Kak, dem ersten zu untersuchenden Fundplatz.
- Es erfolgte zunächst eine allgemeine Einweisung in die beschreibende Dokumentation, anhand der Befund-Zettel. Weiterhin wurde der höchste Punkt des Tells markiert.
- Aufgrund nennenswerter Kontaktprobleme bezüglich der Funkverbindung des GPS zur Basisstation auf dem Tall Zira 'a, musste zunächst ein geeigneter Punkt zwischen beiden Tells ausgewählt werden. Der entsprechende Festpunkt (Nr. 10 000) wurde um 10:53 eingemessen und die Basisstation dorthin verlagert.
- Auf dem Tall el Kak wurden weiterhin die ersten Befunde angelegt.
- Frühstückspause 11:20 - 11:45
- Um 11:55 wurde der Eigentümer der landwirtschaftlichen Nutzflächen des Tells beim Team vorstellig. Es erfolgte ein kurzes freundliches Gespräch und eine Klärung der Survey-Tätigkeiten.
- Um 12.10 wurde ein neuer Festpunkt für die Basisstation auf dem Tell eingerichtet (Nr. 10 001).
- In der Zeit von 12:18 bis 13:45 wurde im Bereich der angenommenen Unterstadt auf dem S-W-Plateau des Tall el Kak Keramik aufgelesen.
- Rückfahrt zum Grabungshaus um 13:55.

Track_1

Track_1_Ersteller

Track_1_Gerät

Track_2

Track_2_Ersteller

Track_2_Gerät

Erstellt 19.05.2012 15:47:59 von admin. Letzte Änderung 19.05.2012 16:24:59 von admin.

Surveytagebuch

2.8 Literatur

Wadi al-Arab (filemaker.bai-wuppertal.de)

1

28

Gesamt (Unsortiert)

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Layout: Literatur

Anzeige:

Seitenansicht

Layout bearbeiten

Startseite

Fundplätze

Befunde

Fundzettel

Funde

Punkte

Tagebuch

Mittmann 1970

Kurztitel: Mittmann 1970

Titelbeitrag: Siegfried Mittmann, Beiträge zu Siedlungs- und Territorialgeschichte des nördlichen Ostjordanlandes, Wiesbaden 1970.

Stellen

PDF

Bezeichnung	Seite	Fundplatz	Kurzbezeichnung
>	173f	M 070 - Sum	224/221-1
>	30	M 030	233/229-1
>	35	M 035	227/230-1
>	38	M 038	229/231-1
>	48	Khirbet Malka	220/231-1
>	49	Khirbat Duhb	218/229-1
>	50	M 050	212/229-1
>	51	M 051	210/230-1
>	52	M 052	211/229-1
>	53	M 053	209/228-1
>	54	M 054 - Tell es Safaran	229/225-1
>	54	Tell es-Safaran	229/224-1
>	55	M 055 - Sama	227/226-1
>	(55)	M 055 Korn Sama	227/227-1
>	56	M 056 - Kufr Jayiz	227/225-1
>	57	M 057 - Tell el-Butm	228/223-1
>	58	M 058	228/222-2
>	59	M 059 - Khirbet Sris	228/221-1
>	60	M 060 - Khirbet Aban	226/221-1

Erstellt 10.05.2012 12:45:41 von admin. Letzte Änderung 03.02.2021 20:14:06 von Admin.

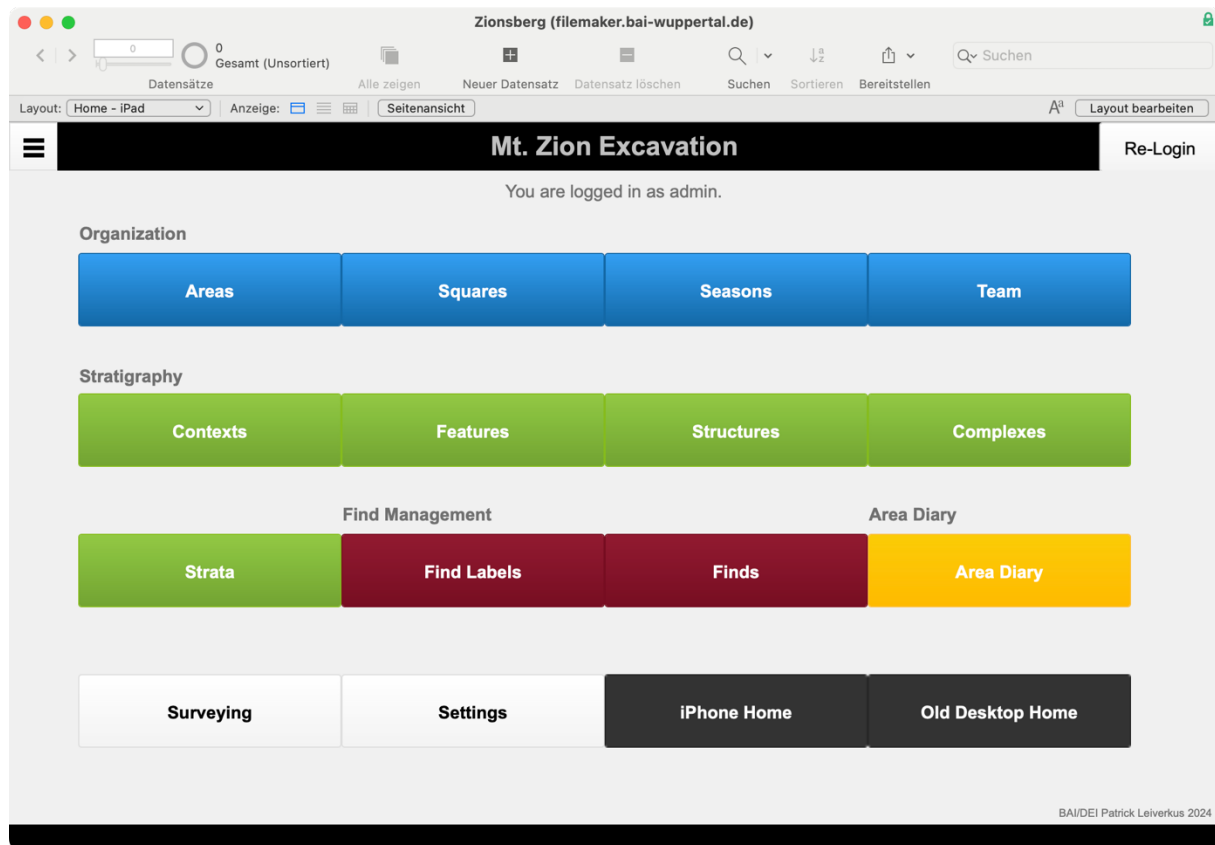
Literaturverwaltung mit Liste der Textstellen zu den Fundplätzen (siehe Kapitel 8.4.3)

2.9 Verwaltung

Die Formulare für Personen, Typen, Typologie, Waren, Datierungen, Materialien, Ansprachen, Dekors und Verbleibe entsprechen den Formularen der Datenbank *Tall Zirā‘a* in Anhang 1 – 1.8.

3 Grabungsinformationssystem Zionsberg

3.1 Startbildschirm (*Home Screen*)



Das Grabungsinformationssystem Zionsberg ist für die Touchbedienung ausgelegt

3.2 Organisation (*Organization*)

3.2.1 Areale (Areas)

The screenshot displays the 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)' application interface. The main window is titled 'Area 6-2'. The interface includes a top menu bar with options like 'Datensätze', 'Suchen', and 'Sortieren'. Below the menu bar, there are tabs for 'General', 'Overview', 'Squares', and 'Contexts'. The 'General' tab is currently selected, showing a form with a 'Name' field containing '6-2' and a 'Description' field containing 'Area in the Greek Garden next to the northern slope'. A large photograph of an archaeological excavation site is displayed below the description. On the right side of the form, there is a vertical list of area numbers: 1, 2, 3, 4, 5, 6-1, 6-2 (highlighted), 7, 8-1, 8-2, 8-3. The top of the application shows a menu bar with options like 'Datensätze', 'Suchen', and 'Sortieren'.

Formular zur Verwaltung der Areale der Grabung. Auf der rechten Seite eine Schnellnavigation der Areale (siehe Kapitel 8.5.1)

3.2.2 Quadranten (Squares)

The screenshot shows a FileMaker interface for managing archaeological squares. The title bar indicates the file is 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main window has a dark header with the title 'Square 780-830' and a '+ New' button. Below the header, there are three tabs: 'General', 'Overview', and 'Contexts'. The 'General' tab is active, showing fields for 'Name' (780-830), 'Area' (1), 'Date Opened' (02.07.2018), and 'Active' (Ja). An 'Export Harris Matrix' button is located below these fields. The 'Overview' tab shows a Harris Matrix with coordinates: Min. Easting (221780), Max. Northing (630835), Min. Northing (630830), and Max. Easting (221785). The 'Contexts' tab on the right lists various square ranges, with '780-830' selected. At the bottom right, there are 'All' and 'Active' filter buttons.

Formular zur Verwaltung der Quadranten der Grabung.
 Hier kann eine Harris-Matrix für die Befunde des Quadranten exportiert werden.
 Rechts eine Schnellnavigation zwischen den Quadranten

3.2.3 Kampagnen (Seasons)

The screenshot shows a web application interface for 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main title is 'Season 8'. Below the title, there are four input fields: 'Name of Season' (8), 'License' (G-43/2022), 'Startdate' (17.05.2022), and 'Enddate' (03.06.2022). Below these fields is a 'Team' section. The 'Team' section contains a table with three columns: 'Member', 'Initials', and 'Position'. The table lists five members: Dieter Vieweger, Jennifer Zimni, Katja Soennecken, Michail Chernin, and Patrick Leiverkus. Each member has a dropdown arrow next to their name. The 'Initials' column contains the initials DV, JZ, KS, MC, and PL. The 'Position' column is empty. Below the table, there are two empty rows for additional team members.

Member	Initials	Position
Dieter Vieweger	DV	
Jennifer Zimni	JZ	
Katja Soennecken	KS	
Michail Chernin	MC	
Patrick Leiverkus	PL	

Formular zur Erfassung der Grabungskampagnen und der dokumentierenden Personen

3.2.4 Team

The screenshot shows a FileMaker database interface for a team. The title bar indicates the file is 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The interface includes a navigation bar with a hamburger menu, a title 'Team', and a '+ New' button. Below the navigation bar is a table with four columns: 'First Name', 'Family Name', 'Initials', and 'Active'. The table contains nine rows of data. The last row, 'Katharina Palmberger', is highlighted in blue. At the bottom of the interface, there is a status bar with the text: 'Created 07.08.2015 01:27:42 by DV. Last modification 04.04.2022 12:34:15 by admin.'

First Name	Family Name	Initials	Active
Aileen	Zindritsch	AZ	Nein
Anna Lisa	Pfeiffer	AP	Nein
Dieter	Vieweger	DV	Nein
Erika	Fischer	EF	Nein
Friederike	Schöpf	FS	Nein
Jennifer	Zimni	JZ	Ja
Jessica	Schellig	JS	Ja
Julia	Knappmeyer	JK	Nein
Katharina	Palmberger	KP	Nein

Erfassung aller (dokumentierenden) Grabungsteilnehmer/innen

3.3 Stratigrafie (*Stratigraphy*)

3.3.1 Befunde (Contexts)

Allgemein (*General*)

The screenshot shows the 'Context 11234' form in the Zionsberg database. The form is divided into several sections: General, Diary, Soil, Relations, Photos, Ortho, Find labels, Finds, and Overview. The 'General' section contains the following fields:

- Context Id: 11234
- Square: 740-1050
- Area: 8-2
- Recorder: JZ
- Season: 9
- Date opened: 27.07.2023
- Date closed: 03.08.2023
- New Id (if applicable): 03.08.2023
- Category: Erdbefund
- Type: (Ver-)füllung
- Find count: 104
- Closed: Ja
- Dating: modern
- Certainty of dating: sicher
- Stratum: 1a (4-8) 19.-20. CE (Areal 4-8)
- Top Elevation [m]: 767.05
- Bottom Elevation [m]: 766.60
- Marked: ☐
- Action Required: ☐
- Image: 27.07.2023 10:29:45
- Description: Clayish earth layer below context 11228. The clay layer seems to go irregular. More finds than previously were found in this layer. Clay shows some blackened (burnt?) spots. Contains also many inclusions of charcoal and many pebbles. Within that context a chunk of rock (is it already the bedrock?) appeared. The covering earth is being taken down in order to follow the possible rock.
- Interpretation:
- Notes:

Basisangaben zum Befund (*Context*)

Eingabefelder

<i>Context Id</i>	Nummer des Befundes (wird automatisch vergeben)
<i>Square</i>	Quadrant in dem der Befund liegt
<i>Area</i>	Areal des Befundes (wird automatisch berechnet)
<i>Recorder</i>	Kürzel der dokumentierenden Person
<i>Season</i>	Kampagne (wird automatisch berechnet)
<i>Date opened</i>	Datum des Grabungsbeginn des Befundes
<i>Date closed</i>	Datum des Grabungsende des Befundes
<i>Category</i>	Kategorie des Befundes
<i>Type</i>	Typ des Befundes
<i>Find count</i>	Fundzahl (wird automatisch berechnet)
<i>Dating</i>	Datierung des Befundes aus der Datierungsliste
<i>Certainty of Dating</i>	Sicherheit der Datierung (sicher, wahrscheinlich, unsicher)
<i>Stratum</i>	Stratum des Befundes aus der Stratumsliste
<i>Closed</i>	Nach Schließen des Befundes und Abschluss der Dokumentation auf „Ja“ zu setzen

<i>Top Elevation</i>	Oberkante (manuelle Eingabe oder mit der Taste links aus der GIS-Datenbank zu importieren)
<i>Bottom Elevation</i>	Unterkante (manuelle Eingabe oder mit der Taste links aus der GIS-Datenbank zu importieren)
<i>Marked</i>	Befund wird temporär markiert (Formular wird gelb hinterlegt und erscheint auch gelb hinterlegt in der Schnellnavigation; siehe Kapitel 8.5.3))
<i>Action required</i>	Anstehende Aufgabe (Wird zum Befund in der Schnellnavigation angezeigt; siehe Kapitel 8.5.3))
<i>Description</i>	Beschreibung des Befundes
<i>Interpretation</i>	Interpretation des Befundes
<i>Notes</i>	Sonstige Bemerkungen

Tagebuch (*Diary*)

The screenshot shows a web application interface for 'Context 10872'. The top navigation bar includes a search bar and various icons. Below the navigation bar, there is a tabbed interface with tabs for 'General', 'Diary', 'Soil', 'Relations', 'Photos', 'Ortho', 'Find labels', 'Finds', and 'Overview'. The 'Diary' tab is currently selected, displaying a list of diary entries. Each entry consists of a date, a delete button, and a text description.

Date	Action	Description
02.07.2020	Delete	After removing the alluvial layer 10871 the stone debris appeared.
02.07.2020	Delete	Worked on this context from the northwestern edge. It seems as if the stone debris below the dump. Also it seems to cover the course of the Hellenistic wall. They are set loosely and without any order. Maybe it's the fill of a wall or the tower?
03.07.2020	Delete	Picture taken from its northwestern profile. The debris seems to be on top of the Hellenistic wall. But still it seems to be covered by the later trash dump. Also stones seem to be collapsed. Maybe somehow the corner or collapsed debris filling of the tower? Test trench through from East to west the inner filling becomes context 10874

Dokumentation des täglichen Fortschrittes am Befund (siehe Kapitel 8.5.2)

Boden (Soil)

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

1296 1,437 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Context - iPad Anzeige: Seitenansicht A¹ Layout bearbeiten

Context 11236 + Context + Find Label

General Diary **Soil** Relations Photos Ortho Find labels Finds Overview

Sediment

☐ humos humous ☐ sandig sandy

☐ lehmig clayey ☒ schluffig silty

Texture

☐ hart compact ☐ sehr hart very compact

☒ locker loose ☐ sehr locker very loose

Intrusions

☐ keine none ☐ viel massive ☒ wenig sparse

Reasons

Inclusions

Ash ☒ keine none ☐ viel massive ☐ wenig sparse

Charcoal ☒ keine none ☐ viel massive ☐ wenig sparse

Burnt clay ☒ keine none ☐ viel massive ☐ wenig sparse

Remains of plaster/tile ☐ keine none ☐ viel massive ☒ wenig sparse

Gravel ☒ keine none ☐ viel massive ☐ wenig sparse

Pebble ☐ keine none ☐ viel massive ☒ wenig sparse

Stones ☐ keine none ☐ viel massive ☒ wenig sparse

Blocks ☒ keine none ☐ viel massive ☐ wenig sparse

Colour

☐ bräunlich brownish ☐ rötlich redish

☐ gelblich yellowish ☐ schwärzlich blackish

☐ gräulich geyish ☐ weißlich whitish

Angaben zum Boden des Befundes (Farbe, Textur, Korngröße, Einschlüsse)

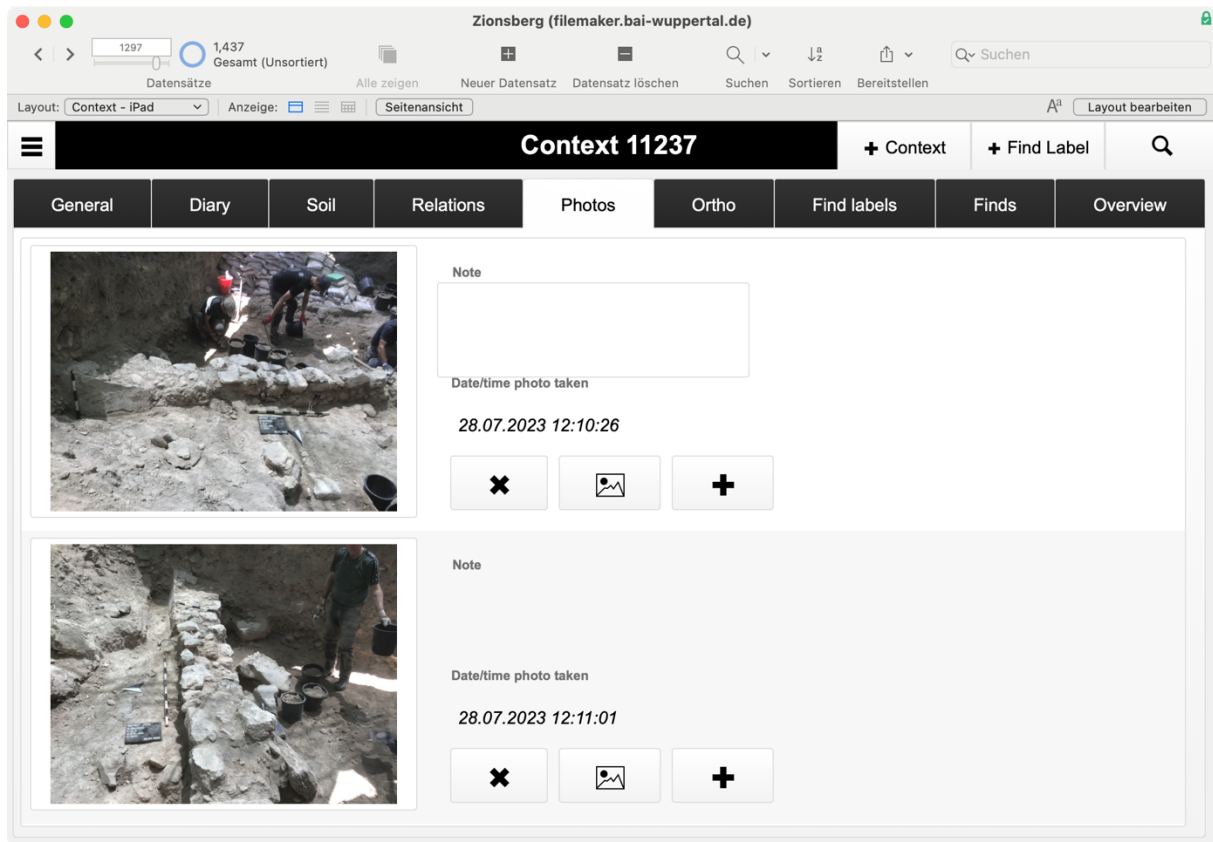
Stratigrafische Relationen (*Relations*)

The screenshot shows a web application titled 'Context 11237' with a navigation bar and a main content area. The navigation bar includes a search bar and a 'Layout bearbeiten' button. The main content area has a tabbed interface with the following tabs: General, Diary, Soil, Relations, Photos, Ortho, Find labels, Finds, and Overview. The 'Relations' tab is selected, displaying three columns of stratigraphic relations for context 11237.

Relation Type	Item ID	Label	Action
11237 is older than	11210	modern	unter
11237 is contemporary with	11295	s-röm byz	zieht an
11237 is younger than	11302	s-röm f-byz	zieht an
	11303	s-röm f-byz	zieht an
	11316	abb	zieht an

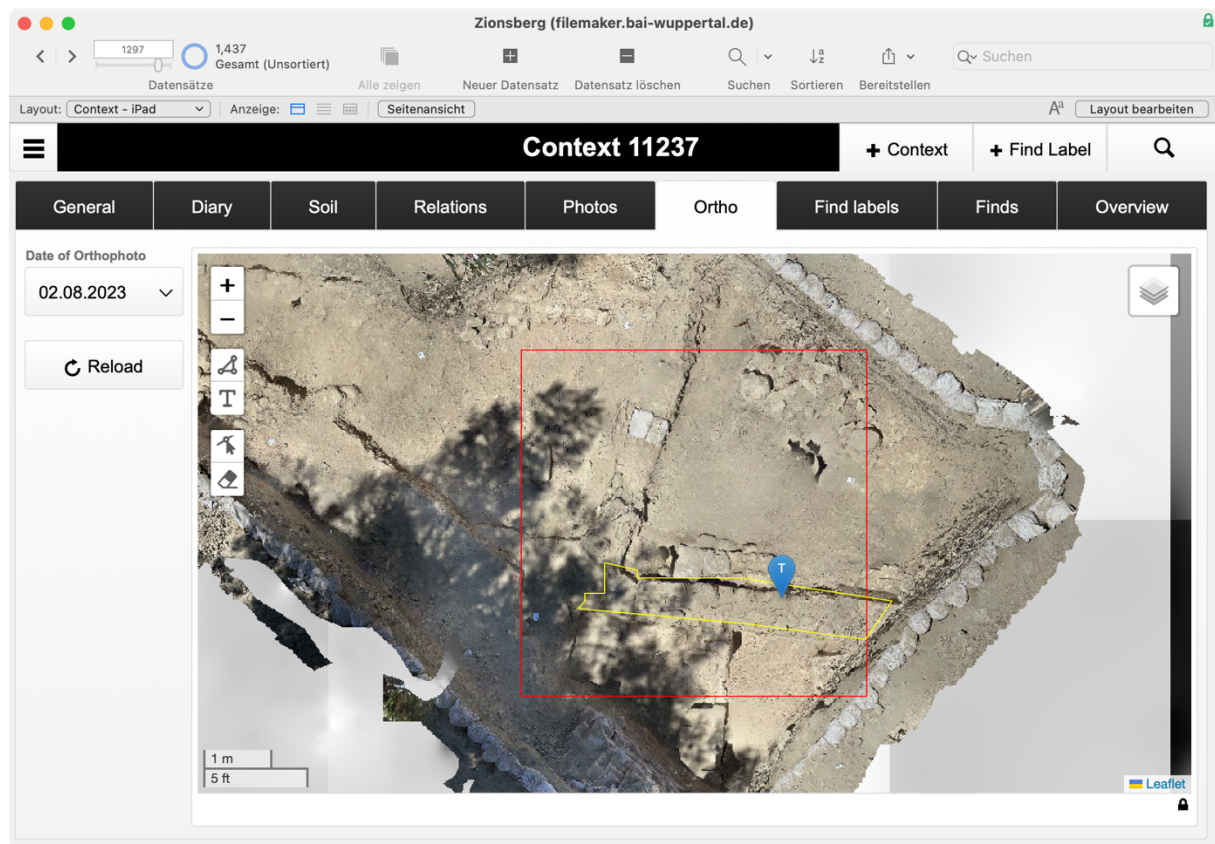
Stratigrafische Relationen des Befundes zu den benachbarten Befunden

Fotos (*Photos*)



Liste der Fotos des Befundes. Fotos können von hier aus direkt mit der Tablet-Kamera aufgenommen werden (siehe Kapitel 8.5.1)

Orthofoto (Ortho)



Orthofoto mit eingezeichneter Befundbegrenzung und gemessener Ober- bzw. Unterkante (siehe Kapitel 8.5.1)

Fundzettel (*Find Labels*)

Find label	Material	Date	Recorder	Elevation	Note
101274	Keramik	03.08.2023	VC		02/29/2024 LB: Sent for
101321	Keramik	04.08.2023	VC		02/29/2024 LB: Sent for
101449	Keramik	09.08.2023	KS		Tiles from 101321;
101507	Keramik	10.08.2023	VC		Cleaning north from the
101508	Keramik	10.08.2023	VC		Tile, cleaning in front;
140448	Muschel	03.08.2023	VC		
140462	Muschel	10.08.2023	VC		Cleaning north side
154780	Stein/Mineral	09.08.2023	KS		Tessera
154806	Stein/Mineral	10.08.2023	VC		Tesserae/Cleaning
176421	Metall	04.08.2023	VC	765.34	

Zum Befund gehörende Fundzettel mit Druckfunktion (siehe Kapitel 8.5.1)

Funde (*Finds*)

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

1297 1,437 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

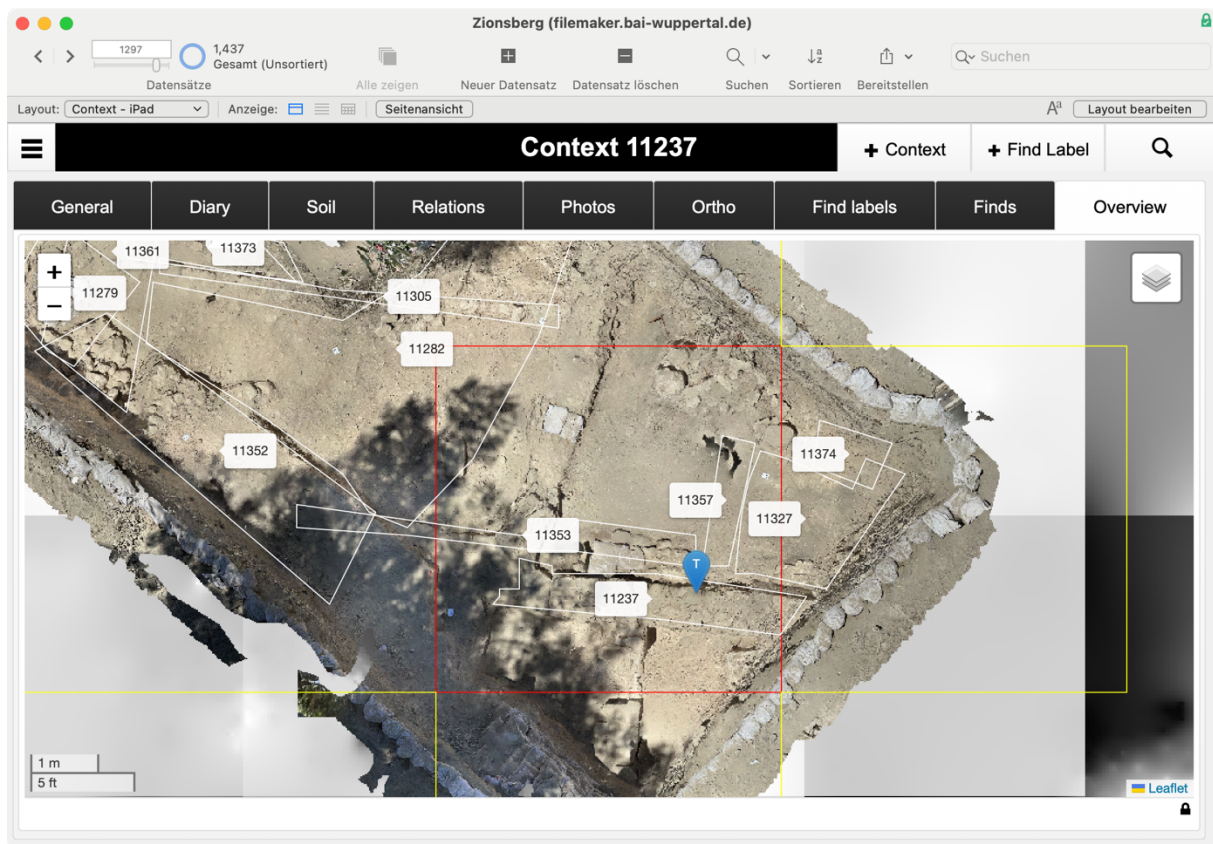
Layout: Context - iPad Anzeige: Seitenansicht A¹ Layout bearbeiten

Context 11237 + Context + Find Label

General	Diary	Soil	Relations	Photos	Ortho	Find labels	Finds	Overview
Find id		Material	Count	Dating	Ware	Dating of ware		
>	101274		Keramik	2				
>	101274		Keramik	16				
>	101274	1	Keramik	1	byz			
>	101321		Keramik	1				
>	101321		Keramik	8				
>	101321	1	Keramik	1	byz	Byz W-f (Fine	byz oma	
>	101321	4	Keramik	1	byz	Byz W-f (Fine	byz oma	
>	101321	5	Keramik	1	s-byz isl			
>	101321	6	Keramik	1	abb			
>	101449		Keramik	3				

Zum Befund gehörende Funde

Überblick (Overview)



Überblick über die Nachbarbefunde im Orthofoto (siehe Kapitel 8.5.1)

3.3.2 Gruppen/Strukturen/Komplexe (Features/Structures/Complexes)

The screenshot shows a web-based database interface for 'Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main title is 'Mauer 10057'. The interface is divided into two main sections: 'General' and 'Finds'.

General Section:

- Name:** Mauer 10057
- Description:**

Nordwestliche Mauer aus bearbeiteten und Feldsteinen des Raumes C. Auf der Innenseite ist perforierter Putz angebracht. Zieht sich von Osten nach Westen. Enthält 2 Türschwellen, von denen eine wahrscheinlich nicht zum Durchgang gedient hat, sondern als Spolie verbaut wurde. Unterhalb des Putzes auf der Innenseite sind noch Reste des ehemals weißen Mosaik Fußbodens zu erkennen. Wird von einer vermutlich omayyadischen Schicht (10095) unterhalb der spätsلاميachen Kalkböden bedeckt. Enthält ebenso ein Wasserrohr (10275).

Finds Section:

- Context:**
 - > 10057
 - > 10059
 - > 10086
 - > 10092
 - > 10094
 - > 10095
 - > 10113
 - > 10159
 - > 10268
 - > 10271
- Structures:**
 - > Raum C
 - >

Gruppe (*Feature*) mit dazugehörigen Befunden (*Contexts*) und Funden (*Finds*)
(siehe Kapitel 8.5.2)

3 Grabungsinformationssystem Zionsberg

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

22 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Structure - iPad Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Raum C

+ New

General Finds

Name: Raum C Stratum: 2 Dating: Frühislamisch-Spätbyzantinisch

Description:

Feature:

- > Mauer 10057
- > 34
- > Fußboden 10190
- > Mosaik 10192
- > Kanal 10214
- > Türschwelle 10286
- > Füll Raum C
- > Schutt 10290
- > Abfluss 10304

Erstellt 27.02.2020 11:55:47 von JZ. Letzte Änderung 06.03.2020 15:22:13 von admin.

Struktur (*Structure*) mit dazugehörigen Gruppen (*Features*)

3.3.3 Strata

The screenshot shows a web-based database interface titled 'Strata' within a FileMaker environment. The interface includes a top navigation bar with a hamburger menu, a '+ New' button, and tabs for 'Stratum' and 'Dating'. Below the navigation bar is a table with two columns: 'Stratum' and 'Dating'. The table contains the following data:

Stratum	Dating
0	(Colluvium)
1	Spätislamisch
2	Frühislamisch-Spätbyzantinisch
3	Byzantinisch
4	Spätrömisch
5	Frührömisch
6	Hellenistisch
7	Eisenzeit II
0 (4-8)	Colluvium (Areal 4-8)

At the bottom of the interface, a status bar indicates: 'Erstellt 31.08.2019 15:11:11 von admin. Letzte Änderung 31.08.2019 15:11:45 von admin.'

Liste der Strata der Grabung

3.6 Fundbearbeitung (*Find Management*)

3.6.1 Fundzettel (Find Labels)

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Findlabel - iPad | Anzeige: [Icon] | Seitenansicht | A³ Layout bearbeiten

Find Label 100148

< Context

Find Label No.	Material	Recorder	Context	Square	Area	Date	
100148	Keramik	FS	>	307	775-820	1	08.06.2017

Note

Replaced by Find Label

Elevation [m] 100148

+ Find

Ext.	Material	Type	Count	Weight	Pottery Fabric	Dating of Pottery Fabric	
>	Keramik						
	Object type						
>	Keramik						
	Object type						
>	Keramik						
	Object type						
>	Keramik						
	Object type						

Fundzettel-Formular mit Liste der Funde und Druckfunktion (siehe Kapitel 8.5.1)

3.6.2 Funde (Finds)

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

24,975 Gesamt (Unsortiert)

Layout: Find - iPad Anzeige: Seitenansicht

Find 101186-016 Context Find label

General Images Drawings Surveying

Find label: 101186 Extension: 16 Inv.-no.: 101186-016

Context: 11283 Square: 680-995 Area: 6-1

Dating of context: s-röm f-byz Stratum: 4 (4-8)

Count: 1 Connected to:

Material: Keramik

Type:

Decoration:

Object type:

Dating: EZ

Reference:

Length (cm): Width (cm): Height (cm):

Full length: ☐ Ja ☒ Nein Full width: ☐ Ja ☒ Nein Full height: ☐ Ja ☒ Nein

Diam. Op. (cm): Diam. max. (cm): Diam. base (cm):

Inner Diam. Op. (cm): Wall thickness (cm): Weight (g):

Recorder: admin Date: 13.05.2024

Specialist: admin Date: 13.05.2024

Notes:

Photo: Pottery Bone Stone/Mineral Metal Sample

Find drawings: Drawing count: 0

Whereabout: Grabungshaus Photo: ☐

Box: Shell:

Fundformular mit detaillierten Angaben aus der Auswertung.
Layout bleibt optimiert für eine Desktop-Ansicht, da die Auswertung in der Regel an einem Notebook erfolgt

3.7 Arealtagebuch (*Area Diary*)

Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)

43 45 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Area Diary - iPad Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Diary Entry of Area 8-2 on 02.08.2023

+ New

General

Area: 8-2

Date: 02.08.2023

Supervisor: KS Katja Soennecken

Entry

Area taken over at short notice to replace JZ, who was absent due to illness. Context 11306 opened to extend the area around the installation/bedrock, removed and closed. Due to the modern nature (and possible tomb context) no finds were taken.

Context 11307, earth on top of 11293, in front of context 11257, square area of approx. 2 x 2 m opened and excavated. Remains of bedrock/quarry reached (Context 11321) and new earth context 11322.

In the eastern part a layer of mortar/plaster was given a context number (11314) and cleaned; same with channel (11315). Earth on top of Context 11527 was cleaned (Context 11319).

Photos

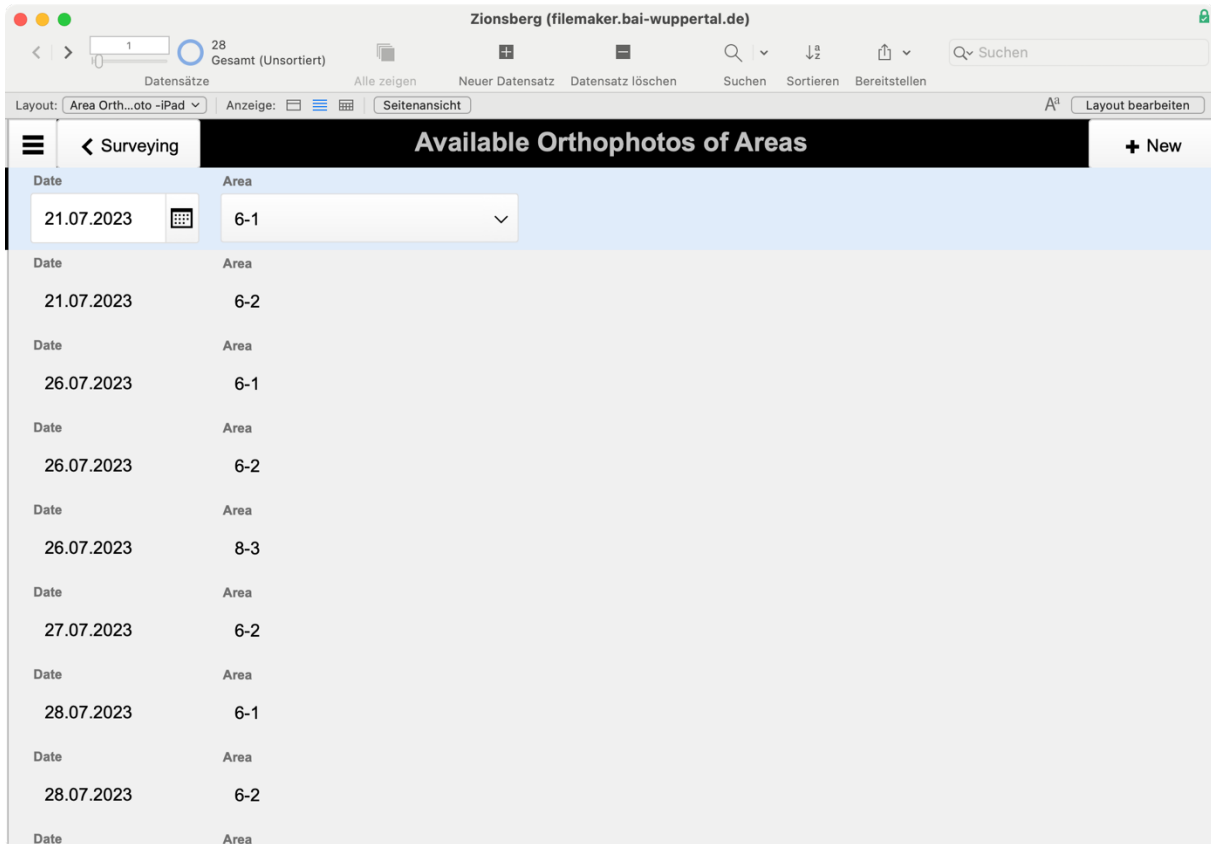
Context	Category	Date opened
> 11196	Installation	24.07.23
> 11228	Erdbefund	27.07.23
> 11234	Erdbefund	27.07.23
> 11255	Erdbefund	28.07.23
> 11257	Mauer	28.07.23
> 11258	Installation	28.07.23
> 11306	Erdbefund	02.08.23
> 11307	Erdbefund	02.08.23

Date	Area	Supervisor
03.08.23	6-2	LM
03.08.23	8-3	JZ
04.08.23	8-3	JZ
04.08.23	8-2	KS
07.08.23	8-3	JZ
08.08.23	8-3	JZ
02.08.23	8-2	KS
03.08.23	8-2	KS
10.08.23	8-2	KS

Arealagebuch (siehe Kapitel 8.5.3)

3.8 Vermessung (*Surveying*)

3.8.1 Orthofotos (Orthophotos)



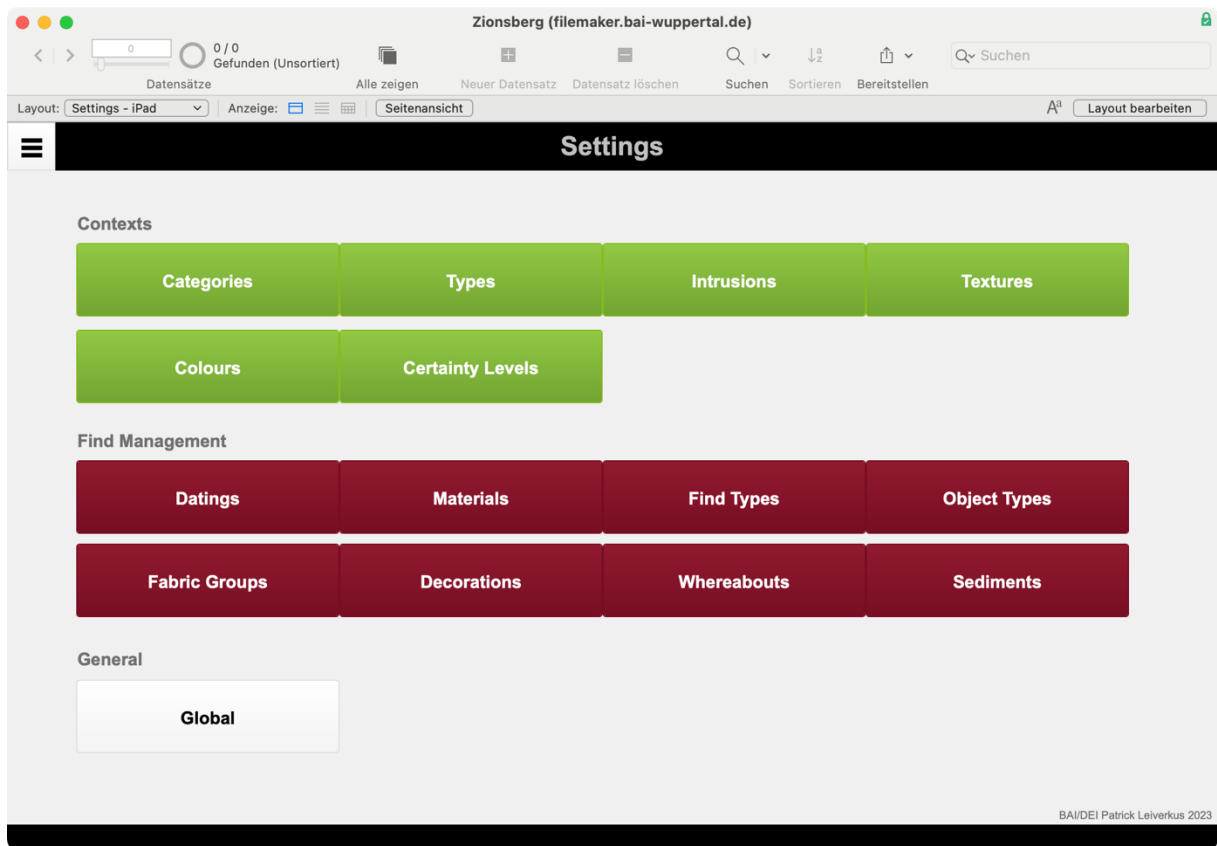
Date	Area
21.07.2023	6-1
21.07.2023	6-2
26.07.2023	6-1
26.07.2023	6-2
26.07.2023	8-3
27.07.2023	6-2
28.07.2023	6-1
28.07.2023	6-2

Die auf dem Server (siehe Kapitel 8.2.3) verfügbaren Orthofotos der Areale werden hier dem Informationssystem bekannt gegeben.

3.8.2 Punkte/Codes (Points/Codes)

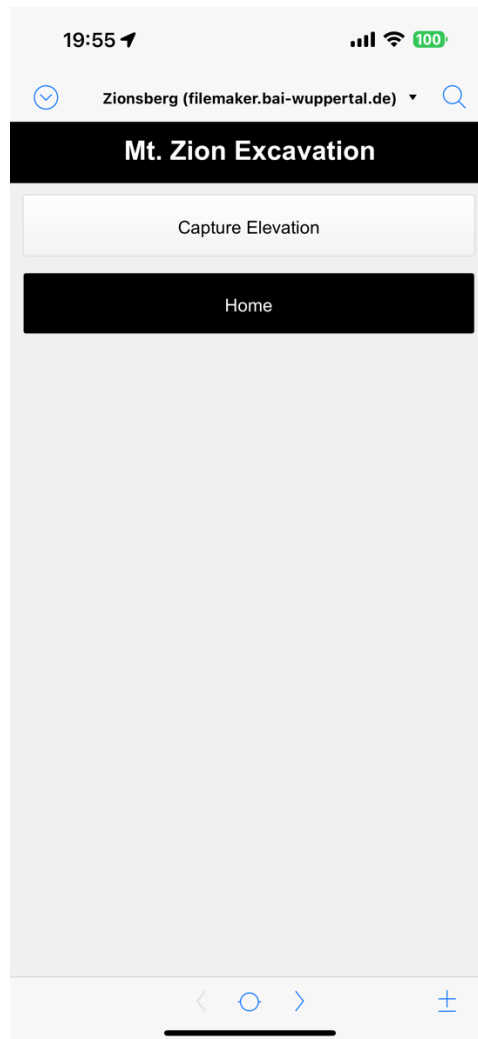
Die Vermessungspunkte werden in der GIS-Datenbank gespeichert (siehe Kapitel 8.5.1). Die Formulare sind nur noch für Altdaten da.

3.9 Einstellungen (Settings)

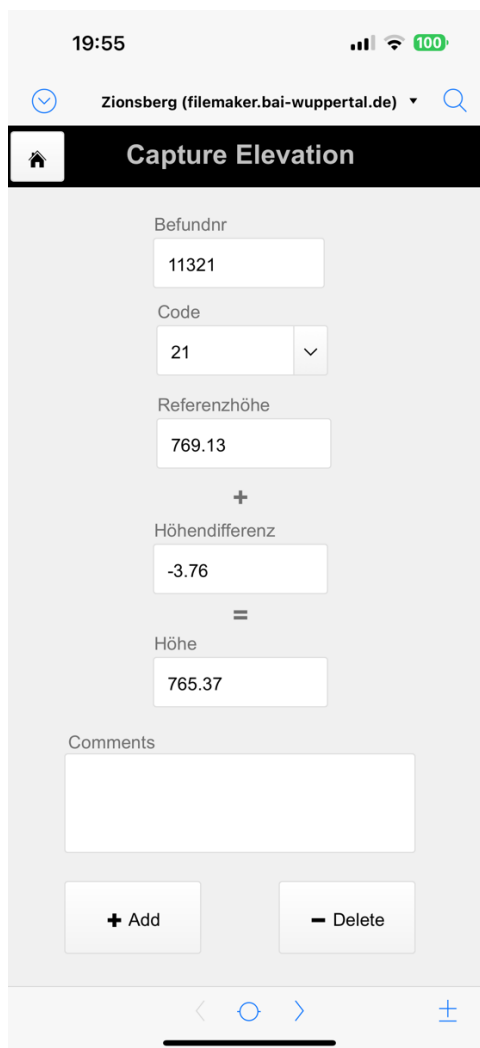


In den Einstellungen (Settings) werden die allgemeinen Begriffe aus den Auswahllisten für Befunde und Funde angegeben (siehe auch Anhang 1.8)

3.10 *iPhone*-Interface



iPhone Startbildschirm (*Home Screen*)



The image shows a mobile application interface titled "Capture Elevation". At the top, the status bar shows the time 19:55, signal strength, and 100% battery. Below the status bar, there is a navigation bar with a home icon, the text "Zionsberg (filemaker.bai-wuppertal.de)", and a search icon. The main form area contains the following fields and controls:

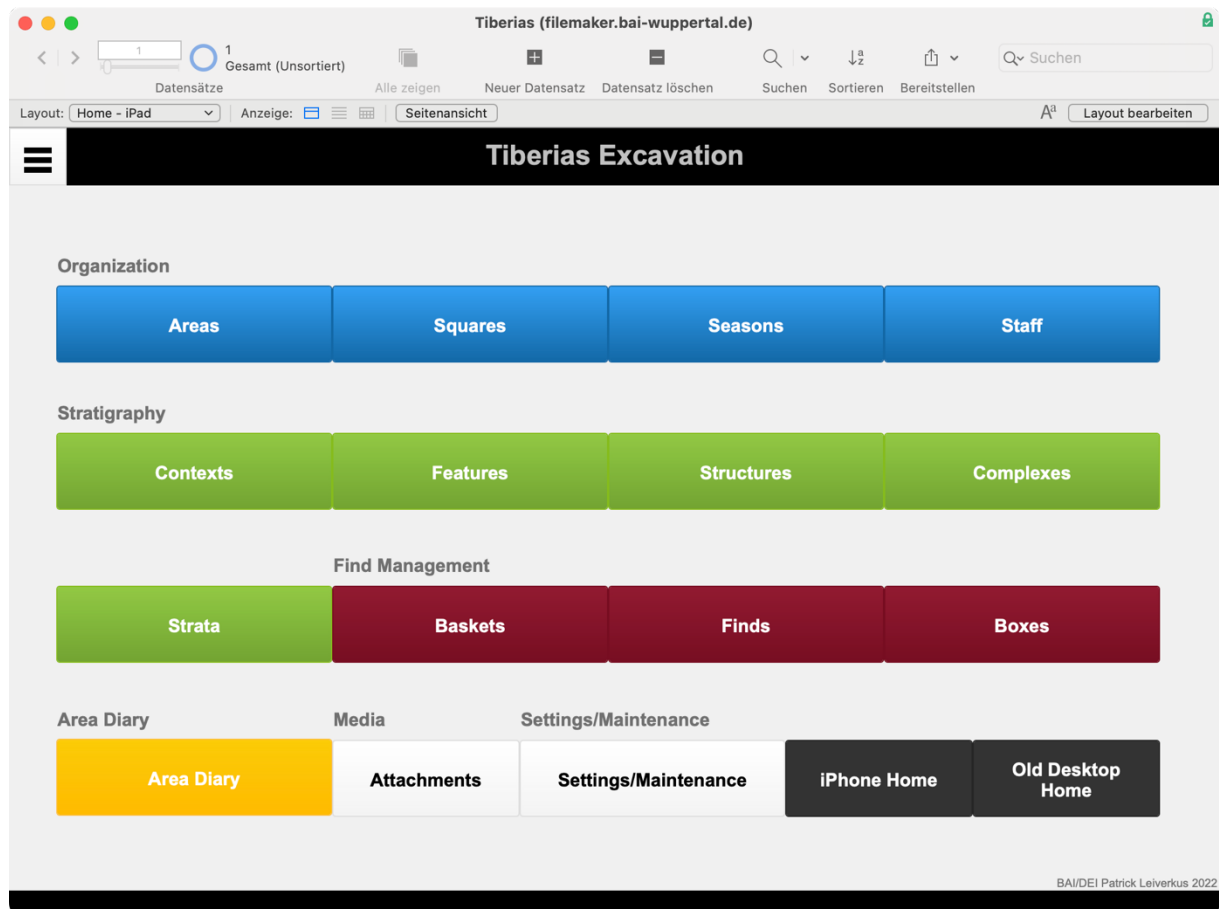
- Befundnr**: A text input field containing "11321".
- Code**: A dropdown menu showing "21" with a downward arrow.
- Referenzhöhe**: A text input field containing "769.13".
- Höhendifferenz**: A text input field containing "-3.76".
- Höhe**: A text input field containing "765.37".
- Comments**: A large text area for entering comments.
- + Add**: A button to add a new record.
- Delete**: A button to delete a record.

At the bottom of the screen, there is a navigation bar with icons for back, home, forward, and a plus sign.

Smartphone-optimiertes Formular zur (halbautomatischen) Höhenerfassung
(siehe Kapitel 8.5.3)

4 Grabungsinformationssystem Tiberias

4.1 Startbildschirm (Home Screen)



4.2 Organisation (*Organization*)

4.2.1 Areale (Areas)

Area M1 + New

General Orthophotos Map

Name: M1

Square	Active	Context	Square	Type	Status
> G25 NE	No	> 2598	G26 SE	FF	Closed
> G25 SE	No	> 2597	G26 SE	M	Closed
> G26 SE	Yes	> 2354	G28 NE	M	Closed
> G28 NE	No	> 2352	H28 NW	FF	Closed
> H25 NW	No	> 2351	G28 NE	F	Closed
> H25 SW	No	> 2348	G28 NE	PIP	Open
> H26 NW	No	> 2341	G28 NE	M	Closed
> H26 SW	No	> 2340	H28 NW	M	Closed
> H28 NW	No	> 2334	H28 NW	INST	Closed
		> 2333	H28 NW	OTH	Closed

M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 SITE'S SURFACE

Formular für die Areale der Grabung mit Liste der Quadranten (Squares) und Befunde (Contexts)

4.2.2 Quadranten (Squares)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

36 Gesamt (Sortiert)

Datensätze: Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Square - iPad Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Square G25 NE + New

General Orthophotos Profilephotos Orthoprofiles Map

Name: Area: Active: Export Harris Matrix

Context	Type	Status
> 2074	Top Soil	Closed
> 2082	Fill	Closed
> 2097	Cleaning	Closed
> 2102	Fill	Closed
> 2107	Collapse	Closed
> 2119	Fill	Closed
> 2128	Surface	Closed
> 2193	Fill	Closed

Square List:

E29 SW	M10
F28 NE	M10
F28 NW	M10
F29 NE	M10
F29 NW	M10
F29 SE	M10
F29 SW	M10
G2	M2
G25 NE	M1

Formular für die Quadranten (Squares) mit Liste der Befunde (Contexts)

4.2.3 Kampagnen (Seasons)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

<

>

2

15
Gesamt (Sortiert)

Alle zeigen

Neuer Datensatz

Datensatz löschen

Suchen

Sortieren

Bereitstellen

Q

Suchen

Datensätze

Layout: Season - iPad

Anzeige:

Seitenansicht

A³

Layout bearbeiten

Seasons

+ New

Number	Name	Start Date		End Date		License	
0	04/2024	12.04.2024		14.04.2024		IAA prmt	<div>Detail</div>
1	03/2009	21.03.2009	<div></div>	09.04.2009	<div></div>	G-9	<div>Detail</div>
2	10/2009	11.10.2009		06.11.2009		G-9	<div>Detail</div>
3	04/2010	26.04.2010		14.05.2010		G-20	<div>Detail</div>
4	10/2010	04.10.2010		29.10.2010		G-20	<div>Detail</div>
5	05/2011	22.05.2011		17.06.2011		G-8	<div>Detail</div>
6	06/2012	24.06.2012		27.07.2012		G-38	<div>Detail</div>
7	02/2013	10.02.2013		22.02.2013		G-7	<div>Detail</div>
8	09/2013	22.09.2013		18.10.2013		G-7	<div>Detail</div>
9	09/2014	01.09.2014		23.09.2014		G-68	<div>Detail</div>
10	01/2016	24.01.2016		19.02.2016		G-9	<div>Detail</div>

Erfassung der Kampagnen (Seasons)

4.2.4 Team (Staff)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

33 Gesamt (Sortiert)

Datensätze

Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Staff - iPad Anzeig: Seitenansicht Layout bearbeiten

Name	Initials	Title	Phone Number	Active
Ron Lavi	RL	Past Area Supervisor	0502656662	No
Rona Evyasaf	RE	Past Area Supervisor	0549486828	No
Sara Lantos	SL	Current Area Supervisor	0543134578	No
Sharon Burger	SB	Register	0522671759	No
Shmulik Freireich	SF	Past Area Supervisor	0526942215	No
Shulamit Miller	SM	Past Area Supervisor	0544575152	No
Simon Kollmeier	SK	Register		No
Stefanie Hoss	SH	Register		Yes
Vladimir Crkvenjakov	VC	Current Area Supervisor		No
Yuli Gekht	YG	Register	0523263551	No
Yuval Asher	YA	Register		Yes

Erfassung der dokumentierenden Teammitglieder der Grabung

4.3 Stratigrafie (*Stratigraphy*)

4.3.1 Befunde (Contexts)

Allgemein (*General*)

The screenshot shows the 'Context 2340' form in the Tiberias software. The form is divided into several sections: General, Wall, Relations, Stratigraphy, Daily Log, Photos, Ortho, 3D, and Baskets. The 'General' section is currently active, showing fields for Number (2340), Type (M Fill), Supervisor (VC), Season (15.02.2023), Square (H28 NW), Area (M1), Opening Date (17.02.2023), Top Elevation (-201,97), Status (Closed), Closing Date (17.02.2023), Bottom Elevation (-202,20), Opening Reason (Stratigraphic change), and Description (Floor level (semi compact light brown soil) below the concentration of pottery?). A photo of an excavation site is also visible on the right side of the form.

Grundangaben zu einem Befund

Eingabefelder

<i>Number</i>	Nummer des Befundes (wird automatisch vergeben)
<i>Type</i>	Typ des Befundes
<i>Supervisor</i>	Kürzel der dokumentierenden Person
<i>Season</i>	Kampagne
<i>Square</i>	Quadrant in dem der Befund liegt
<i>Area</i>	Areal des Befundes (wird automatisch berechnet)
<i>Opening Date</i>	Datum des Grabungsbeginn des Befundes
<i>Closing Date</i>	Datum des Grabungsendes des Befundes
<i>Top Elevation</i>	Oberkante (manuelle Eingabe oder mit der Taste links aus der GIS-Datenbank zu importieren)
<i>Bottom Elevation</i>	Unterkante (manuelle Eingabe oder mit der Taste links aus der GIS-Datenbank zu importieren)
<i>Status</i>	Nach Schließen des Befundes und Abschluss der Dokumentation auf „Closed“ zu setzen
<i>Opening Reason</i>	Grund der Öffnung des Befundes

Closing Reason	Grund des Schließens des Befundes
Description	Beschreibung des Befundes

Mauer (Wall)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

32 / 2.125
Gefunden (Unsortiert)

Suchen

Layout: Context - iPad

Anzeige: Seitenansicht

Layout bearbeiten

iPhone

Context 2084

Scan

+ New

General

Wall

Relations

Stratigraphy

Daily Log

Photos

Ortho

3D

Baskets

WallType

Material

Direction

MX Mixed

NE-SW

Binding

Foundation

Dismantling Date

D Dry

Max Courses

Min Courses

Size of Stones

Height of Stones

1

1

Max.40x28x45

20cm

Max Top Elevation

Min Top Elevation

Max Base Elevation

Min Base Elevation

Max Length

Min Length

Max Width

Min Width

187

28

Supervisor

2084

WA

2085

WA

2091

WA

2095

WA

2105

WA

2112

WA

2113

WA

2130

WA

2167

WA

2186

WA

All

Open

Record created 16.02.2022 11:27:59 by JZ. Last modified 05.04.2022 08:11:52 by admin.

Spezielle Einträge für Mauerbefunde

Relationen (*Relations*)

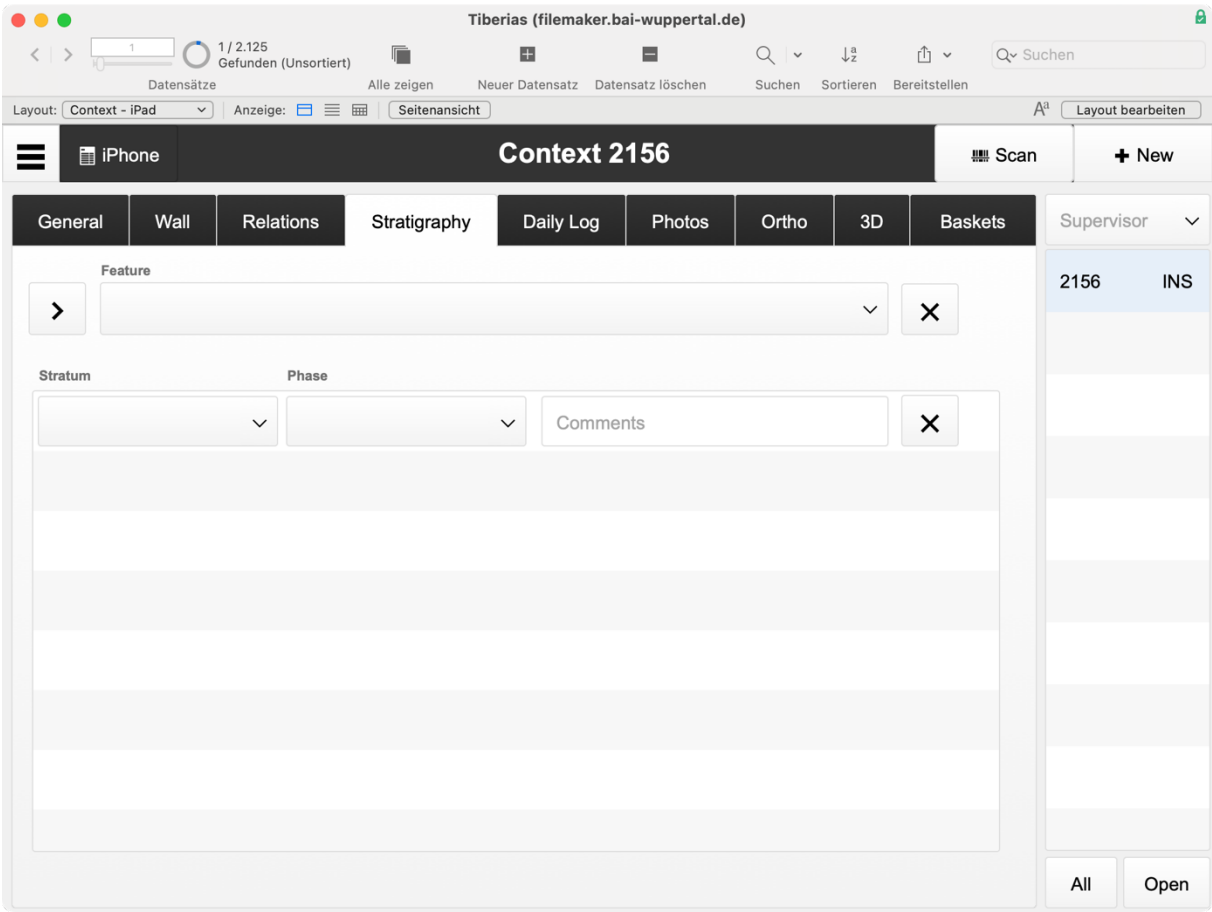
The screenshot shows the Tiberias software interface (filemaker.bai-wuppertal.de) with the 'Context 2156' view. The 'Relations' tab is active, displaying three columns for defining stratigraphic relationships:

- 2156 is earlier than:** Includes a dropdown menu set to 'Below' and a field containing '2093'.
- 2156 is contemporary with:** Includes a dropdown menu set to 'Contains', and two fields containing '2158' and '2176'. Below these, another dropdown menu is set to 'Within' with a field containing '2227'.
- 2156 is later than:** Includes a dropdown menu set to 'Above' and a field containing '2221'.

On the right side, a 'Supervisor' dropdown menu is set to 'INS', and a table lists '2156' as the context. At the bottom right, there are 'All' and 'Open' buttons.

Stratigrafische Relationen zu den Nachbarbefunden

Stratigrafie (*Stratigraphy*)



Stratum und Phase des Befundes sowie die Gruppe (*Feature*) des Befundes

Befundtagebuch (Daily Log)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Context - iPad | Anzeige: | Seitenansicht | A^a | Layout bearbeiten

Context 2162 | Scan | + New

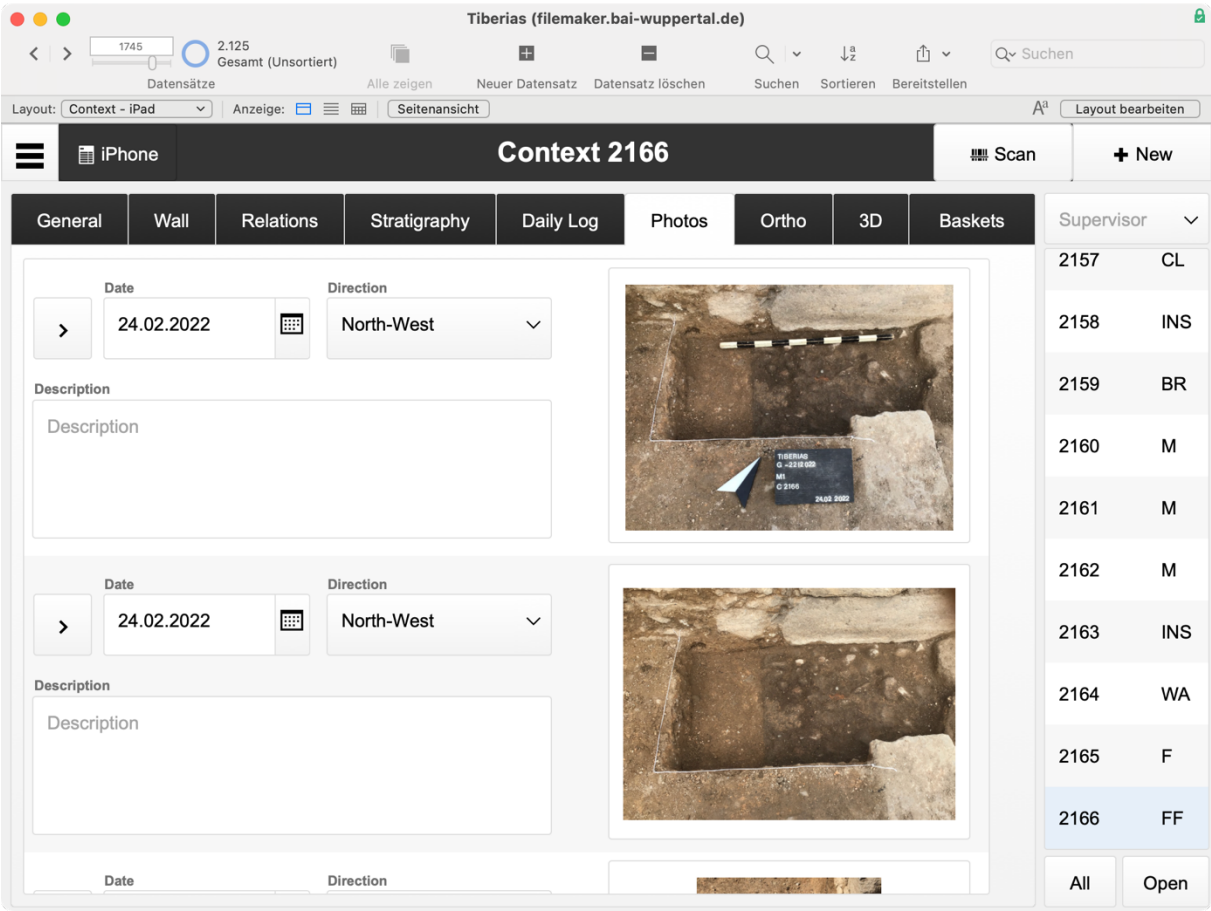
General | Wall | Relations | Stratigraphy | **Daily Log** | Photos | Ortho | 3D | Baskets | Supervisor ▼

Date	Comments
> 24.02.2022	Started excavating this context
> 27.02.2022	Work continued in this context.
> 28.02.2022	Loose pebble stones removed. In the northwest (below large rectangular stone) stone pavement 2173 continues.
> 01.03.2022	Excavated the context to reach the level of the stone plates. No further pavement

2153	M
2154	CL
2155	M
2156	INS
2157	CL
2158	INS
2159	BR
2160	M
2161	M
2162	M
All	
Open	

Tagebuch zum Fortschritt der Arbeit im Befund (siehe Kapitel 8.5.2)

Fotos (Photos)



Liste der Fotos des Befundes

Orthofoto (Ortho)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

1745 2.125 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen


Layout: Context - iPad Anzeig: Seitenansicht Layout bearbeiten

iPhone Context 2166 Scan + New

General Wall Relations Stratigraphy Daily Log Photos Ortho 3D Baskets Supervisor

Orthomosaic Date 24.02.2022

Plan Draw



1 m 5 ft

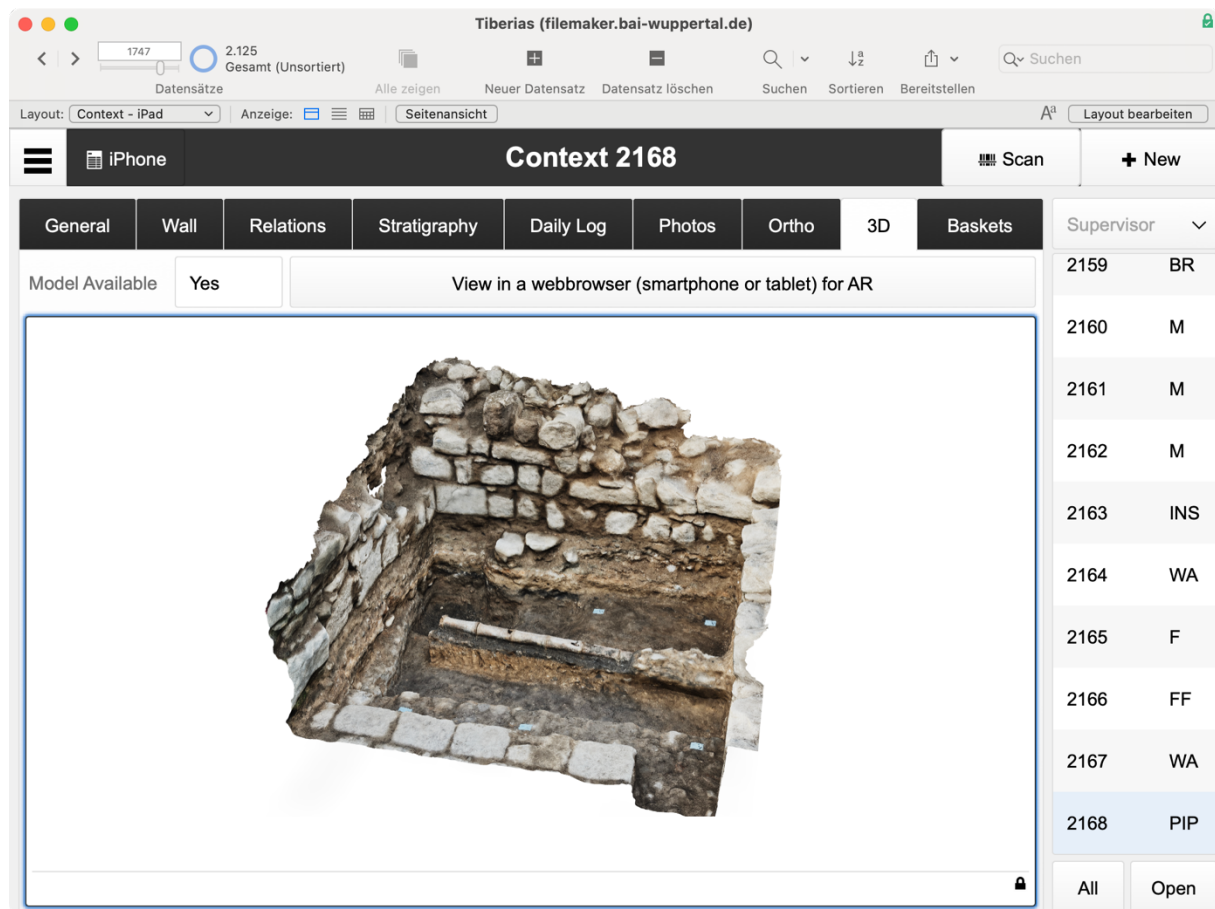
Leaflet

2157	CL
2158	INS
2159	BR
2160	M
2161	M
2162	M
2163	INS
2164	WA
2165	F
2166	FF

All Open

Orthofoto mit eingezeichneter Ausdehnung des Befundes und den gemessenen Höhen (Ober- und Unterkante)

3D-Aufnahme (3D)



3D-Modell des Befundes (siehe Kapitel 8.6.3)

Fundzettel (*Baskets*)

Type	Date	Number	Top Elevation	Bottom Elevation
P Pottery	01.03.2022	901097	Top	Bottom
Comment				
P Pottery	01.03.2022	901142	Top	Bottom
Segment 1. Yielded SMP 905202 during the cleaning and				
P Pottery	01.03.2022	901143	Top	Bottom
Segment 2. Yielded SMP 905203 during the cleaning and				
P Pottery	01.03.2022	901144	Top	Bottom
Segment 3. Yielded SMP 905200 during the pipe cleaning and				
P Pottery	01.03.2022	901145	Top	Bottom

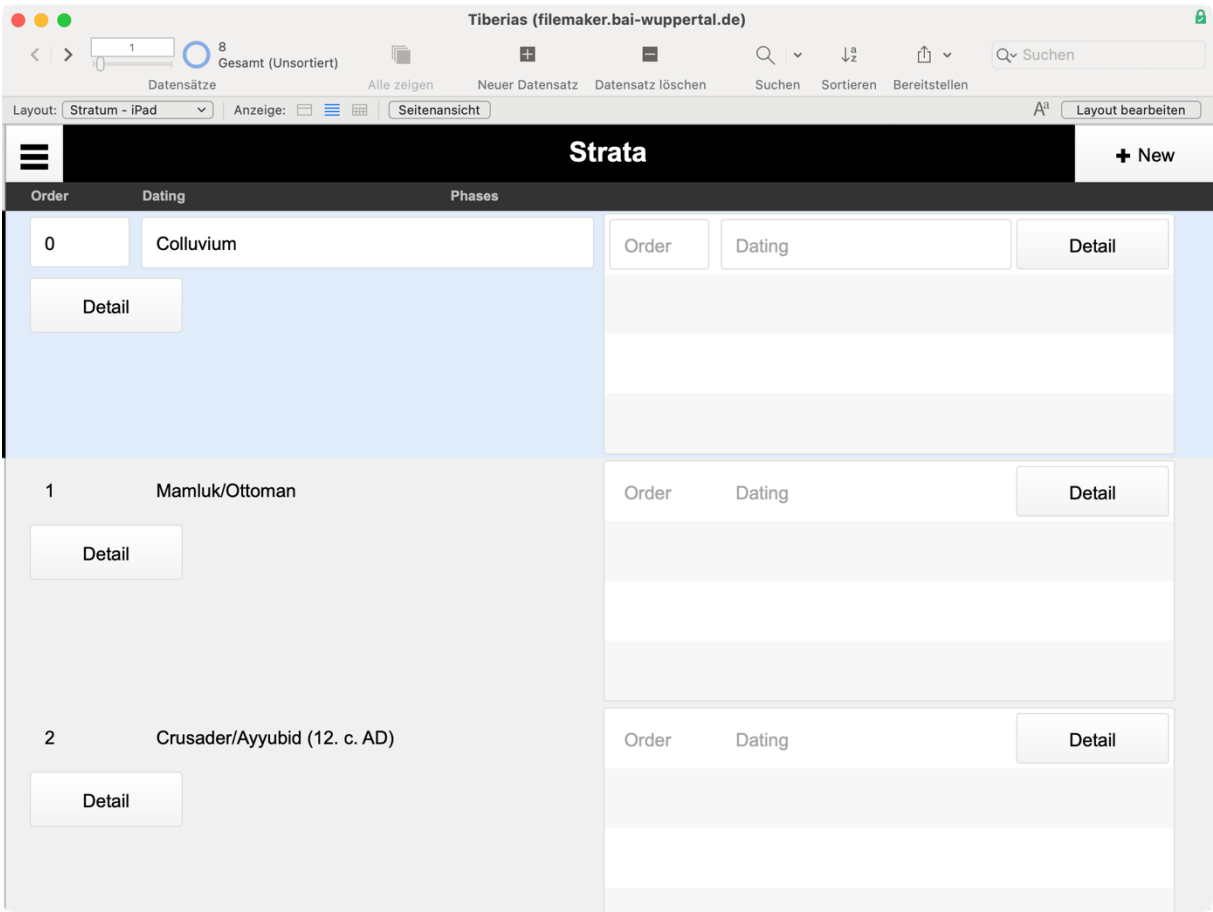
Supervisor	ID	Name
BR	2159	
M	2160	
M	2161	
M	2162	
INS	2163	
WA	2164	
F	2165	
FF	2166	
WA	2167	
PIP	2168	

Fundzettel eines Befundes mit Druckfunktion (siehe Kapitel 8.5.1)

4.3.2 Gruppen/Strukturen/Komplexe (Features/Structures/Complexes)

Die Formulare *Features*, *Structures* und *Complexes* entsprechen den Formularen in Anhang 1 – 3.3.2.

4.3.3 Strata



Strata und Phasen der Grabung

4.4 Fundbearbeitung (*Find Management*)

4.4.1 Fundzettel (Baskets)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

Layout: Basket - iPad Anzeige: Seitenansicht

Basket 904533

Scan Print + New

General			Photos		Finds	
Number	Date	Supervisor	Basket Type	Pottery Status	Status	
904533	06.03.2023	LM	Coin			
Context	Context Type	Context Area	Context Square	Context Season		
> 2546	Floor	M10	D29 NW	15 02/2023		
Top Elevation	Bottom Elevation	CA	Box	Main Dating from List		
-201,20			>			
Comment			Reading			
Sent to lab.			Roman provincial bronze coin, otherwise illegible			
Main Dating			Other Periods			
mid 1st-early 3rd cent. CE						

Barcode Settings Basket Type C

Formular zur Erfassung der Fundzettel (*Baskets*)

4.4.2 Funde (Finds)

The screenshot shows a web application titled 'Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)'. The main header displays 'Find 903959/4' with 'Print' and '+ New' buttons. Below the header is a tabbed interface with four tabs: 'General', 'Description', 'Basket Comment', and 'Photos'. The 'General' tab is selected and contains the following fields:

Basket Number	Find Extension	Type	Registrar
903959	4	T	YA
Context	Type	Date	
2456	M Fill	02.03.2023	
Square	Area	Season	
D29 NE	M10	15 02/2023	
CA	Amount	Box Number	
		15T2	
Top Elevation	Bottom Elevation	Status	

Formular zur Erfassung von Einzelfunden aus *Baskets*

4.4.3 Kisten (Boxes)

Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)

55 Gesamt (Unsortiert)

Datensätze Alle zeigen Neuer Datensatz Datensatz löschen Suchen Sortieren Bereitstellen

Layout: Box - iPad Anzeige: Seitenansicht Layout bearbeiten

Box 15P1 + New

Name: 15P1 Whereabout: DEI Jerusalem Add Basket

Basket Number	Basket Type	Date	
> 902259	Pottery	14.02.2023	X
> 902285	Pottery	15.02.2023	X
> 902300	Pottery	15.02.2023	X
> 902322	Pottery	15.02.2023	X
> 902401	Pottery	16.02.2023	X
> 902420	Pottery	16.02.2023	X
> 902440	Pottery	16.02.2023	X
> 902458	Pottery	17.02.2023	X
> 902465	Pottery	17.02.2023	X
> 902469	Pottery	17.02.2023	X

Archivierung der Fund in Kisten (*Boxes*) (siehe Kapitel 8.6.2)

4.4 Arealtagebuch (*Area Diary*)

Diary Entry of Area M10 on 02.03.2023

General

Area: M10 Date: 02.03.2023 Season: 15 02/2023 Supervisor: JZ

Entry

Around 25 people were working in this area throughout the day.

The earth layer 2490 was taken down and and revealed a stone plate floor (2984).

The packed clay layer 2481 was excavated and revealed a floor made of stone plates (2499). A similar clay layer was excavated abutting it in the east (2505).

work continued also on earth layer 2456. A collapsed coloumn was found within that fill of the room. Below 2456 a packed clay floor was found (context 2506).

Also earth layer 2478 surrounding tabun 2460 was excavated and revealed a floor made of stone plates.

The trench in square D29NW (2486) revealed a row of stones (2497) which possibly forms the

Photos

Active Context	Type	OpeningDate
> 2321	SUR	15.02.2023
> 2342	WALL Wall	17.02.2023
> 2345	WALL Wall	17.02.2023
> 2347	SM Stone	17.02.2023
> 2353	INST	20.02.2023
> 2358	WALL Wall	20.02.2023
> 2359	M Fill	20.02.2023
> 2364	E Floor	20.02.2023

Area

Supervisor

Date	Area	Supervisor
24.02.2023	M1	VC
27.02.2023	M1	JZ
27.02.2023	M1	VC
28.02.2023	M1	JZ
28.02.2023	M1	VC
28.02.2023	M1	VC
01.03.2023	M1	JZ
01.03.2023	M1	VC
02.03.2023	M1	JZ

All

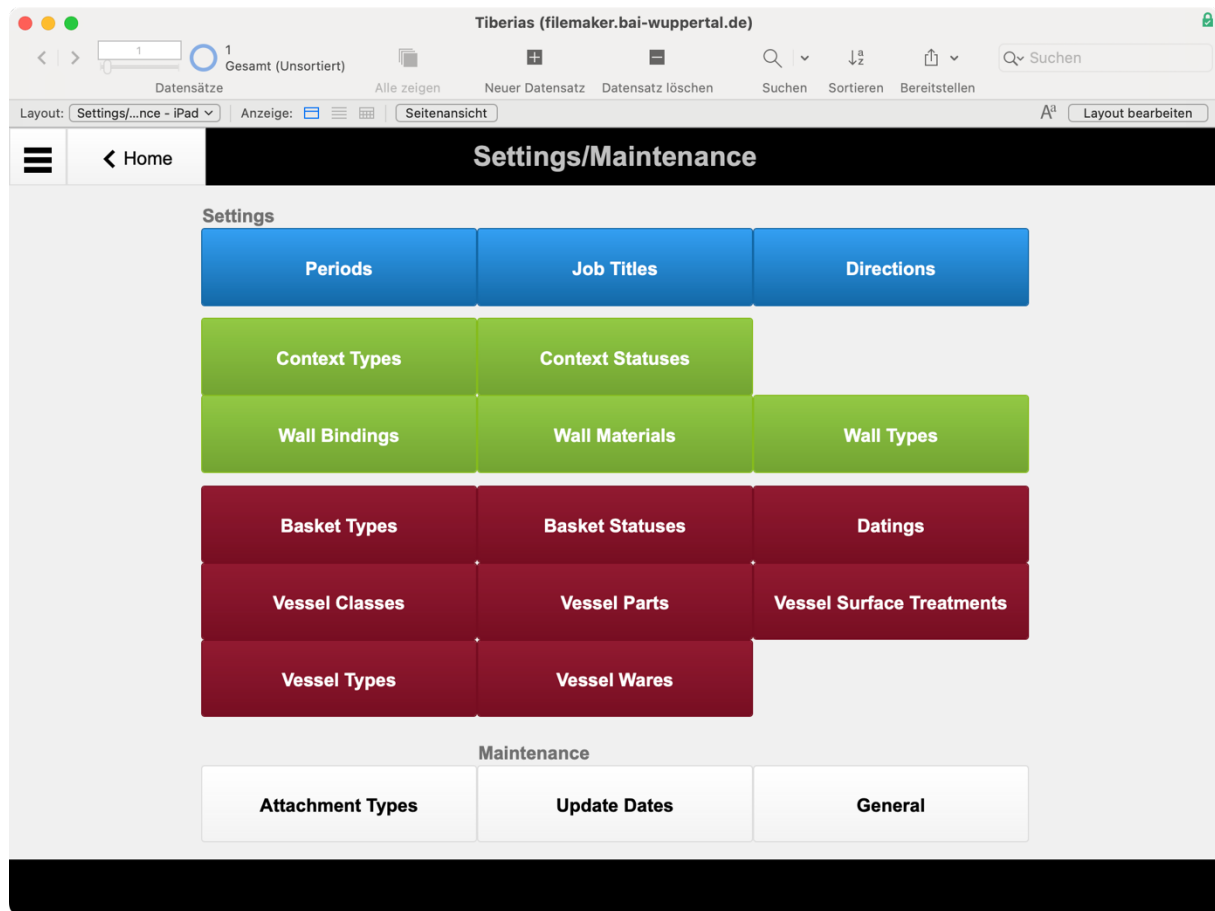
Arealtagebuch mit den geöffneten Befunden (siehe Kapitel 8.5.2).
Rechts eine Schnellnavigation zwischen den einzelnen Einträgen

4.5 Medien (*Media Attachments*)

The screenshot displays the 'Attachments' form in the Tiberias web application. The form is designed for recording media attachments related to archaeological findings. It features a large image area on the left showing a photograph of a stone fragment with a 10 cm scale bar. To the right of the image, there are several dropdown menus for recording metadata: 'Direction', 'Date' (set to 22.05.2024), 'Type', 'Creator' (set to JZ Jennifer Zimni), 'Area', and 'Season' (set to 14 02/2022). A 'Context' section with a dropdown is also present. Below the image, there is a 'Description' text area. At the bottom right, there are 'Find ID' and 'Basket Find No' dropdowns. The top navigation bar includes a search bar, a 'Suchen' button, and a 'Layout bearbeiten' button. The page title is 'Attachments'.

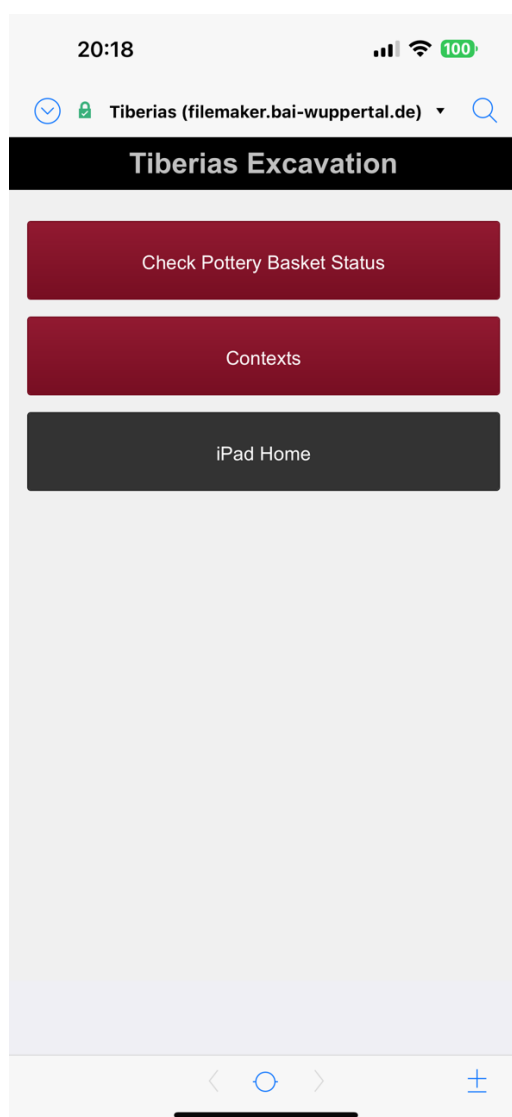
Formular zur Übersicht über alle „Fotoanhänge“ der Befunde, Funde, Quadranten und Areale.

4.6 Einstellungen (Settings/Maintenance)



Einstellungsmenü für die verschiedenen Auswahllisten der Formulare

4.7 *iPhone*-Interface



Hauptmenü für die *iPhone*-Nutzung

4.7.1 Keramik-Workflow

The screenshot shows a mobile application interface for 'Tiberias Excavation'. At the top, the status bar displays the time 20:18, signal strength, Wi-Fi, and 100% battery. Below the status bar is a navigation bar with a dropdown menu showing 'Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de)' and a search icon. The main title 'Tiberias Excavation' is centered in a black bar. The form consists of several input fields arranged in a grid:

Basket	Context
905209	2363
Square	Area
F29 NW	M10
Season	Basket Type
15 02/2023	SMP Soil
Date	Supervisor
07.08.2024	LMB

Below the grid is a text field containing 'Found inside 902805.' and a 'Status' field. At the bottom of the form are two buttons: a blue 'Print' button and a white 'New' button. Below these are two more buttons: a 'Search' button with a magnifying glass icon and a 'Scan Barcode' button with a barcode icon. The bottom of the screen shows a standard mobile OS navigation bar with back, home, and forward arrows, and a plus sign.


Formular für den Keramik-Workflow (siehe Kapitel 8.6.2)

4.7.2 Befunde (Contexts)

20:19 📶 100%

🔍 Tiberias (filemaker.bai-wuppertal.de) 🔍

☰ > Status [REDACTED] > Full

Number	Type	Supervisor
2168	PIP	JZ
Season	Square	Area
14	G29 SE	M10
Status	Top Elevation	Bottom Elevation
Closed	-202,52	-202,78
Opening Date	Closing Date	
24.02.2022	08.03.202	
Description		
<p>Ceramic pipe within a stone. Runs from southeast to north west.</p> <p>Each segment of the pipe has its own basket number</p>		
Opening Reason		
Opening Reason		
Closing Reason		
ClosingReason		
		

< ⌛ > ±

iPhone-optimierte Ansicht des Befundformulars (siehe Kapitel 8.6.3)

Anhang 2: Abrufbare Daten zur Promotion

1 Datenbanken und Informationssysteme (Kapitel 8)

Die Datenbanken und Informationssysteme stehen den Gutachtern zur Evaluation bis zum Ende des Promotionsverfahrens zur Verfügung.

Über die Webschnittstelle <https://filemaker.bai-wuppertal.de/fmi/webd> können die Datenbanken/Informationssysteme mit den Kontodaten

Benutzername: Gutachter

Passwort: hadero342

geöffnet werden. Mit dem gleichen Konto funktioniert der Aufruf auch über die Clients *FileMaker Pro* (Windows, macOS) und *FileMaker Go* (iOS, iPadOS) über den Host filemaker.bai-wuppertal.de.

2 3D-Modelle und Orthofotos (Kapitel 5.8)

Hirbat al-Minya: <https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/7lq6ZIXq9>

Herodespalast Jericho: <https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/SJBerdeLJ>

Festung Hyrkania: <https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/DiDbNBcxH>

Kloster Severianus: <https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/sue5Jdhwc>

Die komprimierten ZIP-Dateien enthalten die Orthofotos und die georeferenzierten Punktwolken für Potree³⁴⁷ und als *Agisoft Tiled Model*.³⁴⁸

³⁴⁷ In Kapitel 5.8 sind Links zu den Daten in einem Potree-Viewer.

³⁴⁸ Die Dateien können mit dem *Agisoft Viewer* betrachtet werden. Download unter <https://www.agisoft.com/downloads/installer/> (abgerufen am 27.08.2024).

3 *ArkMatrix* (Kapitel 8.5.3)

<https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/sxec7mtN9>

Die komprimierte ZIP-Datei enthält den *Python*-Quellcode und eine ausführbare *macOS*-App.

4 *GeoCellpose* (Kapitel 9.2.2)

<https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/nYXkTICgU>

Die komprimierte ZIP-Datei enthält den *Python*-Quellcode und eine ausführbare *macOS*-App.

5 Grabungsinformationssystem Zionsberg als Webanwendung (Kapitel 10.2)

<https://cloud.bai-wuppertal.de:5001/sharing/bustKe9Pe>

Die komprimierte ZIP-Datei enthält das *Django*-Projekt.