

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Exemplarische 3D-Dokumentation der Burg Engelstein in
Niederösterreich mittels bildbasierter Modellierung: Potenziale
für die interdisziplinäre archäologische und historische
Bauforschung

verfasst von | submitted by
Christoph Blätterbinder BA

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 801

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Urgeschichte und Historische
Archäologie

Betreut von | Supervisor:

Assoz. Prof. Dipl.-Geophys. Immo Trinks Privatdoz.
PhD

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt zunächst meinem Betreuer Immo Trinks, der mir jederzeit als aufrichtiger Mentor zur Seite stand und meinen Ideen stets den nötigen Raum zur Entfaltung bot. Ebenso danke ich Franz David Eschner, der als Initiator den Grundstein für diese Masterarbeit legte. Ein besonderer Dank gebührt zudem Roland Filzwieser, Stefan Krojer, Leonie Höld und Leona Kohl, die jederzeit ein offenes Ohr für mich fanden und mich mit ihrer Zeit und Expertise unterstützten.

Ein herzlicher Dank gilt Frau Mariella Meinel sowie den Herren Peter und Leonid Rath, die mir nicht nur Zugang zur Burganlage gewährten, sondern mir auch vor Ort – selbst bei niedrigen Temperaturen – mit Rat und Tat zur Seite standen. Gerne erinnere ich mich an die Gastfreundschaft und Großzügigkeit der dort lebenden Menschen und die vielen spannenden Erzählungen der Geschichten und Mythen, die sich um das mittelalterliche Waldviertel ranken. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Georg H. Schnura bedanken, der mir Zugang zu Schloss Enzesfeld gewährte und einen wichtigen Beitrag zur Untersuchung des Rittersaals und dessen Holzverkleidung leistete.

Darüber hinaus danke ich Juliane Goischke und Geert Verhoeven für ihre fundierte Expertise im Bereich der Fotogrammetrie, sowie dem gesamten VIAS (Vienna Institute for Archaeological Science) für die Bereitstellung von Ausrüstung und Know-how. Meinem geschätzten Kollegium sowie meinen Mentor:innen – namentlich Thomas Pertlwieser, Peter Ramschl, Aenna Linzbauer und Gerald Raab – danke ich für den fachlichen Austausch und den Zuspruch, der mich immer wieder motiviert hat.

Ein herzlicher Dank gilt meinen geschätzten Mitstudierenden und meinem Freundeskreis für deren unermüdlichen Rückhalt. Danke, dass ihr meine ausschweifenden Burgmonologe mit so viel Geduld und echtem Interesse verfolgt habt.

Herausragender Dank gilt meiner Partnerin Jessica, die mich mit ihrer Kreativität, Geduld und ihrem Scharfsinn durch die forderndsten Phasen dieser Arbeit begleitet hat.

Abschließend danke ich meiner Familie und meinen Eltern Ludwig und Charlotte, die mir durch ihre unermüdliche Arbeit mein Studium erst ermöglicht haben. Diese Arbeit widme ich in liebevollem Gedenken meiner Mutter, die ich in jeder Sekunde meines Lebens im Herzen trage.

Danke für alles, Mama.

Abstract

This master's thesis examines the potential of image-based modeling (IBM) for the systematic digital documentation and analysis of the medieval castle Engelstein in Lower Austria. Using the case study of the building complex, the issues and potential for archaeology, building research, and interdisciplinary questions are illustrated and discussed.

Using terrestrial and aerial photogrammetry, close to 10,000 photos were digitally acquired and processed to create several high-resolution 3D point clouds and a textured, georeferenced overall data set of the medieval main castle, including its interior rooms, as well as the modern castle wing, the outer courtyard, and the surrounding environment. In addition, high-resolution orthophotos were generated and visualized in the form of a building survey. A special focus of the overall survey of the building is the digital repatriation of the early modern coffered ceiling of the knights' hall of Engelstein Castle, which is now located in Enzesfeld Castle. By comparing and systematically merging the 3D models of both locations, it was possible to virtually reconstruct the original spatial situation of the knights' hall in Engelstein.

The work demonstrates that image-based modelling with simple means not only provides a precise basis for building research and virtual monument preservation, but also enables socioeconomic interpretations of land use and resources. In addition, it addresses the potential of this approach for digital cultural education, didactics, historical science, restoration, art history, and landscape analysis, and discusses image-based modelling as a cost-effective alternative to laser scanning.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit untersucht das Potenzial der bildbasierten 3D-Modellierung (Image-Based Modelling, IBM) für die systematische digitale Dokumentation und Analyse der mittelalterlichen Burg Engelstein in Niederösterreich. Anhand der Fallstudie des Gebäudekomplexes werden die Potenziale der Methode für die Archäologie, Bauforschung und interdisziplinäre Fragestellungen illustriert und diskutiert.

Mittels terrestrischer und Luftbild-Photogrammetrie wurden knapp 10.000 Fotos digital verarbeitet, um mehrere hochaufgelöste Punktwolken und eine texturierte, georeferenzierte Gesamtaufnahme der mittelalterlichen Hauptburg inklusive Innenräumen, sowie des neuzeitlichen Schlosstraktes und des Wirtschaftshofs und der umgebenden Landschaft zu erstellen. Zudem wurden hochauflösende Orthofotos generiert und in Form einer Bauaufnahme visualisiert. Ein besonderer Fokus bei der Gesamtaufnahme des Gebäudekomplexes liegt auf der digitalen Repatriierung der frühneuzeitlichen Kassettendecke des Rittersaals von Burg Engelstein, die sich heute in Schloss Enzesfeld befindet. Durch den Vergleich und die systematische Verschmelzung der 3D-Modelle beider Standorte konnte die ursprüngliche räumliche Situation des Rittersaals in Engelstein virtuell rekonstruiert werden.

Die Arbeit zeigt exemplarisch, dass Image-Based-Modelling mit einfachen Mitteln nicht nur eine präzise Grundlage für die Bauforschung und Denkmalpflege bieten kann, sondern auch sozioökonomische Interpretationen zur Raum- und Ressourcennutzung ermöglicht. Darüber hinaus werden Potenziale des Ansatzes für die digitale Kulturvermittlung, Didaktik, Geschichtswissenschaft, Restaurierung, Kunstgeschichte und Landschaftsanalyse thematisiert und Image Based Modelling als kosteneffiziente Alternative zu Laserscanning diskutiert.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abstract	iii
Kurzfassung	v
1 Einleitung	1
1.1 Geografische und topografische Lage	1
1.2 Historischer Kontext der Burg Engelstein	3
1.3 Forschungsgeschichte	4
1.4 Bildbasierte 3D Modellierung in der Bauforschung	6
1.5 Forschungsziele und Fragestellungen	8
2 Material und Methoden	11
2.1 Structure from Motion und Image Based Modelling	11
2.1.1 Geräteausstattung und Aufnahmeprozess	14
2.1.2 Datenverarbeitung und 3D-Modellierung	20
2.1.3 Skalierung und Georeferenzierung	25
2.1.4 Erzeugen von Vermaschung und Texturierung	28
2.1.5 Erzeugen von Orthofotos	29
2.1.6 Erzeugen von Visualisierungen der Punktwolke	30
2.2 Bauforschung	31
2.2.1 Dreidimensionale Bauaufnahme des Gesamtgebäudes	31
2.2.2 Digitale Repatriierung der Kassettendecke und Wandvertäfelung	32
2.2.3 Digitale Repatriierung der Marienstatue	33
2.3 Export und Publikation des 3D-Modells	34
3 Ergebnisse	41
3.1 Erzeugte Fotos	41
3.2 Erzeugte Punktwolken	41
3.3 Erzeugte Orthofotos	42
3.4 Erzeugte Visualisierungen	43
3.4.1 3D-Modell der Gesamtanlage	43
3.4.2 Drahtgittermodell (Wireframe)	44
3.4.3 Digitales Höhenmodell (Digital Elevation Model)	46

3.4.4	Röntgenansicht (X-Ray View)	47
3.4.5	Querschnitte	49
3.4.6	Erstellung von Lageplänen mittels Orthofotos	49
3.4.7	Animationen	52
3.5	Vorstellung einzelner Burgbereiche	52
3.5.1	Außenansicht der Burganlage	52
3.5.2	Theatersaal	58
3.5.3	Heizraum	61
3.5.4	Speisesaal, Enzesfeld	64
3.5.5	Kemenate	66
3.5.6	Rittersaal	70
3.5.7	Bergfried	75
3.5.8	Wendeltreppe	78
3.5.9	Burghof	80
3.5.10	Dachgeschoss mit Freskensaal	85
3.5.11	Schlosshof	88
3.5.12	Schlosskapelle hl. Maria	93
3.5.13	Torhaus	97
3.5.14	Schüttkasten	100
4	Diskussion	103
4.1	Genauigkeit des Modells	103
4.1.1	Auflösung	103
4.1.2	Qualität der Georeferenzierung	103
4.1.3	Geometrische Genauigkeit	105
4.2	Herausforderungen in der Datenverarbeitung	106
4.3	Publikation von digitalen 3D-Modellen	108
4.4	Langzeitarchivierung von digitalen 3D-Modellen	110
4.4.1	Internationale Standards zur Archivierung von 3D-Daten	110
4.4.2	Dateiformate	111
4.4.3	Speichermedien	111
4.4.4	Archivierung und Speicherung der Daten zu Engelstein	112
4.5	Fotogrammetrie als Alternative zu Laserscanning	113
4.6	Bedeutung für die Archäologie und Bauforschung	113
4.6.1	Digitale dreidimensionale Bauaufnahme	115
4.6.2	Digitale Repatriierung von Gebäudeteilen	115
4.6.3	Digitale Repatriierung von Wandmalereien	116
4.6.4	Architektonische Erkenntnisse	116
4.6.5	Stratigraphische Interpretation von 3D-Daten	118
4.6.6	Interdisziplinäre Schnittstellen	118
4.6.7	Systematische Ergänzung von Altdokumentation	119
4.7	Sozioökonomische Interpretationen	119
4.7.1	Ressourcen und Baukosten	122

Inhaltsverzeichnis

4.7.2	Verteidigung	123
4.7.3	Lage und Landschaft	124
4.7.4	Raumnutzung	125
4.8	Bedeutung für die Denkmalpflege	127
4.8.1	Systematische Schadenskartierung	127
4.8.2	Digitale 3D Modelle als Entscheidungshilfe	127
4.9	Interdisziplinäre Nutzungspotenziale	129
4.9.1	Geschichtswissenschaft	129
4.9.2	Kunstgeschichte und Architektur	129
4.9.3	Didaktik und Öffentlichkeitsarbeit	130
4.9.4	Systematische 3D-Dokumentation von Burg- und Schlossanlagen	133
5	Konklusion und Ausblick	137
	Literaturverzeichnis	139
	Anhang	151
A	Raumbeschreibungen	151
A.1	Kellerraum 1 - Nord	151
A.2	Kellerraum 2 - Ost	154
A.3	Keller, Palasbau	157
A.4	Schlosskapelle hl. Maria	160
A.5	Ehemaliger Stall	163
A.6	Kellerraum West	166
A.7	Küche	169
A.8	Torbau	172
A.9	Bergfried, Erdgeschoss	176
A.10	Westraum, 1. Stock	179
A.11	Theatersaal	182
A.12	Bergfried, 1. Stock	184
A.13	Südraum, 1. Stock	187
A.14	Ostraum, 1. Stock	190
A.15	Heizraum, 1. Stock	193
A.16	Torwart, 1. Stock	195
A.17	Abort 1. Stock	199
A.18	Rittersaal	202
A.19	Abort, 2. Stock	204
A.20	Bergfried, 2. Stock	207
A.21	Torwart, 2. Stock	210
A.22	Galerie, 2. Stock (Kemenate)	213
A.23	Westraum, 2. Stock	215
A.24	Gerichtssaal, 2. Stock	218
A.25	Obere Galerie	222

A.26	Freskensaal West	225
A.27	Freskensaal Ost	229
A.28	Dachgeschoss, Raum West	231
A.29	Bergfried, Dachgeschoss	234
A.30	Oberstes Turmgeschoss	237
A.31	Wendeltreppe	240
A.32	Burghof	243
A.33	Schlosshof	246
A.34	Hammerschmiede	249
A.35	Schüttkasten	251
B	Geräteausstattung	253
B.1	Kameras und Hardware	253
B.2	Software und KI	253
C	Digitale Geländemodelle	255
D	Orthofotos	261
E	Geschosspläne	275

Tabellenverzeichnis

2.1	Verwendete Kameras und Parameter	18
2.2	Metashape: Einstellungen für das Alignment.	22
2.3	Einstellungen und Eigenschaften des Alignments	35
2.4	Gesamtaufstellung der von Metashape ermittelten Kamera-Parameter. . .	36
2.5	Metashape: Parameter für die Erstellung der dichten Punktwolke.	36
2.6	Gesamtaufstellung gemessener Distanzen im Vergleich zum 3D Modell. . .	36
2.7	Metashape: Einstellungen zum Generieren der Vermaschung.	36
2.8	Metashape: Einstellungen zum Generieren der Textur.	37
3.1	Übersicht der aufgenommenen Einzelfotos.	42
3.2	Übersicht über die erstellten dichten Punktwolken.	42
3.3	Übersicht der erstellten Vermaschungen.	44
3.4	Übersicht der erstellten Texturen.	44
3.5	Übersicht aller fotogrammetrisch dokumentierten Räume.	45
4.1	Metashape: Genauigkeit im Alignment.	106
4.2	Vor- und Nachteile von Fotogrammetrie und Laserscanning	114
C.1	Auflistung der erstellten digitalen Geländemodelle (DEM).	255
D.1	Auflistung der erstellten Orthofotos.	261
E.1	Auflistung der erstellten Geschosspläne.	275

Abbildungsverzeichnis

1.1	Lage der Burg Engelstein in Niederösterreich.	2
1.2	Engelstein (<i>Engelstain</i>), Kupferstich von Georg Matthäus Vischer, 1629. .	4
1.3	Engelstein: Orthofoto mit Gesamtübersicht aller Gebäude	5
1.4	Bauphasenplan Schloss Engelstein, Erdgeschoss	7
2.1	Schematische Darstellung der Arbeitsschritte	12
2.2	Prinzip der fotogrammetrischen Datenaufnahme und Skalierung	15
2.3	Ausrüstung zur Anfertigung und Speicherung der Innenfotos	17
2.4	Prinzip der Kameraausrichtung	18
2.5	Aufnahmeprozess: Sony a6300 mit Monopod.	19
2.6	Zur Ausleuchtung des Theatersaals verwendeter Baustrahler und Akku. .	20
2.7	Schematische Darstellung der IBM-Arbeitsschritte.	21
2.8	Metashape: Marker zum manuellen Alignment	24
2.9	Dichte Punktwolke des Dachgeschosses (Freskensaal).	25
2.10	Metashape: Point Cloud (Enzesfeld)	26
2.11	Georeferenziertes Orthofoto in Agisoft Metashape.	28
2.12	Enzesfeld: Texturierte Oberfläche des Speisezimmers mit Wandvertäfelung.	29
2.13	Außenbereich: erzeugte Vermaschung.	30
2.14	Vergleich der Raumgrundrisse von Engelstein (rot) und Enzesfeld (blau). .	37
2.15	Enzesfeld: dichte Punktwolke des Speisezimmers mit Holzvertäfelung. . . .	38
2.16	Vergleich der Marienstatue im Burghof (blau) und Kapelle (rot).	39
3.1	Punktwolke vor der vollständigen Säuberung.	43
3.2	Texturiertes Gesamtmodell, Außenansicht.	46
3.3	Darstellung als Gitternetz.	46
3.4	Visualisierung der Vermaschung mit Höhenwerten.	48
3.5	X-Ray Darstellung von der Nordwestseite.	50
3.6	Querschnitt durch die Hauptburg	51
3.7	X-Ray Darstellung aus der Vogelperspektive.	54
3.8	Gesamtkarte mit Orthofoto.	55
3.9	Eck im Schlosstrakt mit zugemauertem Durchgang.	56
3.10	Modell mit Außenansicht.	56
3.11	Orthofotos der Nord- und Ostseite von Hauptburg und Schlosstrakt. . . .	57
3.12	Texturiertes Modell des Theatersaals.	59
3.13	Plan des Theatersaals.	60

Abbildungsverzeichnis

3.14	Texturiertes Modell des Heizraums.	62
3.15	Plan des Heizraums.	63
3.16	Enzesfeld: Orthofoto des Speisezimmers.	65
3.17	Enzesfeld: Texturierte Vermaschung des Speisezimmers.	65
3.18	Texturiertes Modell der Kemenate.	68
3.19	Plan der Kemenate.	69
3.20	Texturiertes Modell des Rittersaals.	71
3.21	Plan des Rittersaals.	72
3.22	Visualisierung des Rittersaals Wand- und Deckenverkleidung.	74
3.23	Vergleich des Bergfrieds im Grundriss von 1979 und der X-Ray Darstellung.	76
3.24	Querschnitt durch den Bergfried.	77
3.25	Vergleich: schematische Darstellung und Wendeltreppe von Engelstein.	79
3.26	Innerer Burghof.	82
3.27	Plan des Burghofs (Erdgeschoss).	83
3.28	Visualisierung des Innenhofs mit Marienstatue.	84
3.29	Texturierte Vermaschung des Freskensaals Ost.	86
3.30	Plan des Freskensaals Ost.	87
3.31	Schlosshof mit ehemaligem Burggraben und Zugang zum Keller.	90
3.32	Texturierte Vermaschung mit Burgtor und ehemaligem Wehrgang.	91
3.33	Plan des Schlosshofs.	92
3.34	Röntgenansicht der Schlosskapelle.	95
3.35	Kapelle (Vermaschung in Metashape).	96
3.36	Vergleich des Torhauses.	98
3.37	Ausrichtung des Torhauses im Orthofoto.	99
3.38	Texturiertes Modell des Schüttkastens.	101
4.1	Point Cloud der Kapelle, lückenhaft durch Vegetation.	109
4.2	Postkarte, datiert 1980.	117
4.3	Vergleich Orthofoto und Bauplan A. Klaar	120
4.4	Vergleich Orthofoto und Bauplan A. Klaar (Detail)	121
4.5	Geländemodell (erstellt mit NUBIGON).	126
4.6	Verteilung der Burg- und Schlossanlagen in Niederösterreich	136
A.1	Plan des nördlichen Kellerraums	152
A.2	Ansichten des nördlichen Kellerraums.	153
A.3	Plan des Kellerraums Ost.	155
A.4	Ansichten des Kellerraums Ost.	156
A.5	Plan des Kellerraums (Palas).	158
A.6	Ansichten des Kellerraums (Palasbau).	159
A.7	Ansichten der Kapelle.	162
A.8	Plan des ehemal. Stalls, EG.	164
A.9	Ansichten des ehemaligen Stalls.	165
A.10	Plan des Kellerraums West.	167
A.11	Ansichten des westlichen Kellerraums.	168

A.12 Plan der Küche, EG.	170
A.13 Ansichten der Küche.	171
A.14 Plan des Torhauses, EG.	174
A.15 Ansichten des Torbaus, Erdgeschoss.	175
A.16 Plan des Bergfrieds, EG.	177
A.17 Ansichten des Bergfrieds, Erdgeschoss.	178
A.18 Plan des Westraums, 1. OG.	180
A.19 Ansichten des Westraums, 1. Obergeschoss.	181
A.20 Ansichten des Theatersaals.	183
A.21 Plan des Bergfrieds, 1. Obergeschoss.	185
A.22 Ansichten des ersten Turmgeschosses.	186
A.23 Plan des Südraums, 1. OG.	188
A.24 Ansichten des Südraums, 1. Stock.	189
A.25 Plan des Ostraums (Galerie), 1. OG.	191
A.26 Ansichten des Ostraums, 1. OG.	192
A.27 Ansichten des Heizraums.	194
A.28 Plan des Torhauses, 1. OG.	197
A.29 Ansichten des Torwarts, 1. Stock.	198
A.30 Plan des Aborts, 1. Obergeschoss.	200
A.31 Ansichten des Aborts, 1. Stock.	201
A.32 Ansichten des Rittersaals.	203
A.33 Plan des Aborts, 2. Obergeschoss.	205
A.34 Ansichten des Aborts, 2. OG	206
A.35 Plan des Bergfrieds, 2. OG.	208
A.36 Ansichten des zweiten Turmgeschosses.	209
A.37 Plan des Torwarts, 2. OG.	211
A.38 Ansichten des Torwarts, 2. OG.	212
A.39 Ansichten der Kemenate.	214
A.40 Plan des Westraums, 2. OG.	216
A.41 Ansichten des Westraums, 2. Obergeschoss.	217
A.42 Plan des Gerichtssaals.	219
A.43 Engelstein: Ansichten des Gerichtssaals.	221
A.44 Plan der Galerie, 3. OG.	223
A.45 Ansichten der oberen Galerie.	224
A.46 Plan des Freskensaals West.	227
A.47 Ansichten des Freskensaal West.	228
A.48 Ansichten des Freskensaals Ost.	230
A.49 Plan des Westraums, OG 3.	232
A.50 Ansichten des Westraums im Dachgeschoss.	233
A.51 Plan des Bergfrieds, 3. Obergeschoss.	235
A.52 Ansichten des Turms, 3. Obergeschoss.	236
A.53 Plan des obersten Turmgeschosses.	238
A.54 Ansichten des obersten Turmgeschosses.	239

Abbildungsverzeichnis

A.55 Plan der Wendeltreppe.	241
A.56 Ansichten der Wendeltreppe.	242
A.57 Ansichten des Burghofs.	245
A.58 Engelstein: Ansichten des Schlosshofs.	248
A.59 Ansichten der Hammerschiede.	250
A.60 Ansichten des Schüttkastens.	252
C.1 Digitales Höhenmodell - Gesamtmodell.	256
C.2 Digitales Höhenmodell - Hauptburg	257
C.3 Digitales Höhenmodell (Darstellung: Schummerung).	258
C.4 Digitales Höhenmodell (Darstellung: Farbskala).	259
D.1 Orthofoto von Engelstein (Gesamt).	262
D.2 Orthofoto von Engelstein (Hauptburg und Wirtschaftsgebäude).	263
D.3 Orthografische Ansichten der Kemenate (Decke und Boden).	264
D.4 Orthografische Ansichten der Kemenate (Ost- und Westseite).	265
D.5 Orthografische Ansichten des Theatersaals (1/2).	266
D.6 Orthografische Ansichten des Theatersaals (2/2).	267
D.7 Orthografische Ansichten des Heizraums.	268
D.8 Orthografische Ansichten des Freskensaals (Nordseite).	269
D.9 Orthografische Ansichten des Freskensaals (Ostseite).	270
D.10 Orthografische Ansicht der Kassettendecke.	271
D.11 Orthografische Ansicht des Eingangsportale.	272
D.12 Orthografische Ansicht des Hochaltars.	273
D.13 Orthografische Ansicht der Kapelle (Südwand).	274
E.1 X-Ray View aller Stockwerke.	276
E.2 X-Ray View des Erdgeschosses	277
E.3 X-Ray View des 1. Obergeschosses	278
E.4 X-Ray View des zweiten Obergeschosses	279
E.5 X-Ray View des dritten Obergeschosses	280

1. Einleitung

1.1. Geografische und topografische Lage

Die Burganlage Engelstein liegt im westlichen Bereich der Katastralgemeinde Engelstein in der heutigen Gemeinde Großschönau im niederösterreichischen Bezirk Gmünd. Ein Teil des Gebäudekomplexes, die mittelalterliche Hauptburg, liegt auf einem massiven Felssporn aus Granit, weshalb die Burg als mittelalterliche Spornburg klassifiziert werden kann. Die gesamte Anlage ist von Teichen umgeben. Der größere, südlich gelegene Teich, auch als Hausteich bezeichnet, dürfte der Burganlage in der Zeit ihrer Nutzung unter anderem auch zum Schutz gedient haben. Die Anlage gliedert sich in die westlich gelegene, etwas erhöhte Hauptburg, eine östlich angeschlossene Vorburg in Form eines Schlosstraktes, sowie einen angeschlossenen Hof mit Wirtschaftsgebäuden. Die direkt in den Granitfels errichtete Hauptburg ist im Gegensatz zum Rest der Anlage stark räumlich beengt und hoch, schräg verwinkelt und gedrungen, während die beiden Vorhöfe des Schlosstrakts und des Wirtschaftshofs vergleichsweise breit und niedrig, sowie in ihren Grundrissen rechtwinkelig und geradlinig sind. Der Schlosstrakt umklammert die mittelalterliche Hauptburg mit seinem rechteckigem, dreikantigem Grundriss. Es ist insgesamt ein bauliches Ensemble aus ehemaligen Wirtschafts-, Wohn- und Verteidigungsbereichen mit repräsentativem Charakter erkennbar, welches sich durch entsprechende Räumlichkeiten, die als Fischteiche genutzten Teichanlagen und eine nahe gelegene Mühle und die Burggräben kennzeichnet. Es sind somit zahlreiche Merkmale vorhanden, die mehrphasige Burg-Schloss-Anlagen mit diversen Um- und Zubauten kennzeichnen (Luchner, 1978; Kühtreiber, 2009).

Die mittelalterliche Hauptburg wurde höchstwahrscheinlich im der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts errichtet (Kühtreiber, 2009). Zu den unmittelbar angeschlossenen frühneuzeitliche Um- und Zubauten zählen mehrere Trakte mit Schlosscharakter, sowie die Marienkapelle an der Ostseite. Der Schlosstrakt umschließt die Hauptburg in einem dreiseitigen Grundriss, wodurch ein Hof entsteht (Stenzel and Beckel, 1973). In 1,6 km Entfernung von der Burg Engelstein ist in einem angrenzenden Waldgebiet eine ehemalige Hausberganlage zu finden (Kühtreiber, 2009). Diese Anlage, auch als *Engelstein I* oder *Schwedenschanze* bekannt, ist im Gelände durch eine kegelstumpfförmige Erhöhung und teils massive, mörtellose Mauerreste in Form eines Raumes mit rechteckigem Grundriss erkennbar. Die Überreste sind über einen Forstweg erreichbar und in bewaldetem Gebiet erhalten (Reichhalter, 02.04.2025).

1. Einleitung



Abbildung 1.1.: Lage der Burg Engelstein in Niederösterreich.

Außerhalb des mittelalterlichen Burggebäudes und dessen Schlosstrakte sind zudem ein Wirtschaftshof und zahlreiche weitere Nebengebäude zu finden (Kühtreiber, 2009), darunter eine Schmiede, Brauhaus, *Salettl* (Gartenhaus), und ein Zehenthaus.¹ Zu den Nebengebäuden gibt es teils unterschiedliche Bezeichnungen und wenige bis keine schriftlichen Quellenhinweise. In dieser Arbeit sollen die teils umgangssprachlichen Gebäudebezeichnungen der Bewohner:innen der Burganlage Verwendung finden, sofern diese nicht schriftlich eindeutig auffindbar sind. Auch die ursprüngliche Nutzung einzelner Gebäude ist bislang unklar, beispielsweise die eines rechteckigen Baus mit etwa 62 m Länge, welches als Turniergebäude oder Stallung gedient haben könnte.²

¹ Quelle: Private Chronik der Burg Engelstein, niedergeschrieben von Hrn. Peter Rath, Durchsicht am 26.11.2025.

² Quelle: Geländebesichtigung und persönliche Auskunft von Hrn. Peter Rath in Engelstein am 07.04.2025.

1.2. Historischer Kontext der Burg Engelstein

Die Siedlung Engelstein wird im Jahr 1234 erstmals als *Engelgoz* erwähnt (Kühtreiber, 2009). Die Burg Engelstein findet erstmals 1234 in Urkunden Erwähnung (Eppel, 1984). Das Bauwerk könnte als Nachfolger der zerstörten Burg Hadmarstein gesehen werden. In der Nähe Engelsteins befindet sich zudem eine Hausberganlage, welche in Zusammenhang mit Engelstein gesehen werden kann (Reichhalter et al., 2001). Die Burg befindet sich zwar nicht auf einer Anhöhe, jedoch an einer Pilgerroute und am Kreuzungspunkt mehrerer historischer Verkehrswege (Eppel, 1984).

Das *Engel-* im Namen Engelstein bezieht sich einerseits auf den alten Besitzer *Ingilo*, und in der Silbe *Stein* liegt die Bezeichnung für Burg, wie sie in zahlreichen anderen Burgen Niederösterreichs zu finden ist, beispielsweise Rapottenstein, Ottenstein u. Ä. (Luchner, 1978). *Ingilo* war ein Lehensmann des Adelsgeschlechts der Kuenringer, welches welches im mittelalterlichen Niederösterreich besonders im Burgenbau und bei Stadtgründungen große Bedeutung inne hatte. Mehrere neuzeitliche Zubauten der Burganlage wurden schriftlichen Quellen zufolge im 16. und 17. Jahrhundert unter dem damaligen Besitzer Adam Anton Graf von Gundemann durchgeführt. Weitere Erneuerungen wurden zwischen 1810 und 1839 durch Karl Freiherr von Geusau durchgeführt, insbesondere an der 1476 errichteten Kapelle mit einer polychromen Marienstatue (Binder, 1925).

Die Geschichte der Burg ist geprägt von zahlreichen Besitzerwechseln. 1417 wird Georg Klinger als Besitzer genannt. Ab dem Jahr 1420/21 ist die Anlage im Besitz der Familie Schaller, im Jahr 1492 wird Hans Zeller als Burgherr angeführt. Besonders viele Besitzerwechsel erlebt die Burg im Laufe des 16. und 17. Jahrhunderts. 1619 wird die Burg durch kaiserliche Truppen erstürmt und geplündert. Ab 1806 sind Josef von Koller, anschließend der Freiherr von Geusau als Besitzer erwähnt. Von 1916 bis 1938 ist sie im Besitz von Adolf Lewin, danach gelangt die Burg an Baron Kloss. Ab 1964 wird Erich Meinel Burgherr. Mit den zahlreichen Besitzerwechseln gingen auch zahlreiche Um- und Zubauten in der Burganlage einher (Reichhalter et al., 2001). Beispielsweise wurden im Laufe der Zeit die beiden Zugbrücken, sowohl der Vor- als auch die der Hauptburg entfernt und durch gemauerte Steinbrücken ersetzt, sowie die gotische Galerie im Innenhof zugemauert (Plechl, 1966).

Die Burg besitzt auch ein Kapitel jüdischer Geschichte vor der Zeit des Nationalsozialismus: ab dem Jahr 1923 war der vom NS-Regime als „Halbjude“ klassifizierte Händler Adolf Lewin der Burgbesitzer, ehe dieser im Jahr 1938 mit seinen Schwestern ins Exil auswandern musste.³ Die aktuellen Verwalter und Besitzer der Burg sind Nachkommen der Familie Lobmeyer, einer aus Grieskirchen (Oberösterreich) stammenden Glaserfamilie, welche durch die Lusterherstellung Bekanntheit erlangte (Zeiger, 1990). Die gesamte Anlage inklusive Schloss und ehemalige Wirtschaftsgebäude steht unter Denkmalschutz gemäß

³ Quelle: Private Chronik der Burg Engelstein, niedergeschrieben von Hrn. Peter Rath, Durchsicht am 26.11.2025.

1. Einleitung



Abbildung 1.2.: Engelstein (*Engelstain*), Kupferstich von Georg Matthäus Vischer, 1629. (Vischer, 1672)

Unterschutzstellung per Bescheid, mit der HERIS-ID 29434 (Bundesdenkmalamt, 2025). Sowohl der neuzeitliche Schlosstrakt als auch die wenige hundert Meter entfernte zur Burg gehörende Schmiede, sowie Teile des Wirtschaftstrakts sind heute von mehreren Parteien bewohnt und entsprechend den Richtlinien des Bundesdenkmalamtes umgebaut worden. Die mittelalterliche Hauptburg ist seit 1910 – bedingt durch einen schweren Brand – nicht mehr bewohnt.⁴

1.3. Forschungsgeschichte

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden einzelne Beiträge zur bauhistorischen Untersuchung der Burg verfasst. Zudem wurden Baualterpläne erstellt (Klaar, 1979; Reichhalter et al., 2001; Kühtreiber, 2009). 1969 fand eine erste Bauaufnahme der Gesamtanlage inklusive der Anfertigung von Aufrissen und handgezeichneten Baualterplänen in Tusche durch Adalbert Klaar vom Österreichischen Bundesdenkmalamt statt (Klaar, 1979). Die Dokumentation aus dieser Zeit umfasst Raummaße, Gewölbeformen und eine allgemeine Beschreibung

⁴ Quelle: Persönliche Auskunft von Mariella Meinl und Peter Rath am 08.04. und 26.11.2025.

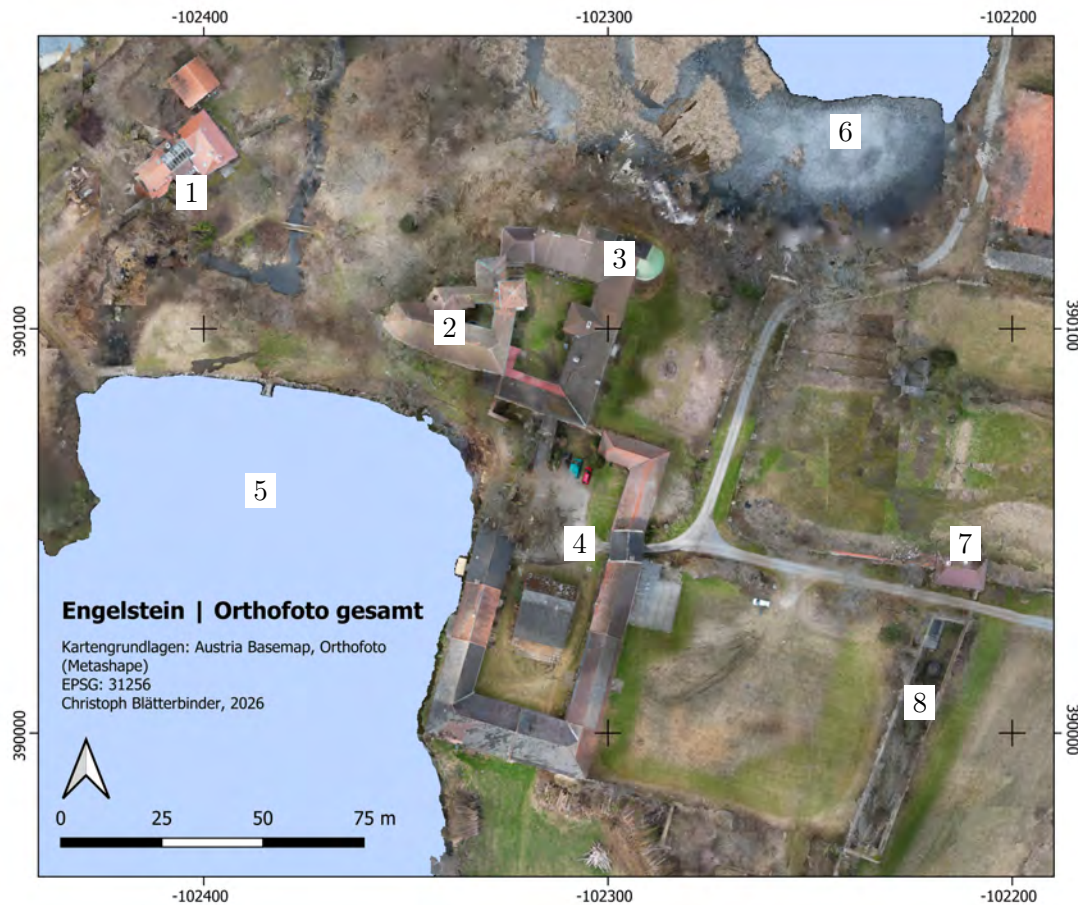


Abbildung 1.3.: Engelstein: Orthofoto mit Gesamtübersicht aller Gebäude:

- (1) Hammerschmiede
- (2) Hauptburg
- (3) Schlosstrakt und Schlosskapelle
- (4) Wirtschaftshof
- (5, 6) Hausteiche
- (7) Gartenhaus
- (8) Schüttkasten

ausgewählter Räumlichkeiten, sowie einen Abriss der Chronologie der Anlage. In den Plänen sind zudem zahlreiche Raumnamen zu finden. Die Bauaufnahme Klaars umfasst jedoch keine detaillierte Beschreibung des damaligen Ist-Zustands der einzelnen Räume oder der gesamten Außenansicht (Klaar, 1979; Reichhalter et al., 2001).

Die einzelnen Bauphasen der Gebäude wurden hier bereits grob gekennzeichnet, wobei sich die exakte Datierung verschiedener Räume und Gebäudeteile durch den Verputz an den

1. Einleitung

Mauern schwierig gestaltete (Kühtreiber, 2009). Im Zuge der bisherigen Untersuchungen kamen keine digitalen Methoden wie Laserscanning oder Fotogrammetrie zum Einsatz. Bislang wurde auch keine detaillierte Bestandsaufnahme inklusive der Möblierung und des Zustandes aller Wandmalereien, beispielsweise mittels Orthofotos, durchgeführt. Zudem fehlt eine weitreichende sozioökonomische Interpretation der Nutzung aller Räume. Die neuere Forschungsgeschichte umfasst somit eine Bauaufnahme mittels Lageplänen aus den 1960er-Jahren, Datierungen einzelner Burgbereiche, und mehrere Beiträge in unterschiedlichen archäologischen und historischen Publikationen, sowie Einträge in digitalen Burgendatenbanken (Reichhalter et al., 2001; Klaar, 1979; Kühtreiber, 2009).

Im Rahmen einer Lehrveranstaltung von Immo Trinks und Roland Filzwieser vom Vienna Institute for Archaeological Science (VIAS) am Institut für Urgeschichte und Historische Archäologie der Universität Wien wurde im April 2025 eine geophysikalische archäologische Prospektion des ostseitigen Schlossgartens durchgeführt, bei dem die Position des nicht mehr vorhandenen Stiegenaufganges in den ersten Stock des Schlosstrakts, sowie die ehemalige Orangerie untersucht werden konnte.⁵

Weitere schriftliche Quellen umfassen die privaten Sammlungen der Familien Lobmeyr und Rath, in der diverse kunsthistorische und archäologische Beobachtungen und Interpretationen zusammengetragen, und hauptsächlich von Hrn. Peter Rath, niedergeschrieben wurden. Zu Engelstein I gibt es keine schriftlichen Quellen (Reichhalter, 02.04.2025). Insgesamt wurde deutlich, dass eine umfassende Untersuchung der gesamten Anlage mit digitalen Methoden bislang nicht stattgefunden hat. Zudem umfasste die bisherige Forschungsgeschichte keine detaillierten Angaben zu den umliegenden Anlagen der Burganlage, beispielsweise den angrenzenden Wirtschaftsgebäuden.

1.4. Bildbasierte 3D Modellierung in der Bauforschung

Grundsätzlich sind bereits Beispiele für Untersuchungen historischer Gebäude mittels bildbasierter 3D Modellierung (IBM) zu finden: so wurde die Methodik bereits zur kunsthistorischen Analyse mittelalterlicher oder neuzeitlicher Wandmalereien eingesetzt, beispielsweise im Wiener Stephansdom (Verhoeven et al., 2021). Carlisle Castle in England stellt ein Beispiel für die Untersuchung von historischen Einritzungen und Graffiti mittels IBM dar (Sou, 2016). Schloss Neu-Wildon (Steiermark) ist ein Beispiel für die 3D-Dokumentation einer Burganlage mittels einer Kombination aus Drohnenfotos und Laserscannern in Österreich (Bauer et al., 2022).

Es existieren Projekte der detaillierten 3D-Dokumentation großer archäologischer und kulturhistorischer Denkmäler mit hohem Bekanntheitsgrad und entsprechender kultureller Bedeutung mit hochwertigen, hochauflösenden 3D-Laserscannern, beispielsweise die

⁵ Feldbegehung und Prospektion in Engelstein am 7. und 8. April 2025.



Abbildung 1.4.: Bauphasenplan Schloss Engelstein, Erdgeschoss (nach A. Klaar, umgezeichnet von Patrick Schicht, Bundesdenkmalamt Niederösterreich, 2006.)

Sphinx in Ägypten oder der Wiener Stephansdom (Neubauer and Studnicka, 2007; Studnicka and Zehetner, 2020). Detaillierte, wissenschaftlich publizierte 3D-Dokumentationen von Burgen, Schlössern und Befestigungsanlagen mittels Fotogrammetrie sind mehrfach außerhalb Österreichs zu finden, beispielsweise in Canossa (Russo et al., 10/19/2022 - 10/21/2022), dem Befestigungswall von Jaén (Spanien) (Pérez-García et al., 2023) und der Burg Hohenecken (Deutschland) (Pattee et al., 2016).

Die gewonnen 3D-Daten aus IBM stellen nicht nur den Ist-Zustand dar, sondern bilden auch die Grundlage für weitere Interpretationen und Visualisierungen, welche für die bauhistorische Interpretation hilfreich sein können. So erhält man am Ende des Bearbeitungsprozesses Daten, die je nach Fragestellung weiter verarbeitet werden können. Es können somit digital Veränderungen vorgenommen werden, um beispielsweise Räume oder ganze Gebäude virtuell in einen früheren Zustand zurückzusetzen und entsprechend zu visualisieren, beispielsweise durch den Austausch von Texturen oder einzelnen Gebäudeteilen auf Basis schriftlicher oder bildlicher Quellen (Arnold, 2023; Priego de los Santos et al., 2026).

1. Einleitung

Insgesamt wird in einer Betrachtung der Forschungsgeschichte ersichtlich: bislang wurde nur begrenzt das volle Potenzial von IBM für die wissenschaftliche Bauforschung und Dokumentation ausgeschöpft. Außerdem gibt es bislang in Österreich keine koordinierten, großräumigen Projekte zur 3D-Dokumentation von Burgen, welche wissenschaftlich aufgearbeitet und präsentiert, sowie öffentlich zugänglich sind. Zudem ist das Schloss Engelstein nicht öffentlich zugänglich. Mit der 3D-Dokumentation wird ein virtueller Zugang in hohem Detailgrad möglich. Die hier präsentierte Vorgehensweise basiert auf einfachen, kostengünstigen Hilfsmitteln, die es im Prinzip jedem Forschenden ermöglichen, präzise, detaillierte, umfassende 3D Modelle einer nahezu vollständigen Burganlage anfertigen zu können.

1.5. Forschungsziele und Fragestellungen

Digitale Technologien eröffnen neue Möglichkeiten in der archäologischen und historischen Bauforschung (Münster et al., 2024). Besonders die bildbasierte 3D-Modellierung (Image Based Modelling) hat sich in den letzten Jahren als kosteneffiziente Methode zur Dokumentation historischer Bauten etabliert (Talha and Fritsch, 2019). Bislang wurde nicht das gesamte wissenschaftliche Potenzial der Methode ausgeschöpft. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, Image Based Modelling exemplarisch auf die Burg Engelstein in Niederösterreich anzuwenden, um dessen Potenzial für interdisziplinäre archäologische Bestandsaufnahmen und Bauforschung mittels einfacher Hilfsmittel zu untersuchen und sichtbar zu machen. Dabei wird ein besonderer Fokus auf archäologische, kunsthistorische und denkmalpflegerische Fragestellungen gelegt.

Ziel der Masterarbeit ist eine vollständige, detaillierte digitale 3D-Dokumentation der Burg Engelstein inklusive der zugehörigen Innen- und Außenbereiche, sowie ausgewählter architekturhistorisch relevanter Details. Die zentralen Forschungsfragen lauten:

- Welche Potenziale bietet Image-Based-Modelling mit einfachen Mitteln für die bauhistorische Analyse einer komplexen mittelalterlichen Burganlage?
- Inwiefern lassen sich sozioökonomische und funktionale Aspekte der Burganlage durch digitale 3D Modelle rekonstruieren oder interpretieren?
- Wie kann das Ergebnis dieser Arbeit für andere Disziplinen sowie die Öffentlichkeitsarbeit (z. B. als digitaler Rundgang) nutzbar gemacht werden?

Ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist die kunsthistorische Untersuchung der Außenwände und der einzelnen Räume, inklusive enthaltener Wandmalereien, Mauerstrukturen, Gefüge, Holzeinbauten, sowie die Georeferenzierung des gesamten digitalen Modells. Das Ergebnis soll zeigen, inwiefern die Methode des Image Based Modelling als eine effiziente und kostengünstige Alternative zu Laserscannern für die digitale Dokumentation

1.5. Forschungsziele und Fragestellungen

und Visualisierung einer kompletten Burganlage von Archäolog:innen ohne umfassende fotogrammetrische Expertenausbildung genutzt werden kann. Die angewandte Methodik soll für Kunsthistoriker:innen, Historiker:innen, und Archäolog:innen ohne hochwertige Scanausrüstung durchführbar und auf andere Gebäude anwendbar und wiederholbar sein. Der generierte digitale Zwilling der Burg kann zudem über diese Arbeit hinaus weiterentwickelt werden, um zusätzliche Möglichkeiten auszuschöpfen, beispielsweise als Werkzeug für virtuelle Rundgänge für die Öffentlichkeitsarbeit. Die Zugänglichkeit des Modells über Online-Plattformen mit Open Access kann zudem einen niedrighschwelligen Zugriff für weiterführende Forschung und Einsicht durch interessierte Laien darstellen. Das Modell dient als genaue digitale Dokumentation des Ist-Zustands der Oberflächen der Gebäude (Stand 2025) für denkmalpflegerische Maßnahmen. Im Zuge der Erstellung des digitalen 3D-Modells werden zudem Orthofotos der Räume erstellt, welche kunst- und bauhistorisch untersucht werden können. Die Arbeit diskutiert den langfristigen Wert der gewonnenen 3D-Daten exemplarisch an der Burganlage Engelstein und stellt nebenbei ein umfangreiches Reservoir an digitalen Datensätzen zu Verfügung, welche für weitere Fragestellungen herangezogen und interdisziplinär weiterverarbeitet werden können.

2. Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden beschrieben. Die Methodik umfasst die Datenaufnahme (terrestrische und drohnengestützte Fotografie der Burganlage und deren umgebender Landschaft), den Datenverarbeitungsprozess (Berechnung der 3D Punktwolken, Modelle und Texturen), sowie das Erzeugen unterschiedlicher Visualisierungen. Hierbei wird auf die benutzte Ausrüstung (Software, Kameras, Drohnen, Speichermedien) und die verwendeten Einstellungen eingegangen.

Der Materialteil umfasst zudem eine bauhistorische Analyse und Bestandsaufnahme der Burganlage. Die Datenakquise, -verarbeitung und Visualisierung setzt eine hierarchische und chronologische Herangehensweise voraus. Der Arbeitsablauf (Abb. 2.1) erfolgte in bewährten Schritten, die sich in der Fotogrammetrie als üblich etabliert haben (Verhoeven, 2017; Luhmann, 2010; Talha and Fritsch, 2019). Die verwendeten Programme umfassen *Agisoft Metashape* und *NUBIGON*.

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling

Grundprinzip und Begriffsdefinitionen

In diesem Kapitel werden die Prinzipien von Fotogrammetrie, Structure from Motion (SfM) und Image Based Modelling (IBM) erklärt. Obwohl diese Begriffe methodisch eng miteinander verknüpft sind, beschreiben sie spezifische, voneinander abgegrenzte Arbeitsprozesse und Konzepte (Bhatla et al., 2012; Luhmann, 2010).

Die **Fotogrammetrie** ist grundlegend die Methodik zur Bildvermessung und -interpretation von dreidimensionalen Objekten anhand der Aufnahme überlappender Fotografien. Ziel ist es, mittels dieser Aufnahmen die exakte Form und Position von Objekten im Raum zu ermitteln. Diese aus der Geodäsie stammende Methode hat ihre Ursprünge im frühen 20. Jh. (Luhmann, 2010; Kraus, 1996).

Structure from Motion beschreibt die computergestützte Rekonstruktion der einzelnen Kamerapositionen. Dieser Prozess umfasst mehrere Arbeitsschritte, die in der Generierung einer dreidimensionalen Punktwolke resultieren. Hierbei kommt in der Regel eine Kombination spezifischer Algorithmen zur Verarbeitung von Bilddaten und Kameraparametern

2. Material und Methoden

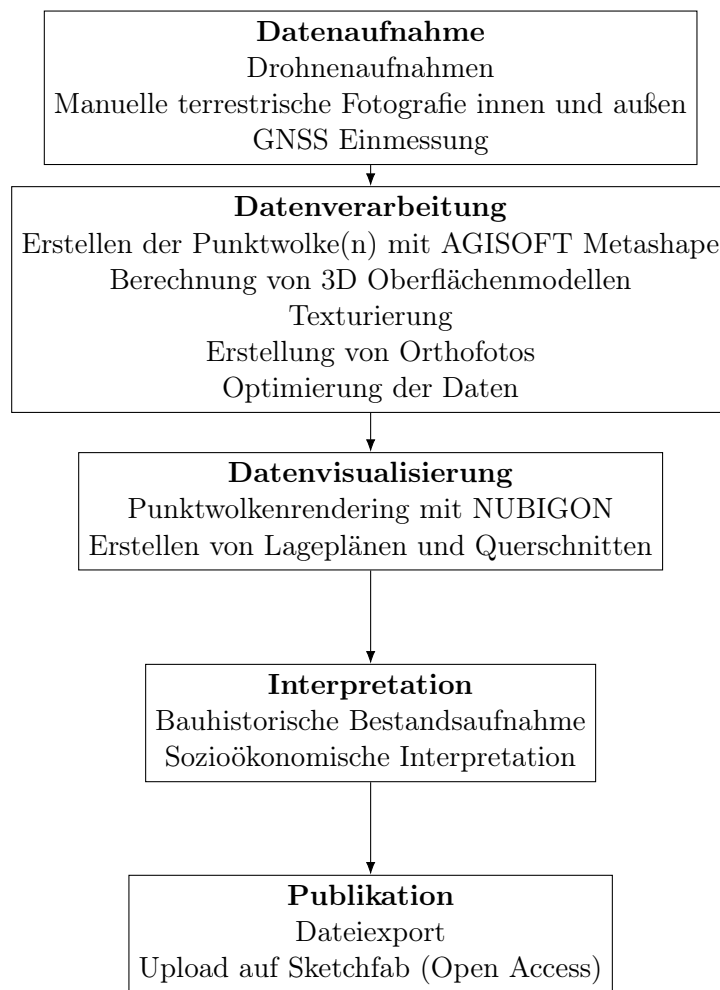


Abbildung 2.1.: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte

innerhalb spezialisierter Softwareumgebungen zum Einsatz (Verhoeven, 2012; Luhmann, 2010; Westoby et al., 2012).

Image Based Modelling bezeichnet die Technik zur Rekonstruktion dreidimensionaler geometrischer Modelle auf der Grundlage zweidimensionaler digitaler Bilder. Methodisch ist dieses Verfahren im Bereich der computergestützten bildgebenden Verfahren (Computer Vision) einzuordnen (Förstner and Wrobel, 2016).

In den vergangenen Jahren haben sich zunehmend System- und Kompaktkameras als kostengünstige Werkzeuge in der Erstellung von fotogrammetrischen 3D-Modellen etabliert (Günther et al., 2023). Bei der Entscheidung zwischen IBM und Laserscanning für den Einsatz bei der 3D-Dokumentation ist eine realistische Einschätzung der benötigten Geschwindigkeit, der verfügbaren technischen Ressourcen und der eigenen technischen

Kenntnisse notwendig (Monterisi et al., 2023; Talha and Fritsch, 2019).

Essenziell für den fotogrammetrischen Aufnahmeprozess ist die räumliche Position und Ausrichtung (Orientierung) der verwendeten Kamera. Darunter sind die Eigenschaften und das Zusammenspiel der inneren sowie äußeren Orientierung der verwendeten Kamera (Verhoeven, 2017) zu verstehen. Während die innere Orientierung die interne Geometrie und die Einstellungen der Kamera beschreibt (beispielsweise Brennweite, ISO, Blende, Verschlusszeit), bezieht sich die äußere Orientierung auf die Position und Ausrichtung (Winkel und Abstand zum Objekt) der Kamera im Raum. Unabdinglich sind hierbei die von der Kamera generierten Metadaten, welche die einzelnen Informationen zu Fotos und verwendeter Kamera beinhalten (Verhoeven, 2017; Luhmann, 2010; Kraus, 1996).

Der Algorithmus der IBM-Software (in diesem Fall *Agisoft Metashape*) nutzt die in den Metadaten der Fotos gespeicherten Kameraparameter als Ausgangsbasis, um die innere und äußere Orientierung zu berechnen. Dadurch werden die Kameras in ihrer Position und Ausrichtung im Raum verortet und die Oberfläche des Objekts dreidimensional erfasst. Im Zuge des Structure from Motion-Prozesses werden die exakten Entfernungen, relativen Kamerapositionen und Orientierungen durch iterative Bildabgleichverfahren in Kombination mit den Metadaten der Einzelfotos ermittelt (Luhmann, 2010; Verhoeven, 2017)."

Merkmalserkennung und -abgleich (Feature Detection und Image-Matching)

Im ersten Schritt analysiert die Software jedes einzelne Foto auf markante, kontrastreiche Bildpunkte (sogenannte Features). Hierfür kommen in der Regel Algorithmen wie SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) zum Einsatz, die Bildmerkmale unabhängig von Skalierung, Rotation oder leichten Unterschieden im Blickwinkel erkennen. Anschließend werden diese Merkmale über den gesamten Bilddatensatz hinweg verglichen, um identische Punkte (Tie Points) in sich überlappenden Aufnahmen zu finden (Luhmann, 2010; Westoby et al., 2012).

Rekonstruktion der Kamerapositionen (Structure from Motion)

Basierend auf den übereinstimmenden Bildpunkten berechnet ein iterativer mathematischer Prozess — die sogenannte Bündelausgleichung (Bundle Adjustment) — die Parameter der Kamera (Kraus, 1996). Dabei werden sowohl die innere Orientierung (Brennweite, Blendenzahl) als auch die äußere Orientierung (Position und Blickwinkel der Kamera im Raum zum Zeitpunkt der Aufnahme) für jedes Bild rekonstruiert. Das Resultat dieses Schrittes ist eine erste, lichte 3D-Punktwolke bestehend aus zahlreichen einzelnen Feature Points, welche die grundlegende Geometrie der Szene sowie die berechneten Kamerapositionen darstellt (Westoby et al., 2012; Luhmann, 2010).

2. Material und Methoden

Im Alignment werden mithilfe eines Algorithmus gemeinsame Bildpunkte ermittelt, die auf mindestens zwei verschiedenen Fotos vorhanden sind. Die mehrfache Präsenz einzelner identischer Bildpunkte wird durch die Überschneidung der einzelnen Fotos sichergestellt (Luhmann, 2010).

Die Summe verschiedener Fotos aus unterschiedlichen Positionen gewährleistet, dass durch die räumlich verteilten Verknüpfungspunkte eine erste dreidimensionale Punktwolke erstellt werden kann. Innerhalb eines lokalen Koordinatensystems können die Punkte räumlich zueinander verortet werden. Die Verbindung zu einem globalen Koordinatensystem kann durch eine minimale Anzahl von eingemessenen Referenzpunkten oder ein GNSS-System der Kamera hergestellt werden (Luhmann, 2010; Agisoft LLC, 2025).

Generierung der dichten Punktwolke (Multi-View Stereo/MVS)

Nachdem die Kameraparameter exakt bestimmt sind, kommen Multiview-Stereo- Algorithmen zum Einsatz. In diesem Schritt werden die Tiefeninformationen zu den einzelnen Pixeln der Fotos berechnet (Depth Mapping) (Furukawa and Hernández, 2015). Mithilfe dieser Informationen wird wiederum eine dichte, hochauflösende 3D-Punktwolke (Dense Point Cloud) erzeugt. In diesem Stadium wird die detaillierte topographische Oberflächenstruktur des archäologischen Befundes oder Objekts sichtbar (Luhmann, 2010; Agisoft LLC, 2025).

Vermaschung (Meshing) und Texturierung

Um ein solides 3D-Modell mit geschlossener Oberfläche zu erhalten, werden die einzelnen Punkte der dichten Punktwolke durch Polygone (in der Regel Dreiecke) miteinander verbunden. Dieser Vorgang wird als Vermaschung oder Meshing bezeichnet. Es entsteht ein geschlossenes 3D-Oberflächenmodell (Mesh bzw. Drahtgittermodell), das die physische Form der aufgenommenen Struktur räumlich repräsentiert. Im abschließenden Schritt wird die Bild- und Farbinformation der ursprünglich verwendeten zweidimensionalen Fotos auf die generierte 3D-Vermaschung projiziert. Durch das Überblenden der verschiedenen Aufnahmen entsteht eine hochauflösende, fotorealistische Textur (Texture Map), welche sich in ihrer räumlichen Ausrichtung an der Ausrichtung der erzeugten Polygone orientiert (Luhmann, 2010; Münster et al., 2024).

2.1.1. Geräteausstattung und Aufnahmeprozess

Als Basis der digitalen 3D-Dokumentation dienten hochauflösende Fotos der gesamten Burganlage. Die Aufnahmen wurden in einem Zeitraum von März bis einschließlich November 2025 an insgesamt sieben Arbeitstagen angefertigt. Der Aufnahmeprozess

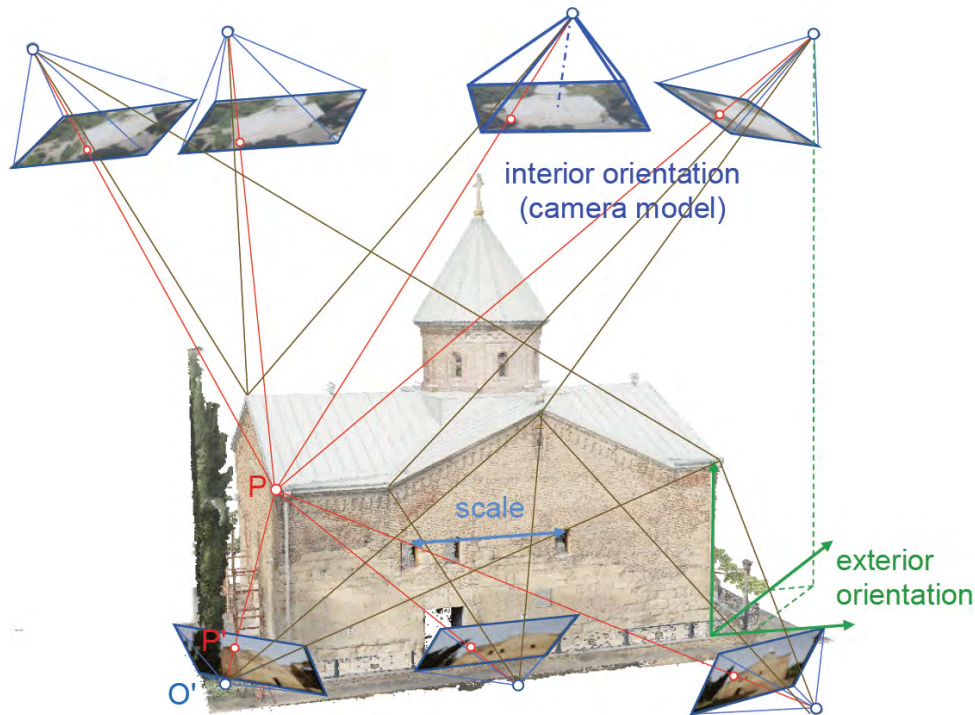


Abbildung 2.2.: Prinzip der fotogrammetrischen Datenaufnahme und Skalierung (Schematische Darstellung). Quelle: (Luhmann, 2010)

fand in drei Schritten statt. Zunächst wurden Luftaufnahmen mit einer Drohne vom Typ *DJI Mini 3 Pro* angefertigt.¹ Mithilfe dieser Aufnahmen gelang es zunächst, ein Übersichts-Gesamtmodell (Außenansicht) der Anlage und der umgebenden Landschaft zu erstellen. Im zweiten Schritt wurden eine überwiegende Anzahl der Innenräume und die Details der Außenwände mit einer *Sony RTX100 iv* und einer *Sony Alpha a6300* Kamera angefertigt (siehe Abb. 2.5). Nach der Begutachtung der ersten Gesamtmodelle folgte in einem dritten Schritt die wiederholte Aufnahme ausgewählter Bereiche der Burg, welche noch detailliert fotografiert wurden. Dies betraf beispielsweise die Fresken im Dachgeschoss, den Theatersaal und den barocken Hochaltar in der Marienkapelle.

Einstellung und Positionierung der Kamera

Alle Fotos in Engelstein wurden mit Autofokus und automatischem ISO angefertigt. Da die Räumlichkeiten der Burganlage stark unterschiedlich ausgeleuchtet sind, mussten die

¹ Die mittels Drohne aufgenommenen Fotos wurden von Immo Trinks zur Verfügung gestellt.

2. Material und Methoden

Kameraeinstellungen geringfügig geändert werden. Die Blendenzahl variierte im Laufe des gesamten Aufnahmeprozesses zwischen $f1.7$ und 5.6 , während die Brennweiten je nach Modell 7 bis 24 mm betrugen. Alle Fotos wurden im Dateiformat .jpeg abgespeichert. Es wurde gezielt davon abgesehen, hochauflöste .raw oder .nef-Dateien zu speichern, da der benötigte Rechenaufwand bei .jpeg-Dateien vergleichsweise geringer ausfällt.

Eine Herausforderung stellte die Anfertigung einer großen Bildmenge in kurzer Zeit bei gleichzeitig stabiler Kamerahaltung dar. Unter Zuhilfenahme eines Carbon-Monopods mit Platzierung auf dem Boden wurden die Fotos mit einer Bildüberlappung von mindestens 60 bis maximal 80 Prozent angefertigt. Grundsätzlich wurde angestrebt, über den gesamten Aufnahmezeitraum hinweg gleiche Kameraeinstellungen beizubehalten, was aufgrund der stark variierenden Belichtungsbedingungen allerdings nicht möglich war. Grundsätzlich ist eine möglichst kontinuierliche Einstellung der Kamera anzustreben, um die Ausrichtung der einzelnen Fotos für den Structure-from-Motion-Algorithmus in Metashape zu erleichtern.

Beim Aufnahmeprozess wurde darauf geachtet, möglichst viele Fotos in kurzer Zeit bei ausreichender Qualität (geeigneter Belichtung und Schärfe, sowie ausreichender Überlappung zwischen den Einzelfotos) anzufertigen. Hierbei wurde auch ein Ausschuss an Fotos akzeptiert, welche für Metashape eine unzureichende Qualität aufwiesen. Bestimmte Bereiche mit einer hohen kunsthistorischen Relevanz wurden im Laufe des Forschungszeitraums nochmals detaillierter und mit eigens mitgebrachter Beleuchtung und Blitz fotografiert. Dazu zählen Räume mit Wandbemalungen und Fliesenböden, beispielsweise der Theatersaal, die Kemenate, der Freskensaal im Dachgeschoss, und die Kapelle. Die Innenräume wurden aus mindestens drei unterschiedlichen Höhen und Winkeln aufgenommen. Die Kamera wurde dabei immer in unterschiedlichen Höhen positioniert und mit dem Kamerasensor auf die gegenüberliegende Fläche ausgerichtet (siehe Abb. 2.4).

Die Übergänge zwischen den einzelnen Räumen und stark verwinkelten, sowie schlecht ausgeleuchteten Korridoren wurden besonders detailliert und mehrfach aufgenommen, um die eindeutige Verortung und Geometrie dieser Übergangszonen beim SfM-Prozess zur Positionierung und Ausrichtung der Kameras in Metashape zu erleichtern. Insbesondere die Türrahmen wurden aus verschiedenen Entfernungen und Winkeln fotografiert.

Als weitere Ausrüstung neben dem Carbon-Monopod der Marke K&F Concept, wurde ein Kamera-Fernauslöser in Form der *Shutter* App verwendet, welche über Bluetooth mit dem Mobiltelefon des Autors verbunden war. Dies erwies sich besonders bei der Anfertigung von Fotos aus der Vogelperspektive und bei der Aufnahme des Brunnenschachtes im Burghof als nützlich, da hier die Kamera weit entfernt vom Körper geführt werden musste.

Umgang mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen

Bei den Aufnahmen wurde auf geeignete und vor allem gleichbleibende Lichtverhältnisse geachtet. Bewölkter Himmel erleichterte den Aufnahmeprozess bei Außenaufnahmen,

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling



Abbildung 2.3.: Ausrüstung zur Anfertigung der Innenfotos und der Skalierung: Sony Alpha 6300, Ersatzakkus, Fernauslöser PROfezzion, Externe SSD Sandisk, Objektiv Sigma 30 mm, Monopod KF Concept, Maßband Sola Tri-Matic 5 m.

2. Material und Methoden

Kamera	Blende	ISO	Brennweite (mm)
DJI Mini 3	1.7	auto	4.5–7
Sony RX100	4.5–5.6	auto	9
Sony Alpha 6300	5	auto	16–24

Tabelle 2.1.: Verwendete Kameras und Parameter

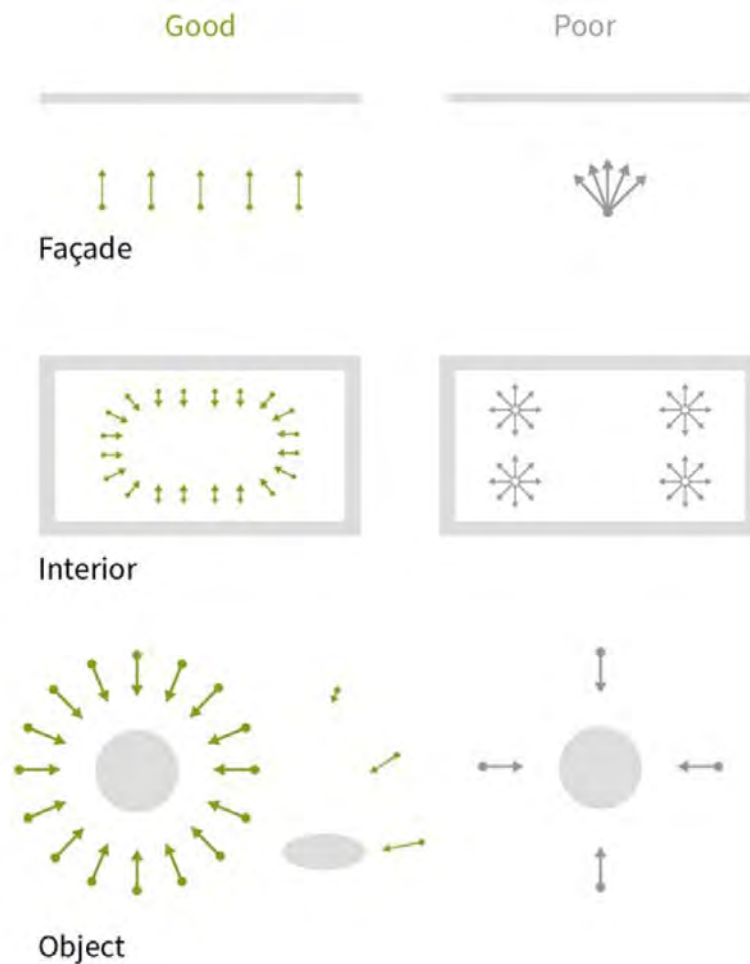


Abbildung 2.4.: Prinzip der Kameraausrichtung: inkorrekte Ausrichtung (links) und korrekte Ausrichtung (rechts) der Kamera bei der Datenaufnahme. Quelle: Historic England, nach Agisoft Metashape 2017.

da durch die Streuung des Sonnenlichts Schlagschatten vermieden werden konnten. Die Lichtverhältnisse in den Innenräumen gestalteten sich sehr unterschiedlich. In den Kellerräumen musste ausschließlich mit Blitz fotografiert werden, während die oberen Räume, beispielsweise der Rittersaal, durch gestreutes Tageslicht gut ausgeleuchtet waren. Auch

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling



Abbildung 2.5.: Aufnahmeprozess: Sony a6300 mit Monopod.

im Dachstuhl mussten zum Teil Blitz und Beleuchtung eingesetzt werden (siehe Abb. 2.6).

Innerhalb von insgesamt rund 17,5 Arbeitsstunden konnten alle Innenräume und die bodennahen Abschnitte der Außenmauer mit insgesamt 8 087 Fotos erfasst werden. Die vorhandene Einrichtung wurde nicht verändert, da es sich um eine Dokumentation des aktuellen Ist-Bestands handelt. Lediglich die zu ihrem Schutz mit Textil bedeckten Bodenfliesen in drei Räumen wurden temporär freigeräumt, um die dortigen Bemalungen und den allgemeinen Zustand der Fliesen zu dokumentieren.

2. Material und Methoden



Abbildung 2.6.: Zur Ausleuchtung des Theatersaals verwendeter Baustrahler und Akku.

2.1.2. Datenverarbeitung und 3D-Modellierung

In diesem Abschnitt wird die Verarbeitung der gewonnenen Daten und Generierung des digitalen 3D-Modells beschrieben. Dies umfasst das Ausrichten der Fotos und das Berechnen der Punktwolke, das Erzeugen der Vermaschung und der Texturierung, sowie die Skalierung und Georeferenzierung.

Ausrichtung der Fotos und Berechnen der Tie Points

Für die Erstellung des digitalen 3D-Modells wurde die Software *Agisoft Metashape Professional* (Version 2.2.1) verwendet. Grundsätzlich wurden in den einzelnen Arbeitsschritten bis auf wenige Ausnahmen die von der Software vorgeschlagenen Einstellungen zur Durchführung belassen (siehe Tab. 2.2). Es war ohne weitläufige Änderungen der Einstellungen möglich, ein Modell zu erzeugen, welches die gesamte Burganlage und die umgebende Landschaft flächendeckend in ihren gesamten Ausmaß, ihrer Textur und den einzelnen Räumen abbildet.

In der verwendeten Software Metashape können die Bilddaten in sogenannte *Chunks* gegliedert werden. Diese stellen gebündelte Verarbeitungspakete dar, die beliebig dupliziert, untergliedert und umbenannt werden können. Im Laufe des Bearbeitungsprozesses wurde darauf geachtet, nach jedem elementaren Arbeitsschritt einen neuen Chunk mittels Duplikation zu erzeugen. Somit waren bei einem Fehlschlag oder Datenverlust die ursprünglichen Daten weiterhin gesichert. Ebenso wurden gleichzeitig Sicherungskopien

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling

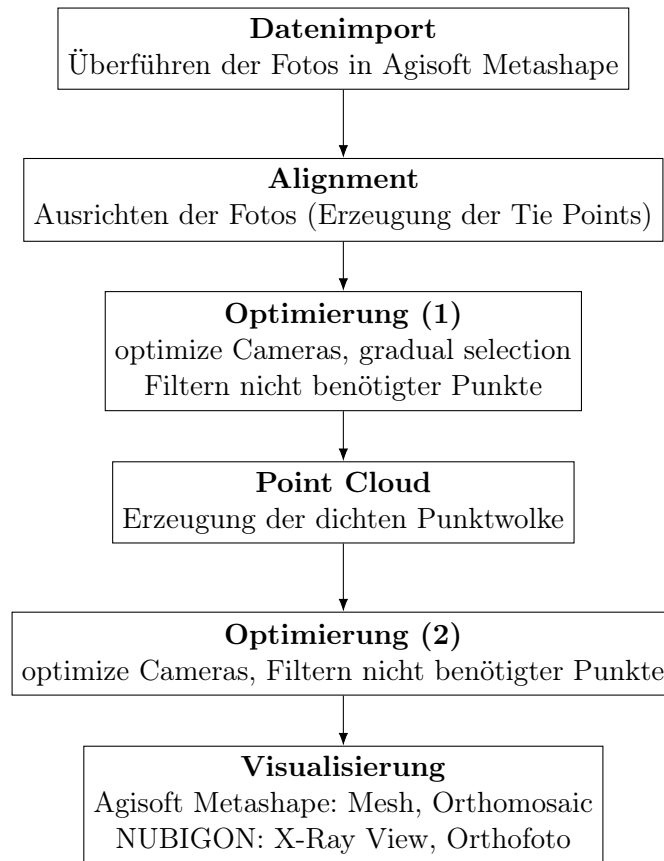


Abbildung 2.7.: Schematische Darstellung der IBM-Arbeitsschritte.

des gesamten Projekts angelegt.

Zu Beginn werden die benötigten Bilddaten in die Software importiert und somit der erste Chunk generiert. Hierbei werden gezielt alle Fotos in einen *Chunk* importiert. Mittels *File* → *Import Video* können Videos hinzugefügt werden, aus denen anschließend mit einem automatisierten Prozess durch die Software Einzelbilder herausgerechnet werden können (Agisoft LLC, 2025).

Mittels *Workflow* → *Align Photos* wird schließlich das Alignment (die Ermittlung der Position einzelner Bildpaare) durchgeführt. Hier schlägt Metashape Version 2.2.1 bereits Einstellungen vor, welche übernommen werden können (siehe Tab. 2.2).

2. Material und Methoden

Parameter	Einstellung
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	Yes

Tabelle 2.2.: Metashape: Einstellungen für das Alignment.

Optimierung der Kamerapositionen und -ausrichtung und Bereinigung der lichten Punktwolke

Nach Abschluss des Alignments werden die Tie Points weiter bearbeitet und gefiltert, um später eine höhere Genauigkeit und Sauberkeit des Modells zu erzielen. Hierzu können mehrere Funktionen zum Filtern der Punkte angewandt werden. Bei Begutachtung der Tie Points wurde ersichtlich, dass mehrere Räume nicht vollständig im Alignment sichtbar waren. Dies lag an einer zu geringen Überlappung gemeinsamer Bildpunkte. Auch konnten nicht alle Drohnenfotos im ersten Durchgang des Alignments erfasst werden.

Eine Hauptursache stellte hier die Veränderung der Vegetation im Laufe des Aufnahmeprozesses dar. Dies sorgte dafür, dass der Algorithmus unterschiedliche Bilder des selben Abschnittes der Burg aus verschiedenen Jahreszeiten nicht direkt angleichen konnte. Auch den mit einer Eisdecke bedeckten Teich konnte der Algorithmus nicht mit dem offenen Teich im Frühling verknüpfen.

Diesem Problem kann zum Großteil mit händisch eingefügten Passpunkten entgegengewirkt werden. Dazu müssen markante Punkte auf mehreren Fotos unterschiedlicher Datensätze mit ausgewählten Markierungspunkten versehen werden (siehe Abb. 2.8). Die Marker werden an klar identifizierbaren Stellen, beispielsweise Fensterecken, positioniert. Wichtig dabei ist, dass ein namensgleicher Marker sowohl auf verarbeiteten als auch nicht verarbeiteten Fotos platziert wird. Dies ist in Metashape in der Bedienfläche *Photos Pane* anhand der Bemerkung *N/A* (Not Aligned) erkennbar. Die betreffenden Fotos werden ausgewählt und mit der Funktion *Align selected Photos* verarbeitet. Durch Platzierung mehrerer Marker kann eine Verbindung zwischen verarbeiteten und nicht verarbeiteten Fotos hergestellt werden, wodurch bislang fehlende Räume und Oberflächen in den Tie Points sichtbar werden.

Anschließend wird mit der Kameraoptimierung (Funktion *Optimize Cameras*) die Genauigkeit der lichten Punktwolke verbessert. Die Kameraoptimierung dient dazu, die

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling

berechneten Kameraparameter sowie die Positionen der Verknüpfungspunkte in der lichten Punktwolke zu verfeinern. Ziel ist es, Fehler in der räumlichen Rekonstruktion zu minimieren und Ungenauigkeiten bei der ersten Ausrichtung (Alignment) auszugleichen. So werden Fehler in der räumlichen Projektion der Bildpunkte reduziert. Der Algorithmus der Software verwendet die unterschiedlichen Daten in einem Zusammenspiel. Berücksichtigt werden die unterschiedlichen Genauigkeitsgrade von Drohnen-GPS und terrestrischen Festpunkten in einem gemeinsamen Ausgleichungsprozess. Eine erfolgreiche Optimierung ist Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige dichte Punktwolke und eine möglichst fehlerfreie Vermaschung.

Ein wichtiger Schritt bei der Erstellung des 3D Modells stellt die Bereinigung der Tie Points dar. Unerwünschte Punkte, die Rauschen im Modell erzeugen können, werden nach bestimmten Kriterien gefiltert und aus der Punktwolke gelöscht. Mit dem Werkzeug *gradual selection* und manueller Auswahl können beispielsweise *reconstruction uncertainty* und *projection accuracy* und *reprojection error* angewandt werden. Diese Bezeichnungen beziehen sich auf den Genauigkeitsgrad der Projektion der betreffenden Bildpunkte. Durch Schieben des Reglers werden die Empfindlichkeit des jeweiligen Filters angepasst. Das Hauptkriterium, nach dem sich die Art und das Ausmaß der gewählten Filterung richtet, ist dessen Auswirkung auf die Punktwolke (die Anzahl der entfernten Punkte), welche sofort in einer Vorschau angezeigt werden. So ist sofort eine Einschätzung des notwendigen Ausmaßes der Filterung möglich und entsprechende Tie Points können gelöscht werden. Bei Anwendung der Filter wird darauf geachtet, einen möglichst hohen Schwellwert zu verwenden und die Filterung wiederholt anzuwenden. Vor jedem weiteren Durchgang wird die neu gefilterte Punktwolke aus unterschiedlichen Blickwinkeln untersucht. Gelöschte Punkte können nach Abschluss der Filterung nämlich nicht mehr wiederhergestellt werden. Durch die wiederholte Anwendung einer sanften Filterung ist es also möglich, sich schrittweise und mit Vorsicht an eine bestmöglich gesäuberte Punktwolke heranzutasten.

Das Entfernen unerwünschter Tie Points stellt nicht nur sicher, dass die anschließend generierte Punktwolke sauberer und exakter ist, es erspart auch Rechenzeit, da keine weiteren Daten auf Basis unnötiger Tie Points erstellt werden, wodurch weiteres Rauschen und somit Störungen im Modell entstehen könnten. Zudem wies die Punktwolke Punkte auf, die aus den Drohnenfotos erzeugt wurden und von Metashape entweder weit fernab der erfassten Landschaft oder im luftleeren Raum positioniert und somit offensichtlich falsch projiziert wurden. Diese wurden zunächst nicht zur Gänze vom Filter erfasst und manuell mit dem Auswahlwerkzeug entfernt.

Erzeugung der dichten Punktwolke

Abschließend wird die dichte Punktwolke in Metashape mit entsprechenden Einstellungen erzeugt (Abb. 2.5). Hierzu werden mehrere Varianten generiert: ein Gesamtmodell in mittlerer Auflösung und ein detaillierteres Model des Burg- und Schlossgebäudes in hoher

2. Material und Methoden



Abbildung 2.8.: Marker zum manuellen Alignment individueller Drohnenfotos (Screenshot). In grün: manuell platzierter Passpunkt; weiß: von Metashape erstellter Passpunkt (inkorrekt und daher nicht verwendet).

Auflösung. Hierzu wird ein neuer Chunk angelegt. Bei der Erzeugung der dichten Punktwolke werden dreidimensionale Tiefeninformationen zu den einzelnen Bildern (Kameras) ermittelt und entsprechende Dateien generiert. Diese werden im Chunk angeführt und als *Depth Maps* bezeichnet. Diese bilden später auch die Grundlage für die Vermaschung.



Abbildung 2.9.: Dichte Punktwolke des Dachgeschosses (Freskensaal).

Nach der Erzeugung der dichten Punktwolke folgt ebenfalls ein Arbeitsschritt zur Säuberung und Steigerung der geometrischen Genauigkeit. Als weiteres Kriterium zur Optimierung der dichten Punktwolke dient der Wert *Point Confidence*, welcher mit einem Wert von 1 bis 255 angegeben wird und die räumlich korrekte Positionierung eines Punkts innerhalb der Point Cloud bewertet. Der Wert gilt als Indikator dafür, wie stark die Tiefeninformationen (Depth Maps) einen Punkt in seiner räumlich berechneten Positionierung bestätigen. Der Wert steht somit für die Qualität der geometrischen Stabilität des Modells. Hierzu werden mithilfe der Funktion *Point Cloud > Filter by Point Confidence* die niedrigsten Werte (1 bis 2) gefiltert und die entsprechenden Punkte gelöscht. Die gemäß der Point Confidence am unsichersten positionierten Punkte sind klar erkennbar, da sie in Form einer graduellen Wärmefarbskala dargestellt werden, welche von rot (sehr unsicher = 1) bis blau (sehr sicher = 255) reicht. (siehe Abb. 2.10).

Die resultierende Punktwolke repräsentiert eine weitaus dichtere Visualisierung als die lichte Punktwolke des Alignments und baut auf diesem auf. Sie stellt im Rahmen dieser Arbeit die elementare Darstellungsmethode zur Visualisierung und Untersuchung der einzelnen Gebäudebestandteile im Zuge der Bauaufnahme und Interpretation dar.

2.1.3. Skalierung und Georeferenzierung

Während ein fotogrammetrisches 3D-Modell bei korrekter Datenaufnahme und entsprechender Optimierung und Verarbeitung eine weitgehend genaue Geometrie aufweist, ist es jedoch nicht automatisch im globalen Koordinatensystem georeferenziert. Daher sollte

2. Material und Methoden

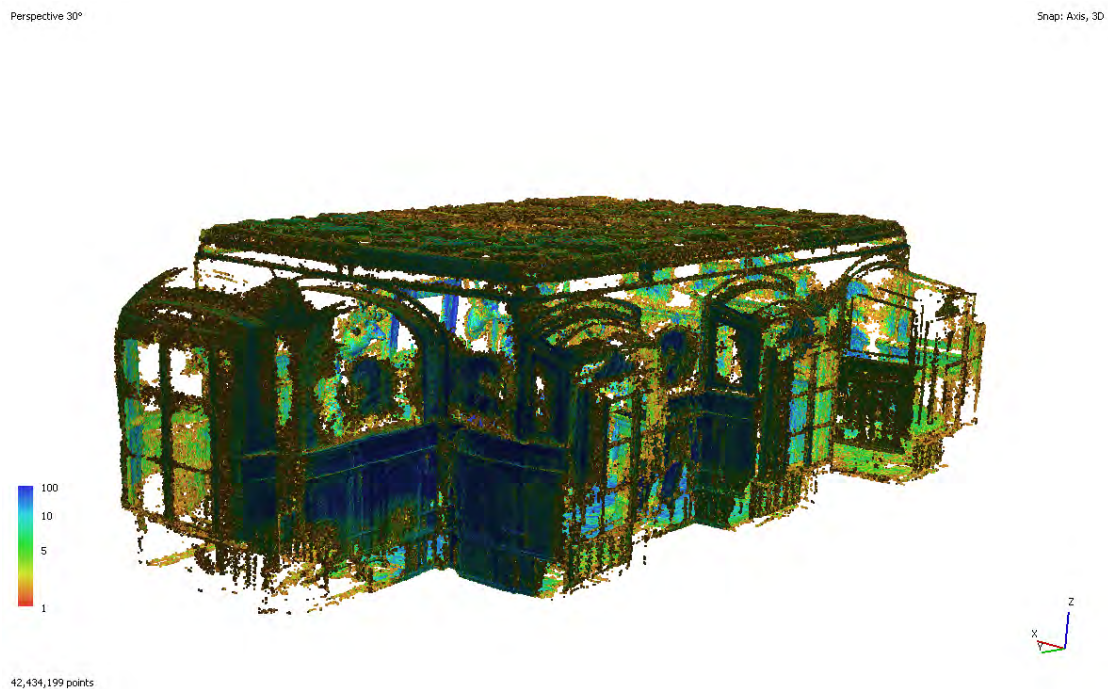


Abbildung 2.10.: Metashape: Point Cloud (Enzesfeld) als Farbskala mit Point Confidence 2 bis 100.

eine Kontrolle der Skalierung, und gegebenenfalls eine Korrektur der Skalierung mittels bekannter Maße erfolgen (Sou, 2016).

Zunächst ist eine Deckungsgleichheit der erzeugten Orthofotos mit der darunter liegenden Basemap zu beobachten, welche durch die GNSS-Koordinaten der Drohne gegeben ist. Metashape verfügt über die Möglichkeit Distanzmessungen im Modell vorzunehmen. Es wurden zur Kontrolle der Genauigkeit der Skalierung unter anderem die Längen der Außenwände des östlichen Schlosstraktes, sowie die Ausdehnung des Modells anhand markanter Punkte sowohl in der Austria Basemap als auch im digitalen Modell abgemessen und die Maße anschließend verglichen. Grundsätzlich war zwischen den aus dem digitalen Modell ermittelten Raummaße und den Vergleichswerten ein Fehler im zweistelligen Zentimeterbereich auf die längste gemessene Distanz von knapp 250 Meter festzustellen (siehe Tab. 2.6). Hierbei werden bewusst längere Distanzen herangezogen, um eine Fortpflanzung von Messfehlern auf kurzer Distanz auf lange Distanz zu vermeiden (siehe 2.6). Die längste Distanz zwischen zwei Gebäuden mit markanten Merkmalen boten die Schmiede im Nordwesten und der Schüttkasten im Südosten des Gesamtmodells. Es ist anzumerken, dass eine Messung von Distanzen im zweistelligen Meter-Bereich vor Ort aufgrund der zu erwartenden Messfehler unter Verwendung des Maßbands nicht durchgeführt wurden.

Die Georeferenzierung des Modells erfolgte auf Basis der Drohnenfotos. Die verwendete

2.1. Structure from Motion und Image Based Modelling

Drohne des Typs *DJI Mini 3* verfügt über einen integrierten GNSS-Empfänger mit Ausgabe der Positionsinformation im Koordinatenbezugssystem WGS 84. Die Positionsdaten der Drohne sind in den Metadaten jedes einzelnen Fotos gespeichert und werden somit auch bei der Berechnung der Orthofotos und des 3D-Modells verwendet (DJI, 2022b). Dies stellte einen großen Vorteil für eine relativ genaue effiziente Georeferenzierung des Modells dar, da so eine separate Referenzierung mit zusätzlichen geodätischen Vermessungsgeräten, und somit ein weiterer Arbeitsschritt mit entsprechender Einschulung und Ausrüstung, nicht mehr zwingend notwendig war.

Um die GNSS-Daten der Drohnenfotos in das Alignment und die Georeferenzierung miteinbeziehen zu können, mussten diese im Bedienfeld *Reference* ausgewählt werden. Hierbei wiesen einige Drohnenfotos eine inakzeptable Abweichung (Fehler in Metern) auf. Da eine Abweichung in der Positionierung seitens der Drohne zu erwarten war, wurden alle Drohnenfotos mit einem Fehler unter drei Metern ausgewählt. Abschließend wurde, wie zuvor bei der Skalierung, die Funktion *Tools > optimize cameras* eingesetzt, um die definierten Parameter in die Neuausrichtung der Tie Points einzubinden.

Grundsätzlich sind über den österreichischen Kataster² geodätische Festpunkte abrufbar, welche sich am und um das Gelände der Burg befinden. Die Fahnenstange an der Spitze des Bergfrieds von Engelstein wurde in den Jahren 1976 und 1994 geodätisch erfasst. Laut dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen wurde das untere Ende der Fahnenstange, ergo die Dachspitze des Bergfrieds, sowie die Spitze der am Bergfried angebrachten Fahnenstange im Koordinatensystem MGI/GK-Meridian 34, EPSG-Code 31256, eingemessen (für Eich- und Vermessungswesen, BEV). Von der Verwendung dieser vorhandenen Punkte wurde jedoch abgesehen, da für eine korrekte Georeferenzierung mittels Festpunkten mehrere Punkte (mindestens drei) notwendig wären, außerdem wurde an der Turmspitze lediglich die Höhe gemessen. Bei den eingemessenen Festpunkten im Kataster handelt es sich zudem um ein anderes Koordinatensystem als dem der Drohne.

Die GNSS-Informationen der Drohnenbilder wurden für die Georeferenzierung präferiert, da im Zuge der Fragestellung dieser Arbeit gezielt eine Positionierung ohne RTK-GNSS angestrebt wurde. So sollte die verwendete Ausrüstung lediglich eine Drohne und eine digitale Systemkamera umfassen um den Material- und Zeitaufwand möglichst gering zu halten. Es ist anzumerken, dass jederzeit nachträglich eine Einmessung der Burganlage mit einem differentiellen GNSS-Empfänger möglich ist, um eine genauere Positionierung zu erreichen.

Das Ergebnis ist also ein digitales 3D Modell, das ausschließlich mithilfe von Drohnen-GNSS-Daten georeferenziert wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass über die große Anzahl an Drohnenfotos eine Mittelung des individuellen GNSS Fehlers auftritt, was zu einer Georeferenzierung im Sub-Meter-Bereich führt.

Die georeferenzierten Daten in Form der Vermaschung und der Punktwolke konnten

² <https://kataster.bev.gv.at>

2. Material und Methoden



Abbildung 2.11.: Georeferenziertes Orthofoto in Agisoft Metashape.

in Agisoft Metashape zunächst in grob qualitativer Art und Weise kontrolliert werden, um einen groben Fehler in der Georeferenzierung zu vermeiden. Dies erfolgte, indem in Metashape eine Karte im Hintergrund eingeblendet wurde (siehe Abb. 2.11). In der Abbildung ist zunächst ersichtlich, dass die Punktwolke und die eingeblendete Basemap grob deckungsgleich sind. Dies ist vor allem durch die Straßenverläufe erkennbar. Eine detaillierte Analyse möglicher Fehler in der Georeferenzierung des 3D Modells wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen, da sich hier die Fragestellung auf den archäologischen und bauhistorischen Mehrwert und das Potenzial des Modells für Archäologie und Denkmalpflege konzentriert. Es ist jederzeit eine genauere Georeferenzierung des Modells mittels Integration eingemessener Kontrollpunkte (Ground Control Points) möglich.

2.1.4. Erzeugen von Vermaschung und Texturierung

Als nächster Schritt folgt die Erstellung eines flächig geschlossenen 3D-Modells durch Vermaschung der einzelnen Punkte der Punktwolke. Die Erstellung des Modells erfolgt mit der Funktion *Workflow > Build Mesh*. Auch hier werden die empfohlenen Einstellungen seitens der Software verwendet (siehe Tab. 2.7). Das Ergebnis ist ein flächig geschlossenes Gittermodell, das noch in einem separaten Arbeitsschritt mit Texturen auf Grundlage der Fotos versehen werden muss. Die Software verwendet hierfür die selben Fotos, die bereits für die vergangenen Arbeitsschritte verwendet wurden. (Agisoft LLC, 2025).



Abbildung 2.12.: Enzesfeld: Texturierte Oberfläche des Speisezimmers mit Wandvertäfelung.

Die Texturierung des Oberflächengitters wurde mit der Funktion *Build Texture* erstellt. Hierbei werden ebenfalls die vorgegebenen Einstellungen von Metashape verwendet (siehe Abb. 2.8). Das Ergebnis ist schließlich eine Bilddatei, welche die gesamte Texturierung des Modells enthält, und gegebenenfalls separat gespeichert und nachbearbeitet werden kann. Im Laufe des weiteren Bearbeitungsprozesses ist dabei zu beachten, dass die Verknüpfung der Texturierung und des Oberflächengitters aufrecht erhalten bleiben (Agisoft LLC, 2025).

2.1.5. Erzeugen von Orthofotos

Die Orthofotos der gesamten Burganlage und deren Umgebung wurden in Agisoft Metashape mithilfe der Funktion *Build Orthomosaic* erstellt. Von zentraler Bedeutung sind die Orthofotos der gesamten Burganlage. Diese Ansichten wurden als georeferenzierte Bilddatei im .TIFF Format exportiert und anschließend mithilfe von QGIS mit Maßstäben versehen und in die *Austria Basemap* eingebettet. Dieses Bildformat enthält alle notwendigen Geodaten für die Weiterverarbeitung in entsprechender Software und ist nicht verlustbehaftet, anders als beispielsweise das JPEG-Dateiformat (Borisov et al., 2020). Die Metadaten der exportierten Orthofotos enthalten die notwendigen Koordinaten für die Georeferenzierung und Skalierung in diversen geografischen Informationsprogrammen.

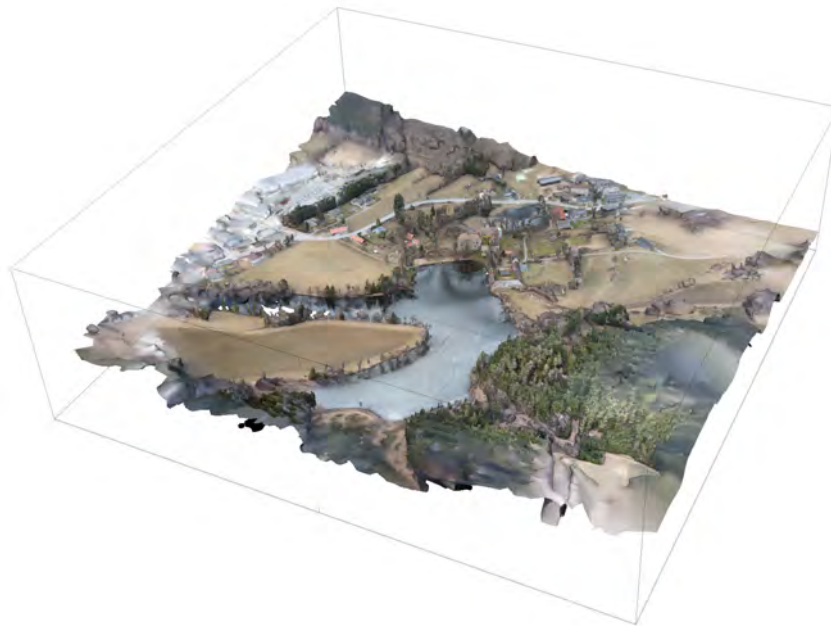


Abbildung 2.13.: Außenbereich: erzeugte Vermaschung.

2.1.6. Erzeugen von Visualisierungen der Punktwolke

Für die Erzeugung weiterer Visualisierungen, wie etwa der röntgengleichen „X-Ray“-Darstellungen, von Querschnittplänen und Ansichten einzelner Stockwerke, wurde die Punktwolkenvisualisierungssoftware *NUBIGON* verwendet. Dieses Programm bietet mehrere Möglichkeiten, 3D Punktwolken zu visualisieren und ist speziell darauf ausgerichtet, besonders große Datenmengen verarbeiten zu können (Nubigon, 2025).

Zur Weiterverarbeitung musste die Point Cloud aus Metashape exportiert und in die Software *NUBIGON* geladen werden. Unerlässlich war hierzu in den Einstellungen die Wahl des korrekten Koordinatenbezugssystems. Im Falle von Engelstein war dies WGS 84, in welchem die Drohnenfotos aufgenommen wurden. Für eine leichtere Verarbeitung musste die Punktwolke zudem herunterskaliert werden. Der Export der Punktwolke aus Metashape erfolgte im .las-Dateiformat. In *NUBIGON* wurde nach dem Import der dichten Punktwolke eine .octree-Datei erzeugt, um eine möglichst effiziente Visualisierung des riesigen Datensatzes zu erlauben. Anschließend konnte die Punktwolke visualisiert werden.

In *NUBIGON* können unterschiedliche Visualisierungen der Burganlage erzeugt werden. Der Fokus bei der Bearbeitung liegt hierbei auf den Innenräumen. So werden Querschnittspläne aus der Vogelperspektive erstellt und Ansichten durch die Burganlage hindurch generiert. Die Software betont im *X-Ray*-Modus visuell die Kanten, was sich

in der starken Akzentuierung der Gebäudekanten, Fenster und Türen, sowie Gewölbe bemerkbar macht. Besonders die röntgenähnliche Darstellung veranschaulicht Raumzusammenhänge auf eine leicht nachvollziehbare Weise.

2.2. Bauforschung

In diesem Abschnitt soll die Methodik erläutert werden, mit der mittels des 3D-Modells des Gebäudekomplexes eine moderne, detaillierte und genaue Bestandsaufnahme der Burg Engelstein vorgenommen wird, mit besonderem Fokus auf herausragende kunsthistorische Details, wie Wandmalereien und die renaissancezeitlichen Kassettendecke welche sich heute im Schloss Enzesfeld befindet.

Die Bauforschung, insbesondere in Form von bauhistorische Bestandsaufnahmen, liefert eine wichtige Grundlage für konservatorische und archäologische Maßnahmen. Dies betrifft insbesondere die Abschätzung von Kosten sowie das Ausmaß und die Verortung von Schäden (Bundesdenkmalamt, 2018). Insbesondere Raumbücher sind für historische Gebäude eine übersichtliche Grundlage, um gezielt Schäden abzuschätzen und anschließend dementsprechende konservatorische Maßnahmen einzuleiten. Auch die systematische Datierung unterschiedlicher Bauphasen kann im Rahmen der Bauaufnahme betrieben werden (Wangerin, 1992; Bundesdenkmalamt, 2018).

Die Untersuchung der strukturellen Beschaffenheit und Bauart eines Gebäudes stellt ein wichtiges Element einer Bauaufnahme dar. Infolgedessen gilt es, diese Beschaffenheiten grafisch darzustellen. Hierzu zählen die Mauern, Maueröffnungen, Fundamente, die Böden einzelner Niveaus, (Zwischen-)Decken, und Gewölbe. Schnitte in horizontaler Richtung erfolgen meist einen Meter über dem Gelniveau im jeweiligen Stockwerk. Um Aufsichten zu zeichnen, können Orthofotos als Grundlage dienen. Im archäologischen Sinne sind die baulichen Elemente eines Gebäudes als stratigraphische und somit einzeln datierbare Einheiten zu verstehen, deren Zusammenhang es zu begreifen gilt (Arnold, 2023).

Auch trotz einer bestehenden Dokumentation eines Baubestands kann oftmals eine neuerliche Bauaufnahme und Erfassung aktueller Daten ratsam sein, da alte Dokumentationen Ungenauigkeiten aufweisen können, oder sich die Raummaße und -zustände in der Zwischenzeit verändern haben können (Giebeler et al., 2008).³

2.2.1. Dreidimensionale Bauaufnahme des Gesamtgebäudes

Mithilfe des 3D-Modells und der daraus extrahierten georeferenzierten Orthofotos wird eine maßstabsgetreue Bauaufnahme aller Innenräume der mittelalterlichen Burg erstellt.

³ Als Unterstützung zur Erstellung der Bauaufnahme und des Raumbuches wurden die Richtlinien für Bauhistorische Untersuchungen des Österr. Bundesdenkmalamtes, 2. Fassung – 1.10.2018 herangezogen.

2. Material und Methoden

Das Diskussionskapitel umfasst die Untersuchung und Interpretation ausgewählter Räume, basierend auf vorab definierten kunsthistorischen und bauhistorischen Kriterien. Detaillierte Raumbeschreibungen aller übrigen Räume sind im Appendix (Kapitel A) zu finden.

Die bauhistorische Bestandsaufnahme umfasst eine Auflistung aller kunsthistorischen und archäologischen Merkmale der Räumlichkeiten mit einer detaillierten Zustandsbeschreibung, sowie der Angabe der Raummaße. Zu den erfassten kunsthistorischen Merkmalen zählen Wand-, Gewölbe-, und Deckenmalereien, sowie hölzerne Einbauten wie Fenster- und Türrahmen, Tore, Möblierung wie etwa Holzbänke und Statuen, sowie Pilaster, Säulen, Gewölbe und Gewölberippen, Bögen, Wandnischen, Fenster und Zinnen, Schießscharten, Fliesen- und Ziegelböden.

Vor allem der barocke Hochaltar in der Marienkapelle der Burg Engelstein stellt einen großen Teil der Bestandsaufnahme dar. Die Bauaufnahme besteht zudem aus Orthofotos aller Innenwände, sowie von Böden und Decken, beziehungsweise Gewölben. Methodisch gliedert sich die Raumbeschreibung in: Raumbezeichnung, Gebäudeteil (beispielsweise Hauptburg, Schlosstrakt, etc.), Stockwerk, Raummaße (aus dem 3D-Modell entnommen), Lagebeschreibung und Lageplan, Raumbeschreibung und Zustandsbeschreibung. Gegebenenfalls folgt auch eine Interpretation, beispielsweise zur Raumnutzung, die durch architektonische Bestandteile oder Raumform angenommen werden kann, oder durch schriftliche Quellen belegt ist. Dann folgen orthografische (perspektivisch entzerrte) und perspektivische Ansichten, die allesamt auf Basis des digitalen 3D-Modells generiert wurden.

2.2.2. Digitale Repatriierung der Kassettendecke und Wandvertäfelung

Um die Erhaltung der Burg Engelstein zu finanzieren, wurde die Holzvertäfelung des Rittersaals (heute als Ausstellungsraum für die Glaserzeugnisse der Fa. Lobmeyr genutzt) an Schloss Enzesfeld verkauft (Luchner, 1978). Schloss Enzesfeld, zwischen Baden und Wiener Neustadt gelegen, ist als ehemaliger Wohnsitz der Familie Rothschild von historischer Bedeutung (Donin et al., 1955). In den Räumlichkeiten von Enzesfeld wurden besonders im frühen 20. Jh. zahlreiche internationale Gäste von hohem politischem Rang empfangen, darunter Bundespräsident Miklas und Bundeskanzler Schuschnigg und Edward, Herzog von Windsor (Sandgruber, 2018).

Ein interessanter Aspekt des digitalen 3D-Modells der Burg Engelstein stellt die Möglichkeit der virtuellen Repatriierung der Kassettendecke von Enzesfeld in das Modell von Engelstein an ihren ursprünglichen Ort dar. Die hölzerne Vertäfelung wurde hierfür am aktuellen Standort im Schloss Enzesfeld innerhalb einer Stunde fotogrammetrisch erfasst. Insgesamt wurden aus 300 Fotos und 8 Videos in Metashape eine dichte Punktwolke bestehend aus knapp 17 Mio. Punkten generiert. Das Modell beinhaltet die heutige Einrichtung inklusive Tisch, Sessel, Teppich und elektrifiziertem Luster. Diese Einrichtung spiegelt

nicht die Originaleinrichtung aus Engelstein wider. Um eine Visualisierung eines aktuell in Benutzung befindlichen Raumes zu erreichen, wurde die Einrichtung und Dekoration gezielt im Raum belassen.

Die virtuelle Repatriierung der Kassettendecke wurde mithilfe von Agisoft Metashape und Adobe Photoshop durchgeführt. Hierzu wurden Abbildungen des fertig gerenderten Modells von Enzesfeld erzeugt und mit Photoshop an die Wand des Rittersaals in der Burg Engelstein virtuell angedockt. Die korrekte Positionierung der Wandverkleidung an der Wand des Rittersaals war anhand des physischen und optischen Abdrucks rasch ersichtlich. Zum einen sind im Bereich der Tür die hölzernen Einbauten in Form von Balken, sowie die Umrisse einer unbemalten Zone sichtbar, an welcher der massive, plastisch dekorierte Holzrahmen der Eingangstür die Wand bedeckte.

Die Skalierung des Modells Schloss Enzesfeld erfolgte durch die Abmessung der korrespondierenden Abdrücke an der Wand des Rittersaals in Engelstein. Hierzu wurde die maximale horizontale Ausdehnung des Giebels der Holzverkleidung der Wandverkleidung verwendet. Es wurden mittels der Längenmessfunktion in Agisoft Metashape die Maße im Modell von Engelstein entnommen und eine Skalierung zwischen den beiden Enden des Giebels in Enzesfeld erstellt. Durch Kombination der beiden korrekt skalierten Datensätze in Adobe Photoshop wurde eine Visualisierung des Rittersaals mit seiner ehemals vorhandenen Holzverkleidung erstellt. Die Wand- und Deckenverkleidung wurde nach der korrekten Skalierung in verschiedene Module aufgeteilt, da die einzelnen Teile der Decken- und Wandverkleidung in ihrer Zusammensetzung in Enzesfeld und der Rittersaal in Engelstein nicht passgenau sind (siehe Abb. 2.14). Bei der Abmessung im digitalen Modell wurde deutlich: die Deckenfläche des Rittersaals in Engelstein beträgt $68,51 \text{ m}^2$, während die Kassettendecke $74,20 \text{ m}^2$ groß ist, was einer Differenz von $5,69 \text{ m}^2$ entspricht. Dieser Größenunterschied zwischen den beiden Flächen ist zu groß, als dass er durch einen Fehler in der Skalierung der beiden Modelle verursacht worden sein kann. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Räume eindeutig unterschiedlich dimensioniert sind und daher ein umfassender Umbau der Kassettendecke vor dessen Einbau in Enzesfeld stattgefunden haben muss.

2.2.3. Digitale Repatriierung der Marienstatue

Neben der hölzernen Kassettendecke und Wandvertäfelung des Rittersaals wurde im Zuge dieser Arbeit auch die Marienstatue digital repatriert. Es ist anzunehmen, dass die Marienstatue, die sich heute in der Schlosskapelle befindet, ehemals in einer Rundbogen-nische im inneren Burghof situiert war.⁴ Wie im Fall der Kassettendecke von Enzesfeld wurden anhand des digitalen Modells die Ausmaße der Statue und der möglicherweise korrespondierenden Nische im Burghof entnommen und miteinander verglichen (siehe Abb. 2.16). Die Marienstatue misst in ihrer Höhe $1,80 \text{ m}$ und Breite knapp $0,65 \text{ m}$, während die

⁴persönl. Auskunft Peter Rath, Besichtigung Engelstein am 8.4.2025.

2. Material und Methoden

Nische im Burghof eine Höhe von 3,46 m und eine Breite von 0,95 m aufweist. Die Tiefe der Nische im Burghof beträgt knapp 0,83 cm, während die der Statue knapp 0,48 cm beträgt, womit die Nische im Burghof erheblich größer und somit groß genug für die Statue ist.

2.3. Export und Publikation des 3D-Modells

Zur Veröffentlichung des finalen 3D-Modells wurde die texturierte Vermaschung des mittelalterlichen Hauptgebäudes in komprimierter Dateigröße auf die Online-Plattform Sketchfab hochgeladen. Hierzu musste eine .zip Datei erstellt werden, welche alle relevanten Dateien beinhaltet, darunter das Modell im .obj-Format und die Textur als Bilddatei im TIFF Format. Das Modell wurde auf *sketchfab* über den offiziellen Account des Vienna Institute of Archaeological Science (VIAS) hochgeladen⁵.

Anschließend wurden einzelne Bookmarks im Online Modell auf Sketchfab erstellt. Diese Bookmarks kennzeichnen einzelne Räume und architektonisch und kunsthistorisch relevante Bereiche im Burggebäude. Die Markierungen erlauben Betrachtern ein rasches Navigieren innerhalb des Modells zwischen einzelnen Stationen. Beim Anklicken der Markierungen können zudem Informationen eingeblendet werden. Dies funktioniert sowohl auf Computern per Maus, als auch auf mobilen Geräten per Touch-Screen. Ein weiterer Vorteil der Bookmarks besteht darin, dass damit direkt ohne Umweg in markierte Bereiche der Burg verlinkt werden kann. So kann beispielsweise ein Direktlink zu einem ausgewählten Raum in der Burg erstellt werden, über den Nutzer:innen mittels Hyperlink oder QR-Code gelangen (siehe Abb. 2.13). Dies erspart das Erstellen und Hochladen einzelner Raummodelle, und das Gesamtmodell kann für einen geschlossenen Rundgang verwendet werden. Die Plattform Sketchfab verfügt zudem über die Darstellung von 3D-Modellen mittels Virtual Reality (VR). So können mit VR-Brillen wie Oculus Rift und Microsoft Mixed Reality 3D-Modelle immersiv visualisiert werden (Sketchfab, 2025).

⁵ <https://sketchfab.com/VIAS3D>

Parameter	Wert	Beschreibung
<i>Datensatz</i>		
Images	11.498	Anzahl verarbeiteter Fotos
File size	919,17 MB	Dateigröße des Projekts
Ground resolution	0,928 mm/px	Auflösung des erzeugten Modells
<i>Alignment-Statistiken</i>		
Projections	29.937.295	Insgesamt registrierte Bildpunkte (inklusive Wiederholungen)
Average tie point multiplicity	4.14682	Durchschnittliche Anzahl der Beobachtungen pro Tie Point
Reprojection error	1,78 px	Differenz zwischen gemessenen und berechneten Bildpunkten
Aligned images	10.290	Anzahl der Fotos, deren Alignment durchgeführt werden konnte
X error (m)	2.2488	Abweichung (in Metern) von der X-Achse
Y error (m)	2.56037	Abweichung (in Metern) von der Y-Achse
Z error (m)	40.4542	Abweichung (in Metern) von der Z-Achse
<i>Verarbeitungseinstellungen</i>		
Accuracy	Medium	Genauigkeitseinstellung im Alignment
Key point limit	40.000	Obergrenze der Key Points im Alignment je Foto
Tie point limit	4.000	Obergrenze der Tie Points im Alignment je Foto
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)	Verwendetes Koordinatensystem

Tabelle 2.3.: Einstellungen und Eigenschaften des Alignments

2. Material und Methoden

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
FC7203 (4.49 mm)	4000 × 2250	4.49 mm	1.76 × 1.76 μm
FC3582 (6.72 mm)	4032 × 2268	6.72 mm	2.62 × 2.62 μm
ILCE-6300, E PZ 16–50 mm	6000 × 4000	16 mm	4 × 4 μm
ILCE-6300, E PZ 16–50 mm	6000 × 4000	24 mm	4 × 4 μm
ILCE-6300, E PZ 16–50 mm	6000 × 4000	18 mm	4 × 4 μm
ILCE-6300, E PZ 16–50 mm	6000 × 4000	21 mm	4.06 × 4.06 μm
DSC-RX100M6 (9 mm)	5472 × 3648	9 mm	2.47 × 2.47 μm
DSC-RX100M6 (9.23 mm)	5472 × 3648	9.23 mm	2.43 × 2.43 μm

Tabelle 2.4.: Gesamtaufstellung der von Metashape ermittelten Kamera-Parameter.

Parameter	Einstellung
Source data	Depth maps
Quality	High / Medium
Depth filtering	Mild
Calculate point colors	On
Calculate point confidence	On

Tabelle 2.5.: Metashape: Parameter für die Erstellung der dichten Punktwolke.

Messstrecke	Punkt 1	Punkt 2	Distanz [m]		
			Basemap	Modell	Fehler
Schüttkasten, Länge	SO-Ecke	NO-Ecke	62,51	62,29	0,22
Schmiede bis Schüttkasten	NW-Ecke	SO-Ecke	244,13	243,69	0,44
Schlosstrakt, Länge	SO-Ecke	NO-Ecke	38,49	38,45	0,05

Tabelle 2.6.: Gesamtaufstellung gemessener Distanzen im Vergleich zum 3D Modell.

Parameter	Einstellung
Build Mesh	Diffuse map
Source data	Depth maps
Quality	High / Medium
Face Count	Medium
Calculate vertex colors	On
Reuse Depth Maps	On

Tabelle 2.7.: Metashape: Einstellungen zum Generieren der Vermaschung.

Parameter	Einstellung
Build texture	Diffuse map
Source data	Images
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Enable hole filling	On

Tabelle 2.8.: Metashape: Einstellungen zum Generieren der Textur.

Engelstein | ehemalige Kassettendecke: Vergleich mit Schloss Enzesfeld

Orthofoto
Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung
mit QGIS und Adobe Illustrator
© Christoph Blätterbinder, 2026

Rittersaal, Engelstein
Speisesaal, Enzesfeld

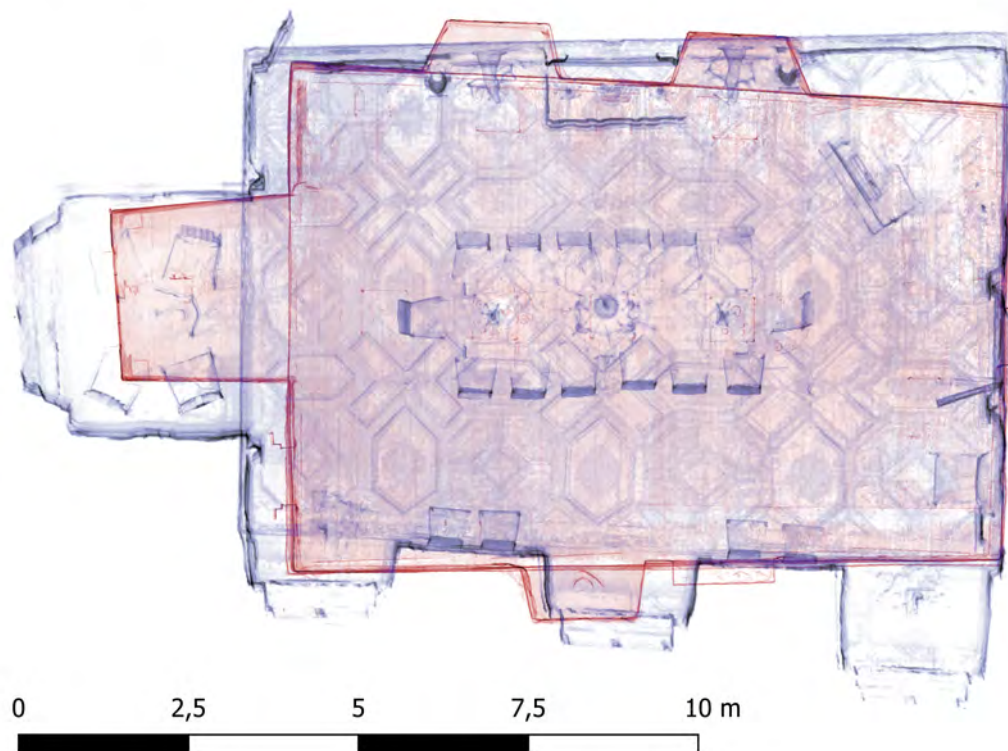


Abbildung 2.14.: Vergleich der Raumgrundrisse von Engelstein (rot) und Enzesfeld (blau).

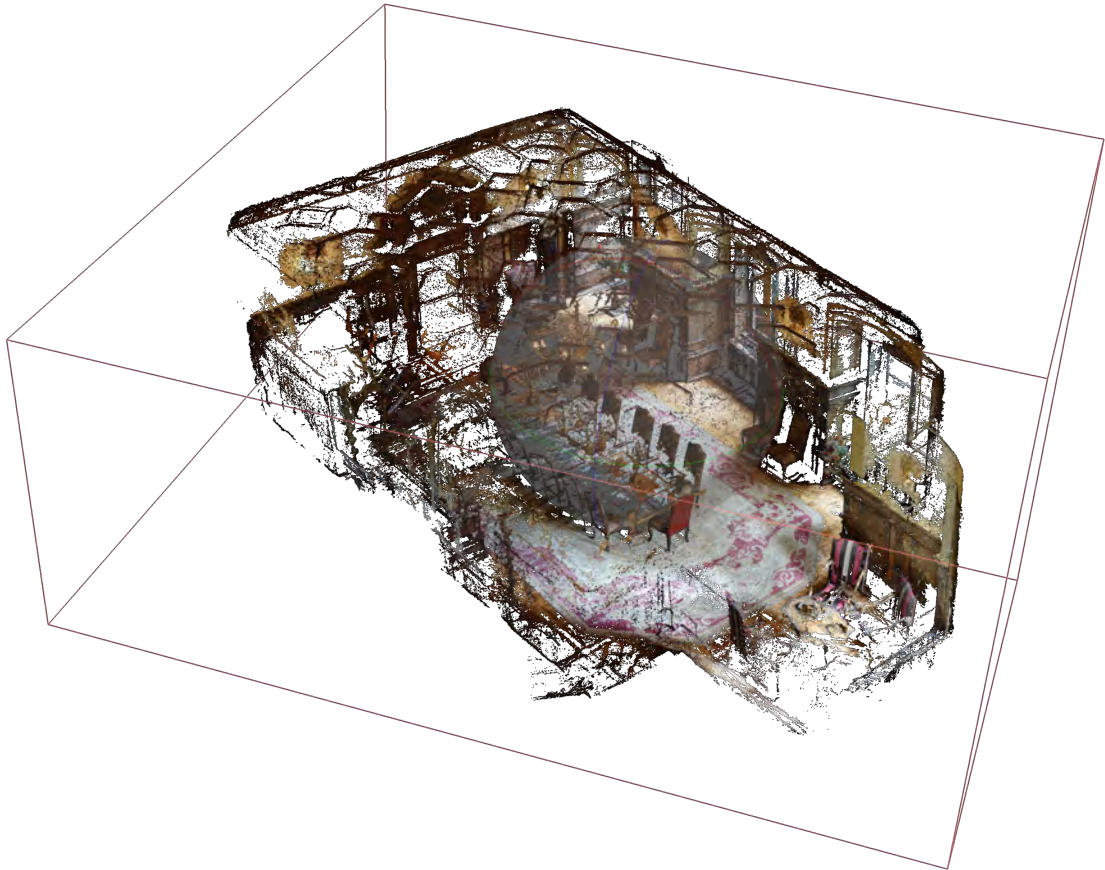
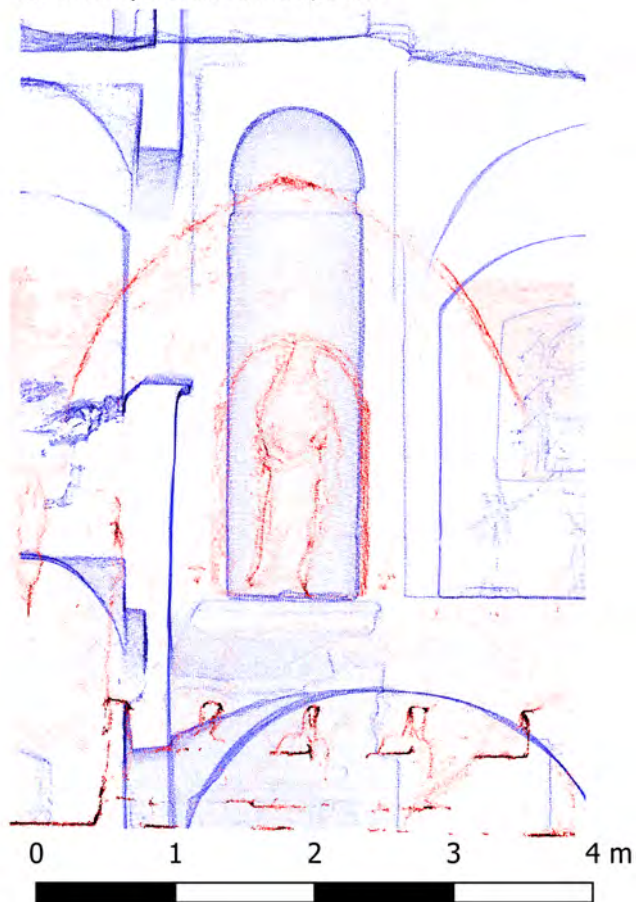


Abbildung 2.15.: Enzesfeld: dichte Punktwolke des Speisezimmers mit Holzvertäfelung.

Engelstein | Marienstatue: Vergleich Burghof und Marienkapelle

Orthofoto
Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS
© Christoph Blätterbinder, 2026



Marienstatue, Kapelle
Nische, Burghof

Abbildung 2.16.: Größenvergleich der Punktwolken in der orthografischen Ansicht: leere Nische im Burghof (blau) und Marienstatue an der Südseite der Kapelle (rot).

3. Ergebnisse

Im Laufe der Untersuchung wurden verschiedene Arten von Daten aufgenommen. Diese umfassen Bilddaten in Form von Einzelfotos, Videos und GNSS-Daten der Drohne. Auf Basis dieser Informationen wiederum wurden umfangreiche Datensätze in der Form von Punktwolken, Depth Maps, Vermaschungen, Texturen, hochaufgelösten Orthofotos, Lagepläne und verschiedenste Visualisierungen erzeugt. In diesem Kapitel soll auf die verschiedenen resultierenden Daten und deren Verarbeitung und Speicherung eingegangen werden.

3.1. Erzeugte Fotos

Insgesamt wurden im Zuge dieser Arbeit 11 803 Fotos angefertigt, von denen alle zur fotogrammetrischen Weiterverarbeitung in Agisoft Metashape überführt wurden (Tab. 3.1). Einen Großteil der Datenmenge machen Einzelfotos aus (103,15 GB), die im Querformat händisch aufgenommen wurden und die Innenräume der Burg sowie die Außenmauern in Bodennähe abbilden. Knapp ein Fünftel der Fotomenge (2 260 Stück) besteht aus Drohnenshots, die den Burgbereich und die umgebende Landschaft aus der Draufsicht abbilden.

3.2. Erzeugte Punktwolken

In diesem Abschnitt werden alle Punktwolken aufgelistet, die im Arbeitsprozess in Agisoft Metashape erstellt wurden. Diese umfassen sowohl die Punktwolken aus Engelstein, als auch jene aus Enzesfeld. Zunächst wurde im Prozess des Alignments eine lichte Punktwolke an Tie Points (in unterschiedlichen Fotos übereinstimmenden Bildpunkten) erzeugt. Anschließend wurden jeweils Punktwolken mit 152.228.858 Mio. Punkten (Engelstein) und 2.434.199 Punkten (Enzesfeld) erzeugt (Tab. 3.2). Für Enzesfeld wurden die knapp 300 Fotos der Wandvertäfelung in einer separaten Datei in ein getrenntes Modell überführt.

3. Ergebnisse

Datum	Anzahl Fotos	Kamera	Daten	Aufnahmeort
2025-03-08	696	DJI Mini	2,76 GB	Engelstein
2025-03-08	1 100	DJI Mini 3 Pro	4,56 GB	Engelstein
2025-04-07	212	DJI Mini 3 Pro	0,90 GB	Engelstein
2025-04-07	1 151	Sony RX100	17,60 GB	Engelstein
2025-04-08	252	DJI Mini 3 Pro	1,20 GB	Engelstein
2025-04-08	1 866	Sony RX100	26,90 GB	Engelstein
2025-07-10	305	Sony RX100	6,43 GB	Enzesfeld
2025-07-30	1 689	Sony Alpha 6300	10,30 GB	Engelstein
2025-07-31	1 197	Sony Alpha 6300	8,85 GB	Engelstein
2025-11-25	499	Sony Alpha 6300	3,53 GB	Engelstein
2025-11-26	659	Sony Alpha 6300	4,72 GB	Engelstein
2025-12-18	2 177	Sony Alpha 6300	15,40 GB	Engelstein
Summe	11 803		103,15 GB	

Tabelle 3.1.: Übersicht der aufgenommenen Einzelfotos.

Feature	Points	Cameras	Größe	Qualität
Gesamtmodell Engelstein	152.228.858	10.290	7.35 GB	medium
Hauptburg und Schloss	527.522.390	10.290	7.35 GB	medium
Rittersaal	116.147.590	236	1,53 GB	high
Kemenate	131.719.803	209	1,70 GB	high
Heizraum	50.623.384	138	0,67 GB	high
Kapelle	64.480.076	328	0,85 GB	high
Freskensaal	183.670.029	201	2,63 GB	high
Theatersaal	132.075.066	340	1,71 GB	high
Speisezimmer Enzesfeld	42.434.199	303	1,08 GB	high
Summe	1.400.901.405	22.335	24,87 GB	

Tabelle 3.2.: Übersicht über die erstellten dichten Punktwolken.

3.3. Erzeugte Orthofotos

Auf Basis des digitalen 3D-Modells wurden zahlreiche detaillierte orthografische Abbildungen erstellt. Diese bieten georeferenzierte und skalierte Ansichten der einzelnen Räumlichkeiten, sowohl aus der Vogelperspektive, als auch von unten. So werden Böden, Wände und Gewölbe entzerrt visualisiert, im Gegensatz zu perspektivischen 3D Abbildungen. Im Anhang (Kapitel D) ist eine detaillierte Auflistung aller erstellten Orthofotos des gesamten Gebäudes, sowie orthografische Ansichten der Innenräume zu finden.

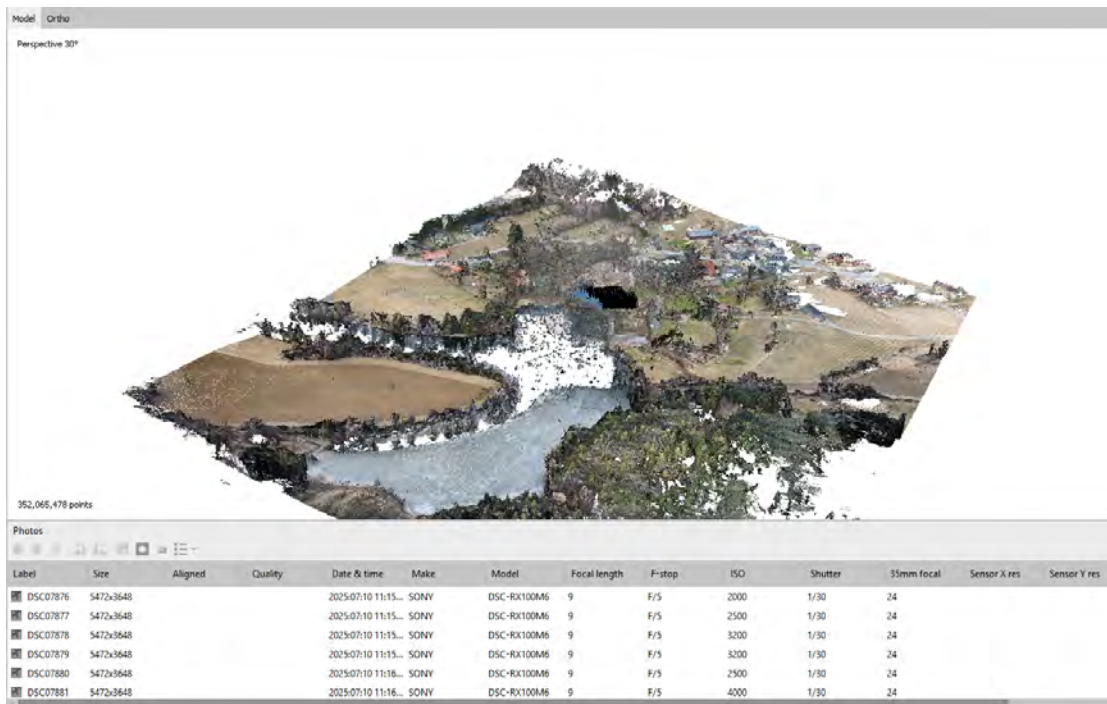


Abbildung 3.1.: Punktwolke vor der vollständigen Säuberung.

3.4. Erzeugte Visualisierungen

3.4.1. 3D-Modell der Gesamtanlage

Das digitale 3D-Modell beinhaltet die mittelalterliche Hauptburg, die neuzeitlichen Zubauten und den Wirtschaftshof, sowie die umliegende Landschaft inklusive Fischteich, Mühle und Zufahrtsstraße und das Waldstück mit Wallanlage (Engelstein 1). Zudem sind alle Innenräume der Hauptburg und ausgewählte Räume der Zubauten im Modell enthalten. In der Darstellung des 3D-Modells sind verschiedene Varianten für unterschiedliche Zwecke möglich. Das Modell kann sowohl texturiert als auch untexturiert dargestellt werden. Das texturierte Modell bietet eine detailgetreue, hochaufgelöste fotorealistische Ansicht von allen Seiten.

Ein wesentlicher Teil der Datenmenge beruht auf der Dokumentation der Innenräume der Burg Engelstein. Es konnten insgesamt 30 Innenräume fotogrammetrisch dokumentiert werden. Diese umfassen alle Innenräume in der mittelalterlichen Hauptburg sowie die angrenzende Schlosskapelle im Schlosstrakt. Außerdem wurde das Speisezimmer in Enzesfeld dokumentiert, wodurch die Gesamtanzahl erfasster Räumlichkeiten 31 beträgt (Abb. 3.5). Auch von den Innenräumen wurde ein texturiertes Modell erstellt und die Punktwolken visualisiert.

3. Ergebnisse

Feature	Faces	Vertices	Größe	Qualität
Gesamtmodell Engelstein	52.052.071	10.902	3,82 GB	medium
Rittersaal	17.563.364	8.785.602	0,88 GB	high
Kemenate	14.554.192	7.279.166	0,74 GB	high
Heizraum	6.985.540	3.493.749	0,38 GB	high
Kapelle	7.865.288	3.936.536	0,43 GB	high
Freskensaal	23.804.273	11.905.445	1,14 GB	high
Theatersaal	15.535.650	7.774.142	0,78 GB	high
Speisezimmer Enzesfeld	10.954.523	5.481.936	0,59 GB	high
Summe	149.314.901	48.667.478	8,76 GB	

Tabelle 3.3.: Übersicht der erstellten Vermaschungen.

Feature	Auflösung (px)	Qualität
Engelstein: Gesamtmodell	8.192 × 8.192	medium
Enzesfeld: Speisezimmer	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Rittersaal	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Kemenate	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Heizraum	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Kapelle	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Freskensaal	8.192 × 8.192	high
Engelstein: Theatersaal	8.192 × 8.192	high

Tabelle 3.4.: Übersicht der erstellten Texturen.

3.4.2. Drahtgittermodell (Wireframe)

Ein Drahtgitter entspricht dem Vermaschung eines dreidimensionalen Modells aus Bildpunkten, die durch Vektoren (normalerweise Dreiecke) räumlich verbunden sind (Münster et al., 2024). Es besteht also aus Polygonen, die allerdings nur Außenkanten aber keine Oberfläche und Textur besitzen und somit transparent sind, wodurch Außen- von Innenfläche theoretisch nicht klar zu unterscheiden sind (Münster et al., 2024; Foley et al., 1996). Dies bietet einen entscheidenden Vorteil, da das Modell eine visuelle Transparent bei gleichzeitiger Akzentuierung der Kanten behält.

Ähnlich wie bei der Röntgen-Darstellung (X-Ray View) (Kap. 3.4.4) ist somit ein durchlässiger Blick in das Modell möglich. Das Gitter dieses Modells besteht lediglich aus den Verbindungslinien zwischen den Eckpunkten (Münster et al., 2024).

Im Fall von Engelstein eignet sich die Visualisierung des Punktgitters zur Illustration der Raumlage bei gleichzeitiger Sichtbarkeit und Betonung der Kanten und Ecken. So sind beispielsweise die Positionen und Umrisse der einzelnen Räume innerhalb des Gebäudes zu erkennen (Abb. 3.3).

Nr.	Raum	Stockwerk	Kamera
1	Kellerraum 1–Nord	Keller	Sony Alpha 6300
2	Kellerraum 2–Ost	Keller	Sony Alpha 6300
3	Palasbau	Keller	Sony Alpha 6300
4	Schlosskapelle hl. Maria	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300, Sony RX100
5	Ehemaliger Stall	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300
6	Kellerraum West	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300
7	Küche	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300
8	Torbau	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300
9	Turm Erdgeschoss	Erdgeschoss	Sony Alpha 6300
10	Theatersaal	1. Stock	Sony Alpha 6300
11	Turm	1. Stock	Sony Alpha 6300
12	Südraum	1. Stock	Sony Alpha 6300
13	Ostraum	1. Stock	Sony Alpha 6300
14	Über Küche (Heizraum)	1. Stock	Sony Alpha 6300
15	Galerie	1. Stock	Sony Alpha 6300
16	Ostraum	1. Stock	Sony Alpha 6300
17	Torhaus	1. Stock	Sony Alpha 6300
18	Abort	1. Stock	Sony Alpha 6300
19	Rittersaal	2. Stock	Sony Alpha 6300
20	Abort	2. Stock	Sony Alpha 6300
21	Turm	2. Stock	Sony Alpha 6300
22	Torwart	2. Stock	Sony Alpha 6300
23	Galerie (Kemenate)	2. Stock	Sony Alpha 6300
24	Gerichtssaal	2. Stock	Sony Alpha 6300
25	Obere Galerie	3. Stock	Sony Alpha 6300
26	Freskensaal West	3. Stock	Sony Alpha 6300
27	Freskensaal Ost	3. Stock	Sony Alpha 6300
28	Raum West	3. Stock	Sony Alpha 6300
29	Oberstes Turmgeschoss	4. Stock	Sony Alpha 6300
30	Stiegenhaus	alle	Sony Alpha 6300, Sony RX100
31	Speisezimmer Enzesfeld	-	Sony RX100
Gesamtzahl: 31			

Tabelle 3.5.: Übersicht aller fotogrammetrisch dokumentierten Räume.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.2.: Texturiertes Gesamtmodell, Außenansicht.

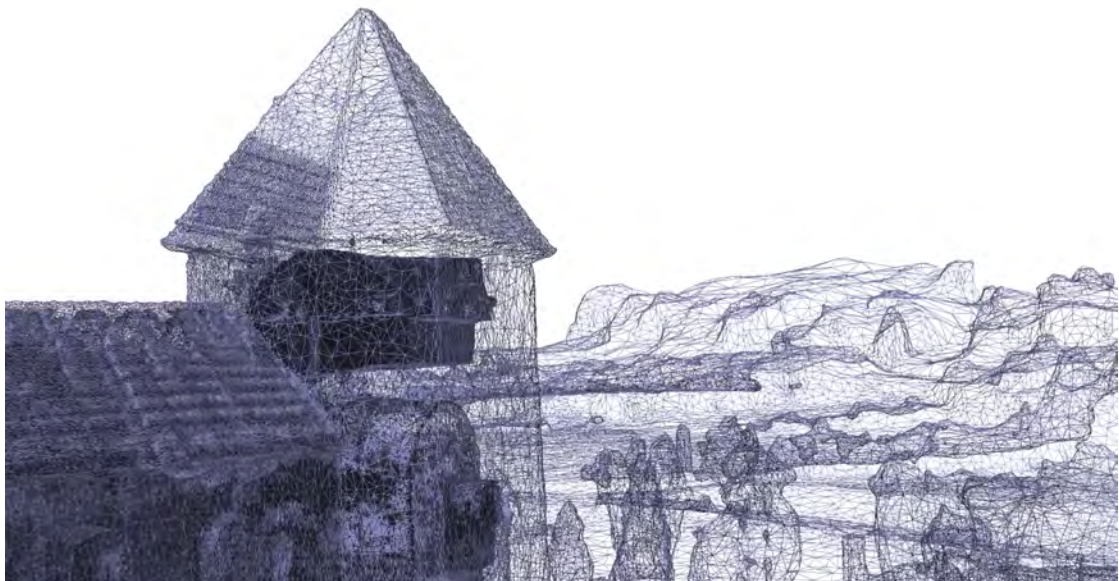


Abbildung 3.3.: Darstellung als Gitternetz.

3.4.3. Digitales Höhenmodell (Digital Elevation Model)

Eine weitere Form der Visualisierung stellen digitale Höhenmodelle (DEM = Digital Elevation Model) dar. Auf Basis der dichten Punktwolke und der daraus abgeleiteten Ver-

maschung wurde ein digitales Höhenmodell berechnet, welches die Höhenunterschiede der Burganlage und ihrer unmittelbaren Umgebung farbcodiert darstellt. Die Visualisierung erfolgt in den beiden Programmen Agisoft Metashape und NUBIGON über eine graduelle Farbskala, bei der unterschiedliche Höhenwerte relativ oder absolut zueinander visualisiert werden können. Auf diese Weise werden topografische Relationen, Geländeabstufungen und Höhenunterschiede zwischen einzelnen Bauteilen der Anlage unmittelbar begreifbar (Abb. 3.4).

Das Höhenmodell dient primär der Analyse der räumlichen Einbettung der Burg Engelstein in ihre Umgebung sowie der internen Höhenstaffelung der Baukörper. Insbesondere bei der Darstellung der Hauptburg, des Schlosstrakts, des Wirtschaftshofes sowie der angrenzenden Gebäude und Wälder ermöglicht das DEM eine anschauliche Visualisierung der Topografie Engelsteins.

Als abstrahierte Visualisierung ergänzt das DEM die übrigen Darstellungsformen wie *X-Ray View* und Orthofotos, und stellt ein zusätzliches Werkzeug zur Untersuchung der internen räumlichen Organisation und Topografie der Burganlage dar. Die detaillierten Geländemodelle sind im Ahhang (C) zu finden.

3.4.4. Röntgenansicht (X-Ray View)

Die lichten und insbesondere die dichten Punktwolken liefern detaillierte Raumdaten in Form von vielen Millionen räumlich verorteter 3D Bildpunkte mit Farbwerten. Während normalerweise die Punkte opak mit einer gegebenen Punktgröße dargestellt werden, ermöglicht die Punktwolkenvisualisierungssoftware NUBIGON eine halbtransparente Darstellung, die an eine Röntgenaufnahme erinnert. Durch diese Form der Visualisierung wird ein Blick in die Innenräume der Anlage gestattet. Bereiche, in denen viele Punkte hintereinander liegen, erscheinen mehr opak, wie z. B. Mauern die in Blickrichtung verlaufen. Diese Röntgen-Abbildungen erlauben neuartige Ein- und Durchblicke und dadurch ein wesentlich verbessertes Verständnis der Baustruktur und -geometrie, sowohl in perspektivischer als auch orthographischer Darstellung (Abb. 3.5). Dies ermöglicht eine rasche Verortung einzelner Räume und deren Zusammenhang innerhalb der Anlage. Ein großer Vorteil dieser Visualisierung ist das rasche Begreifen der Raumzusammenhänge des gesamten Gebäudekomplexes.

In dieser Visualisierung mittels Röntgendarstellung steht nicht die Gestaltung oder Oberfläche der Räumlichkeiten im Vordergrund, sondern die Gebäudestruktur des gesamten Burgkomplexes. Die Dichtheit in der Punktwolke im Bereich der Gewölbekanten und Säulen hebt sich klar von den umgebenden Strukturen ab, und ermöglicht ein rasches Verständnis des Aufbaus einzelner Stockwerke und Räume. Je nach Räumlichkeit sind individuelle Raumtypen und deren Umrisse identifizierbar. So sind sowohl verschiedene Gewölbetypen (Kreuzgrat- oder Tonnengewölbe) als auch Flachdecken zu erkennen. Besonders die Leerräume fallen auf: die Bereiche, welche in der Punktwolke leer erscheinen,

3. Ergebnisse

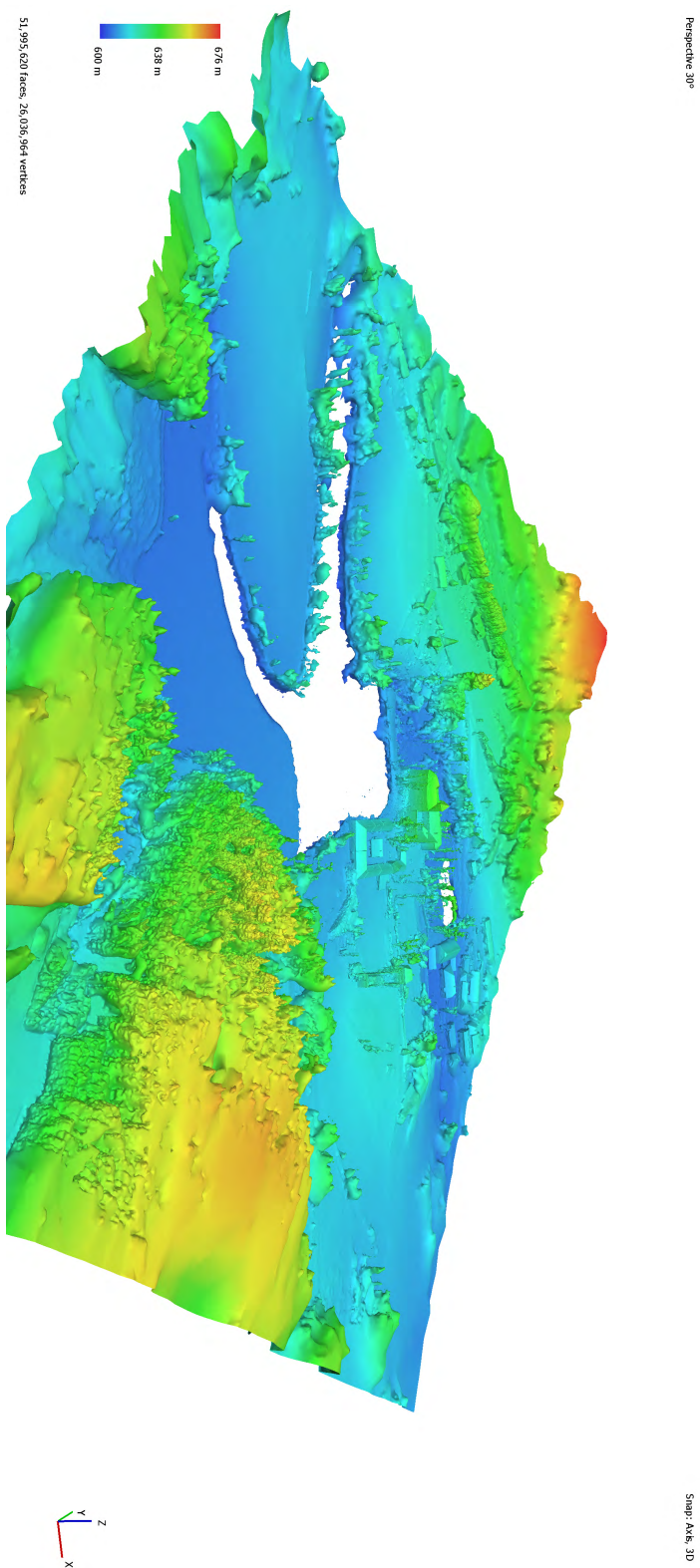


Abbildung 3.4.: Visualisierung der Vermaschung mit Höhenwerten.

bilden die Mauern und Wände ab. Hierbei ist schnell ein großer Unterschied in den Wandstärke in einzelnen Stockwerken erkennbar (Abb. 3.7). Grundsätzlich nimmt die Wandstärke von unten nach oben hin sukzessive ab.

3.4.5. Querschnitte

Zudem ermöglicht das digitale 3D-Modell ohne großen Aufwand ein Aufschneiden einzelner Bereiche der Burg um anschauliche Querschnitts-Visualisierungen zu erstellen. Dies kann grundsätzlich in alle Richtungen erfolgen. Bevorzugt eignen sich horizontale und vertikale Schnitte. So können etwa Außenwände und Zwischendecken entfernt werden, um Einblicke in Innenräume zu ermöglichen. Nach Art eines Puppenhauses können seitliche Ansichten der gesamten Innenräume generiert werden. Mithilfe orthographischer Querschnitte einzelner Burgbereiche ist es möglich, ohne großen Aufwand Wand- und Deckenstärken, Gewölbeformen und Raumhöhen zu ermitteln und miteinander zu vergleichen. So ist im Querschnitt von der Südseite (Abb. 3.6) beispielsweise ein Niveauunterschied in der Einbindung der einzelnen Geschosse in das Stiegenhaus sichtbar. Auch eine nach oben hin stark abnehmende Wandstärke an der Westseite ist zu beobachten. Gleichfalls ist die Einbindung des Kellerraums unterhalb des Bergfrieds über einen Abgang im ehemaligen Burggraben anhand des Querschnitts gut erkennbar.

Die Kenntnis der unterschiedlichen architektonischen Formen (Raumumrisse, Gewölbeformen, Wandstärken) und die Relationen zwischen den einzelnen Räumlichkeiten innerhalb des Gebäudekomplexes stellt ein elementares Werkzeug zum strukturellen Verständnis der Burg dar. Unterstützt wird dies durch die flexiblen Platzierungsmöglichkeiten der einzelnen Schnitte im Modell, die je nach Fragestellung angepasst werden können.

3.4.6. Erstellung von Lageplänen mittels Orthofotos

Das Modell erlaubt zudem die Generierung von georeferenzierten Orthofotos. Diese machen es möglich, einzelne Räume mit hohen Details aufzufalten und für Raumbeschreibungen zu visualisieren. Zudem können georeferenzierte und weitgehend farbgetreue Lagepläne der Räume und ganzer Stockwerke erstellt werden. Durch die fotogrammetrische Software können auch schräg orientierte Fotos durch genügend überlappende Bildpunkte entzerrt dargestellt werden (Verhoeven, 2012). Die erzeugten Orthofotos bilden die Grundlage für die Erstellung von Lageplänen des gesamten Burgareals (Abb. 3.8). Diese Lagepläne wurden im Geoinformationssystem QGIS weiterverarbeitet.

3. Ergebnisse

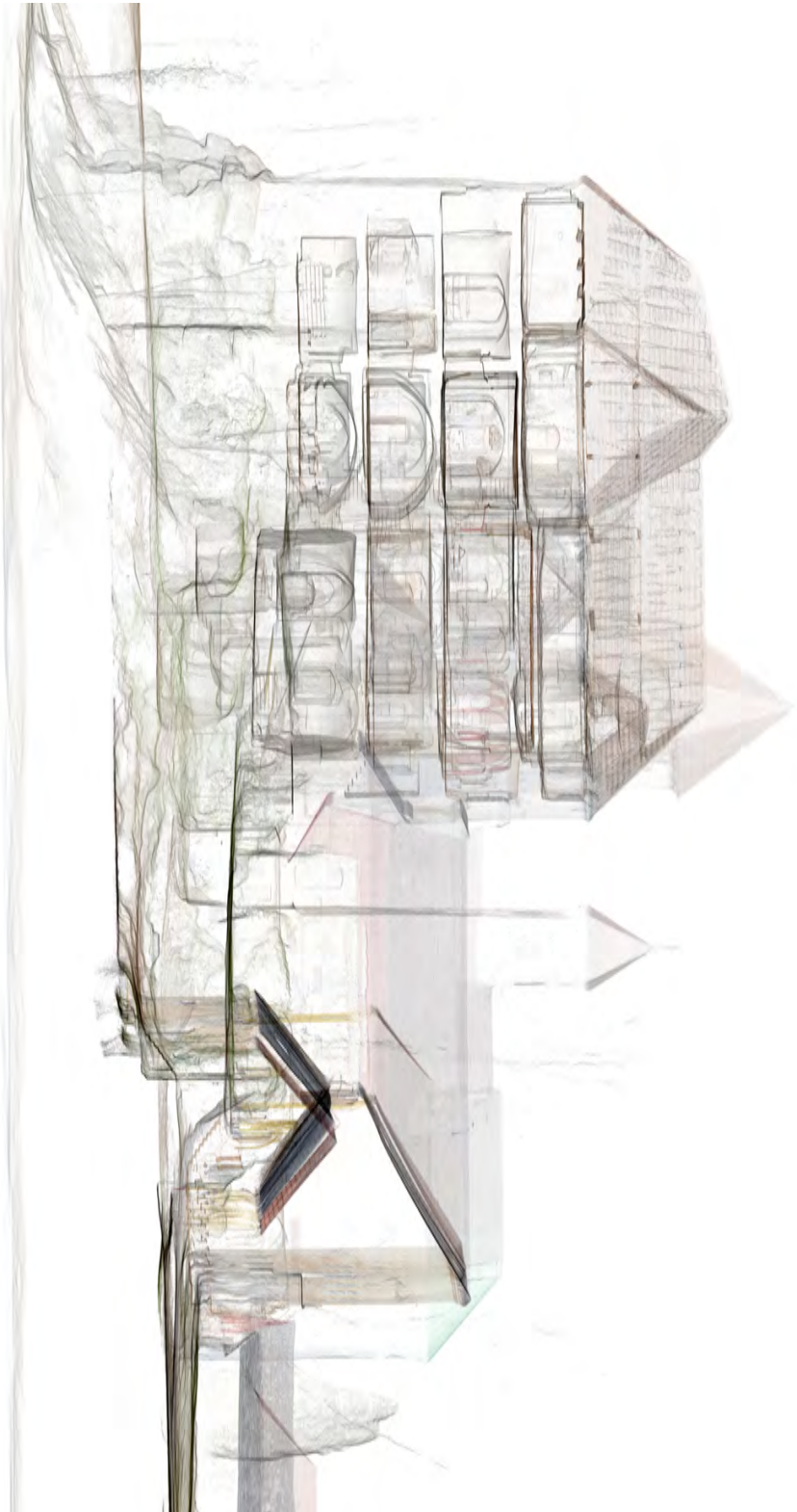


Abbildung 3.5.: X-Ray Darstellung von der Nordwestseite.

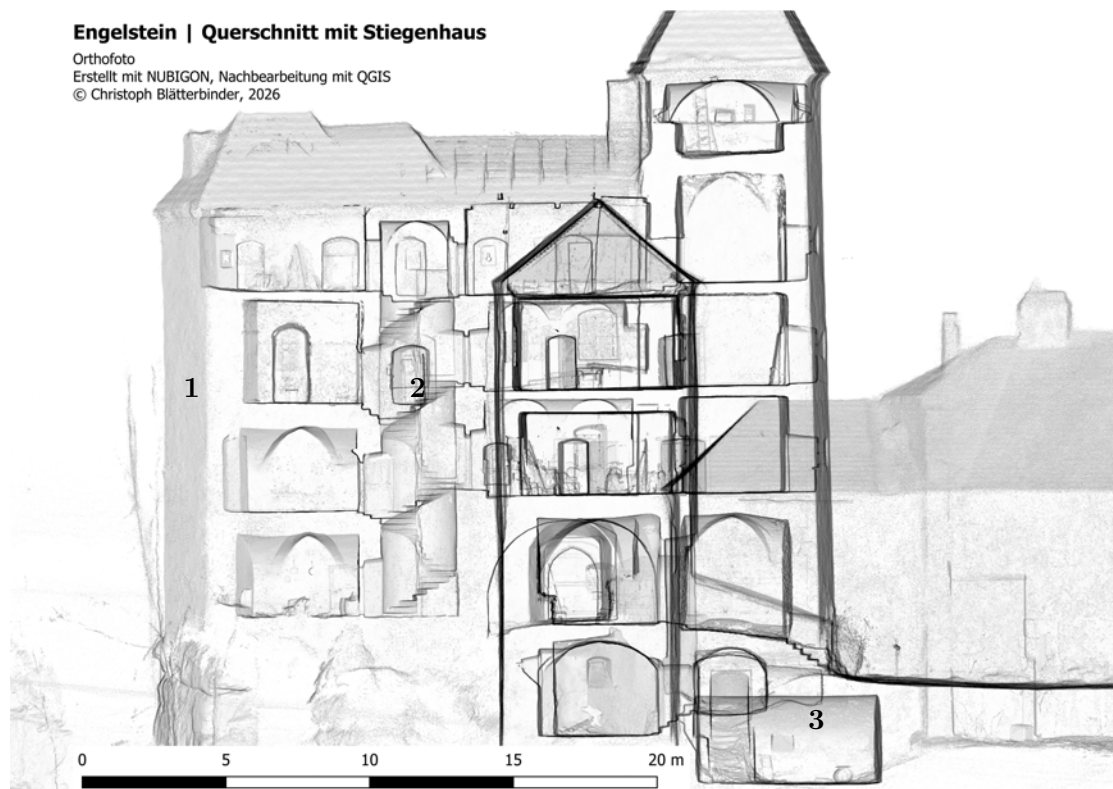


Abbildung 3.6.: Ansicht von der Südseite: Stiegenhaus (1); Wandstärke an der Westseite (2); Kellerraum an der Ostseite (3).

3. Ergebnisse

3.4.7. Animationen

Das digitale 3D-Modell ermöglicht die Erstellung von Visualisierungen in Form dynamischer Animationen. Agisoft Metashape wie auch NUBIGON bieten direkt die Möglichkeit, Animationen im Sinne von Kamerafahrten zu erstellen. Hierbei können die Geschwindigkeit und Perspektive manuell festgelegt werden. Die fertige Animation kann als Videodatei, beispielsweise im .mp4-Format exportiert werden. Diese Art der Visualisierung bietet sich insbesondere für anschauliche, dynamische Präsentationen an (Blender Foundation, 2025). Die texturierte Oberfläche kann alternativ in Blender oder einer ähnlichen Software importiert werden. Anschließend wird virtuell eine Kameraeinstellung, Positionierung und Beleuchtung für eine virtuelle Kamerafahrt mit gewünschter Drehung des Objektes im Raum erstellt (Blender Foundation, 2025).

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Burgbereiche und Räume anhand der Daten des 3D-Modells diskutiert. Die Diskussion beinhaltet eine Interpretation über Raumnutzung, Lage und Zustand, sowie soziale und architektonische Bedeutung. Die gewonnenen Daten und deren Visualisierung in Form der 3D Oberfläche und der 3D Punktwolke bieten Grundlagen für bauhistorische Überlegungen. Mittels Hyperlink und QR-Code (Abb. 3.10) sind die einzelnen Burgbereiche auf der Online-Plattform Sketchfab¹ direkt abrufbar. Eine vollständige Beschreibung aller Räumlichkeiten befindet sich im Anhang (Kapitel A). Die Auswahl der hier im Detail diskutierten Räume und Burgbereiche richtet sich nach folgenden Kriterien:

- **Kunsthistorische Relevanz:** beispielsweise Wandmalereien, Fliesenböden und/oder herausragende Möblierung, Steinfassungen, Gewölbe, Plastiken, Deckengestaltung, Kamine.
- **Sozioökonomische Relevanz:** beispielsweise Räumlichkeiten für Kinder, Frauen, Adel, Bedienstete, insbesondere Räume für Repräsentation, Gerichtsbarkeit, Lagerung, Hygiene, Versorgung und Handwerk.
- **Verteidigungsanlagen:** beispielsweise Gräben, Wehrgänge, Tore, Zinnen.

3.5.1. Außenansicht der Burganlage

An der Außenansicht des texturierten 3D-Modells (Abb. 3.10) sind die einzelnen Bauphasen der Burg von außen teils deutlich sichtbar. Hauptburg, Zubau und Wirtschaftshof sind

¹ <https://sketchfab.com/VIAS3D/models>

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

zunächst farblich deutlich voneinander zu unterscheiden. Der Verputz an der Außenmauer der Hauptburg ist größtenteils hell- bis dunkelgrau und sehr grob abgeplatzt. Das Mauerwerk, welches zum Großteil aus abgerundetem Steinmaterial besteht, ist dadurch zum Teil sichtbar. Die Außenmauer besteht aus kleinteiligen Steinen und vereinzelt Ziegeln. Das Dach weist in den einzelnen Bereichen verschiedene rezente Ziegelformen auf. Der Verputz des Schlosstrakts im Ostteil hingegen ist eifarben bis beige und großflächig erhalten, wobei es sich nicht immer um den Originalverputz handelt.

Das Orthofoto mit Blick auf die Südostseite bietet eine Gesamtansicht der Fassade des Schlosstrakts mit entsprechenden Details (Abb. 3.11). Die halbkreisförmige Apsis der Kapelle ist mit einem Kupferdach gedeckt. In vielen Bereichen der Außenmauer befinden sich eiserne Bauklammern. Sowohl der Bergfried als auch Teile des Zubaus sind mit in Stein gefassten Schlüsselscharten versehen. Stellenweise sind rezenter Verputz und ebenfalls rezente Ziegel erkennbar. In der Mitte des Schlosstrakts sind unterhalb des Balkons die Reste eines ehemals außen liegenden Treppenaufgangs am Verputz sichtbar. Gemäß der Position der horizontal aufgereihten Schlüsselscharten im obersten Geschoss des Schlosstraktes liegt die ehemalige Nutzung des Obergeschosses als Wehrgang nahe.

Der Blick auf die Burganlage von Nordosten (Abb. 3.11) bietet eine Gesamtübersicht der Außenmauer der Hauptburg und den Schlosstrakt, sowie das dazwischen liegende Torhaus, welches ein Zubau aus dem Spätmittelalter darstellt (Klaar, 1979). Auch hier zeigt sich ein starker Kontrast in der Farbe des Verputzes. An den Außenmauern sind zahlreiche zugemauerte Mauerabschnitte und Nischen erkennbar, die auf Umbauten hindeuten. An der Fassade stehen Strebewerke hervor, die das Mauerwerk stützen.

Auffallend ist besonders die scharfe Außenkante der Mauerfassade an der Nordseite, die durch das dahinterliegende Schrägdach den Eindruck eines abgeschnittenen Gebäudetraktes vermittelt. Die akzentuierte Ansicht der Punktwolke in der Röntgenvisualisierung vermittelt ein besseres Verständnis der baulichen Situation (Abb. 3.9). Hier ist die ehemalige Position des eingestürzten Südturms anzunehmen, dessen Existenz und Einsturz schriftlich nachgewiesen ist.² Aufgrund der klar ersichtlichen Position der ehemaligen, rot gerahmten Eingangstür im ersten Obergeschoss und der Eisentür im Erdgeschoss ist anzunehmen, dass sich in diesem Burgbereich ehemals der Zugang zum Nordturm befand. Das Gelände ist an dieser Stelle ebenfalls stark abfallend, was als statische Begründung für den Einsturz des Turms dienen könnte. Ebenso fällt die ehemalige Position eines Balkons über der Kapelle auf, dessen steinerne, horizontale Konsolen noch aus der weiß verputzten Fassade herausragen. Ebenfalls hervorzuheben ist der Unterschied im Fundament der Kapelle: dieses unterscheidet sich vom Rest des Traktes durch eine strukturierte Oberfläche aus Rundsteinen.

²Private Chronik der Burg Engelstein, Peter Rath, Durchsicht am 13.03.2026.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.7.: X-Ray Darstellung aus der Vogelperspektive.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche



Abbildung 3.8.: Gesamtkarte mit Orthofoto.

3. Ergebnisse

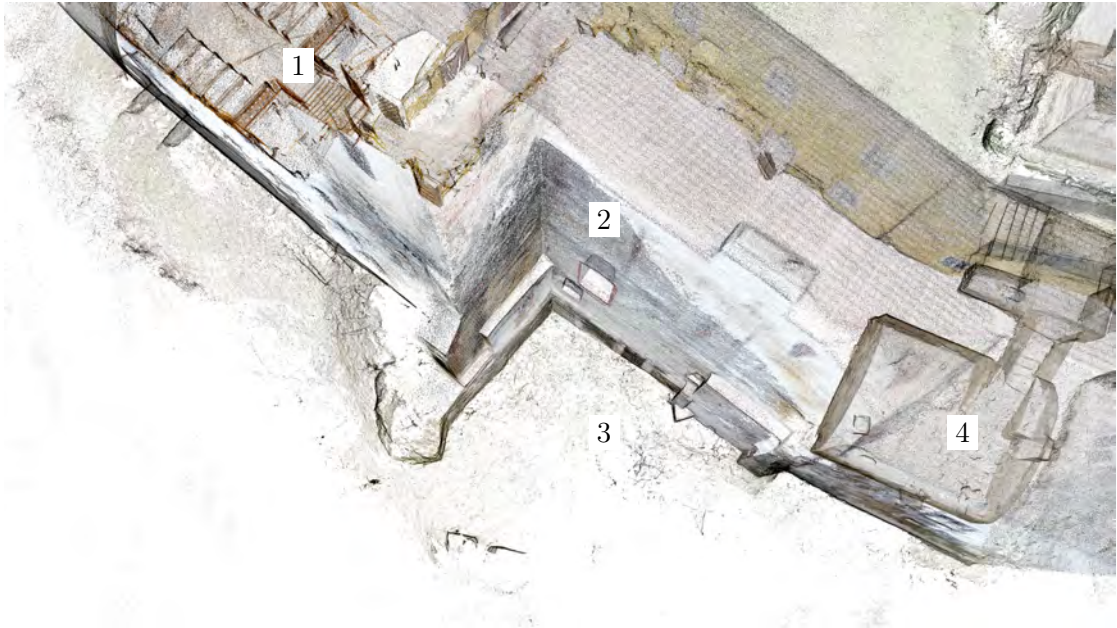


Abbildung 3.9.: Eck im Schlosstrakt mit zugemauertem Durchgang (NUBIGON). Kapelle (1); zugemauerter Durchgang (2); mögliche Position eines Turms (3); Kellerraum östlich des Torbaus (4).



Scan mich

Abbildung 3.10.: Modell mit Außenansicht. Klicken Sie auf die Abbildung oder scannen Sie den QR-Code, um die Kollektion an 3D Modellen anzuzeigen.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

Engelstein | Orthofotos - Außenansicht

Erstellt mit Nubigon, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026

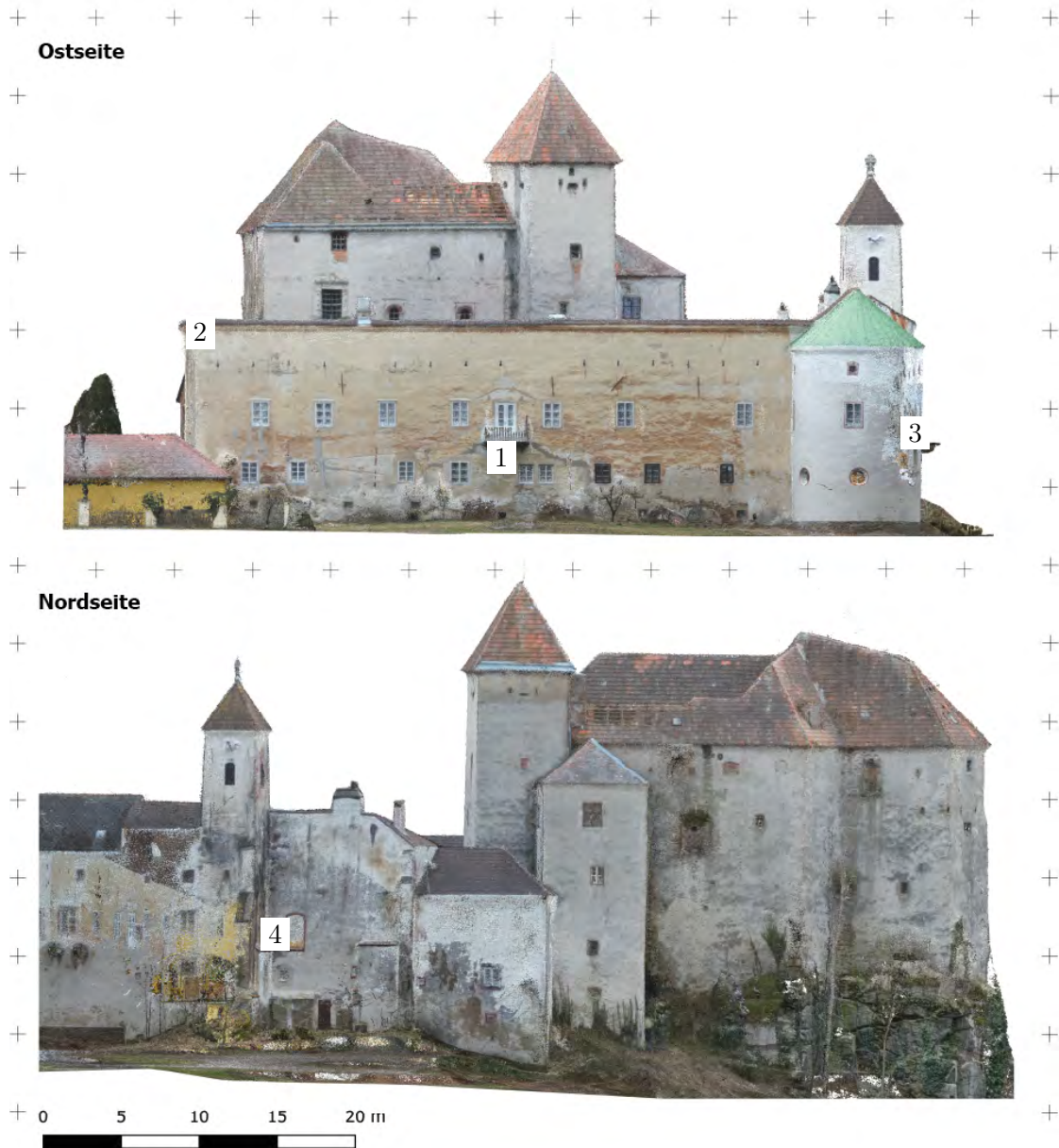


Abbildung 3.11.: Orthofotos der Nord- und Ostseite von Hauptburg und Schlosstrakt: ehemaliger Aufgang (1); Bauklammern (2); Apsis der Kapelle (3); ehemalige Position des Nordturms (4).

3. Ergebnisse

3.5.2. Theatersaal

Der Theatersaal ist ein Raum mit rechteckigem Grundriss und einer Grundfläche von 51,86 m², einem Tonnengewölbe, einfachem hölzernem Boden und flächigen, stilisierten Wandbemalungen. Zugang zum Theatersaal erlangt man über den Südraum im 1. Stock. Der Saal bildet gemeinsam mit dem darunter liegenden Kellerraum und dem darüber liegenden Rittersaal den massiven Palasbau, einem rechteckigen, dreigeschossigen Gebäudeteil mit kräftigen Außenmauern, welcher aus der frühesten baulichen Phase der Burg (13. Jahrhundert) stammt (Klaar, 1979).

In das Tonnengewölbe sind zwei Stichkappen mit hofseitigen Fenstern eingelassen. Bei Betrachtung der Position und des Grundrisses des Raumes im Querschnitt der Röntgenansicht (Abb. 3.13) sticht sofort ein Durchgang an der Südseite hervor, der heute ins Leere führt und daher mit einem nicht mehr vorhandenen Balkon in Verbindung stehen dürfte. Der Raum besitzt zudem eine ostseitige Tür, welche ehemals einen Durchgang zum Schlosshof verschloss und zugemauert wurde. Dementsprechend ist hinter einer Holztüre mit Glasfenster noch der Ansatz einer Stiege sichtbar, ehe man gegen eine Ziegelmauer stößt. An einer Längsseite des Raums befindet sich eine Holzbank, ansonsten gibt es keine Einrichtung im Raum.

Die texturierte Vermaschung gibt einen Überblick über die Wandbemalungen (3.12). Die Wände bilden in der unteren Hälfte eine vertikal umlaufende, rosafarbene, dreireihige Steinmauer mit angedeuteter Dreidimensionalität ab. In der oberen Hälfte der Wände ist ein polychromes Landschaftspanorama zu sehen, bestehend aus Gebäuden und gelber Vegetation.

Der Theatersaal stellt einen der wenigen voll ausgemalten Räume der Burg dar. Während andere Räume, wie die Kemenate und der Heizraum, ebenfalls farbliche Wandbemalung aufweisen, stellt die umlaufende Landschaft jedoch eine herausragende bildliche Ausstattung dar. Die orthografischen Ansichten der Wandbemalungen sind im Anhang, Kapitel D zu finden.

Aufgrund der geografischen Lage der Burg Engelstein ist in der Darstellung an den Wänden eine Donau- oder Kamplandschaft zu vermuten. Die Bemalung erstreckt sich horizontal umlaufend um den gesamten Raum und reicht in ihrer Höhe teilweise bis in den unteren Bereich des Gewölbes. Bei der Landschaftsdarstellung könnte es sich zudem gezielt um die Darstellung bestimmter Gebäude und Siedlungen der Umgebung handeln. Mehrere abgebildete Gebäude ähneln Stiften und Kirchen. Dies ist durchaus naheliegend, da sich das Benediktinerstift Göttweig aus dem 11. Jahrhundert und das barocke Stift Melk beispielsweise in rund 50 km Luftlinie von Engelstein entfernt befinden (Melk, 2025; Fischer, 1995). Das im Jahr 1138 gegründete Zisterzienserstift Zwettl liegt knapp 19 km von Engelstein entfernt (Zwettl, 2025).

Die Szenerie evoziert das Bild einer floral gestalteten Bühne, welche insbesondere für



Abbildung 3.12.: Texturiertes Modell des Theatersaals.

die renaissancezeitlichen Theater üblich ist (Fanelli, 2016). Die Gestaltung des Saals dürfte allerdings nach 1820 datieren, und somit lediglich an die Renaissance angelehnt sein (Pernerstorfer, 2015). In Niederösterreich sind besonders im 18. und 19. Jahrhundert Ausgestaltungen von Theatersälen in Schlössern und Burgen festzustellen. Ein vergleichbare Bemalung mit Pflanzen und Architekturmotiven befindet sich im Theatersaal in Harmannsdorf, wobei es sich dort um die Ausgestaltung des ehemaligen Schüttkastens (Getreidespeichers) handelt (Pernerstorfer, 2015; Hammerl, 2007).

3. Ergebnisse

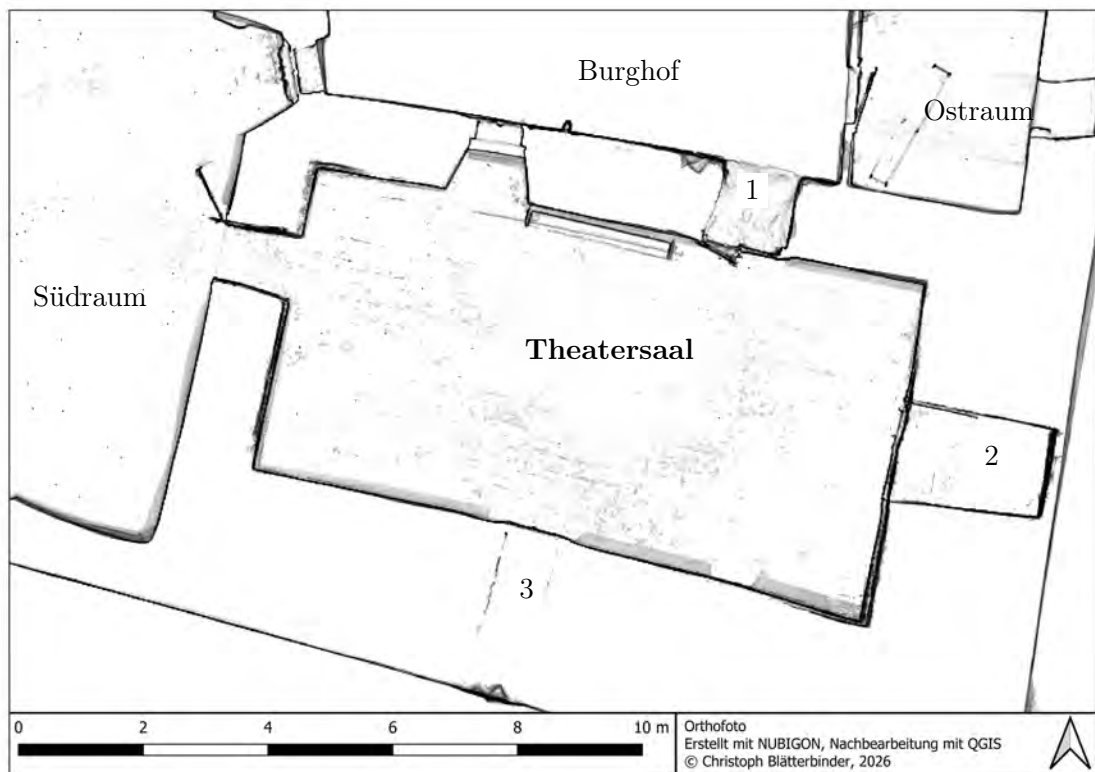


Abbildung 3.13.: Plan des Theatersaals: ehemalige Durchgänge Innenhof (1) und Ostseite (2), sowie Südseite (3).

3.5.3. Heizraum

Zugang zum Heizraum erhält man über den Südraum im 1. Stock und die Wendeltreppe. Der Raum besitzt einen annähernd dreieckigen Grundriss mit einer Grundfläche von 18,17 m² (Abb. 3.15). Es handelt sich um einen Raum mit Kreuzgewölbe und Holzboden und umfangreicher, flächig gestreifter Wandbemalung. Der Raum verfügt über ein Fenster in den inneren Burghof. Der Eingang des Treppenhauses ist mit einem massiven Werkstein eingerahmt, dessen oberes Ende mit einer stark profilierten horizontalen Konsole abschließt.

Südwestlich befindet sich eine gelbe, hölzerne Ofentür zum Beheizen des Kachelofens in Nebenraum. An der Innenseite des Ofens ist eine Malerei in Form einer Figur im Profil zu finden. Es befindet sich keine ursprüngliche Einrichtung mehr im Raum. Die moderne Einrichtung umfasst einen Tisch mit zur Schau gestellten Tierknochen.

Die texturierte Vermaschung des Raums zeigt die dekorative, unregelmäßige Gewölbeform und Wandbemalung zur Gänze (Abb. 3.14). Ebenfalls sichtbar sind kleine Schäden an den Wänden, vor allem im Bereich des Ofens. Der Raum bildet das Verbindungsglied zwischen Wendeltreppe und Gericht im 1. Obergeschoss. Der Raum verfügt über unterschiedlich datierende Mauerteile, darunter die hochmittelalterliche Außenmauer an der Nordseite und spätmittelalterliche Umbauten (Klaar, 1979).

Der Raum stellt einen der wenigen voll ausgemalten Bereiche der Burganlage dar und sticht durch seine vertikal blau-weiß gestreifte Wand- und Gewölbebemalung hervor. Der gesamte Raum wird von einem unregelmäßig ausgeführten Gewölbe bedeckt, das am höchsten Punkt mit einem gotischen Dreipassfenster bemalt ist. Die Kanten des Gewölbes sind mit dunkelblauen floralen Ornamenten versehen, am unteren Ende der Wände befindet sich umlaufend ein stilisiertes geometrisches Architekturmotiv. Das Kreuzgewölbe ist flächig weiß ausgemalt, die Gewölbekanten sind blau bemalt und mit länglichen blauen, floralen Mustern versehen. An der höchsten Stelle des Gewölbes ist ein Architekturmotiv in Form mehrerer gotischer Dreipassfenster zu finden, die sich um ein rotbraunes Kreuz gruppieren.

Es ist anzunehmen, dass der Ofen einer noch späteren Phase angehört als das Gemäuer selbst (vermutlich Renaissance), da sich der Ofen dem Gewölbe nur zum Teil unterordnet und durch die schräge Anordnung der halb hohen Ofentür die ursprüngliche Form des Raums zu brechen scheint. Es dürfte sich der Bauart nach zu urteilen um die Hintertür eines Hinterladerofens handeln, welche zum Beheizen eines angrenzenden Raums genutzt wurden und frühestens im 15. Jahrhundert üblich waren (Henke, 1999). Durch den Einbau des renaissancezeitlichen Hinterladerofens und entsprechendem Flächenverbrauchs an der Ostseite des Raums entstand eine stark unregelmäßige Raumform. Dies wird durch die Nische an der Nordostecke noch verstärkt.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.14.: Texturiertes Modell des Heizraums.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

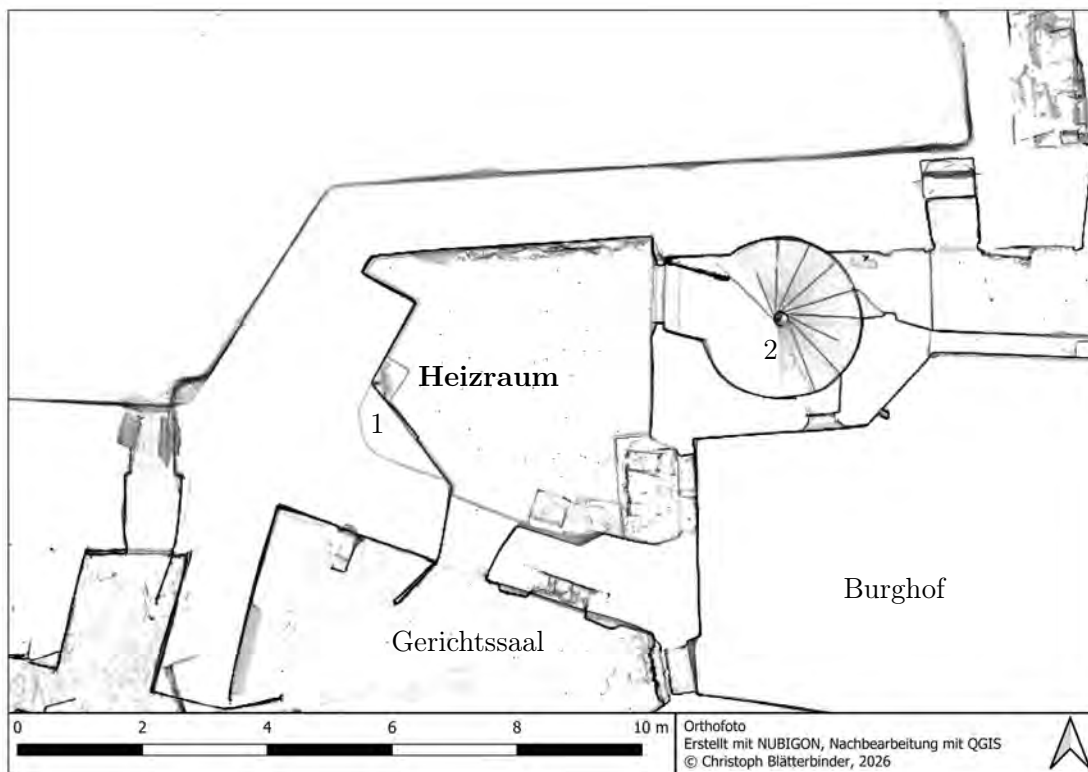


Abbildung 3.15.: Plan des Heizraums: Ofen (1); Wendeltreppe (2).

3. Ergebnisse

3.5.4. Speisesaal, Enzesfeld

Das Schloss Enzesfeld beherbergt heute die ehemalige Kassettendecke aus dem Rittersaal in Burg Engelstein, sowie die dazugehörige Wandverkleidung und ein massives Eingangsportal, welche in das 16. Jahrhundert datieren (Luchner, 1978). Die Rothschilds erwarben die Verkleidung und bauten diese im Speisezimmer des Schlosses ein (Sandgruber, 2018).

Der Raum besitzt einen annähernd rechteckigen Grundriss und bildet an einer Seite zwei Fensternischen und an einer Breitseite einen Erker mit quadratischem Grundriss aus (Abb. 3.16). Die Gesamtfläche des Raums beträgt knapp 47,20 m².

Die texturierte Vermaschung des Speisesaals zeigt dessen Einrichtung und Ausgestaltung in all ihren aktuellen Bestandteilen (Abb. 3.17). Das Speisezimmer umfasst eine umlaufende hölzerne Kassettenverkleidung mit Architekturmotiven, darunter Bögen, Pilaster und Kapitellen, sowie goldverkleidete, gedrehte Säulen. Das Eingangsportal wird von einem massiven Architrav und Flachgiebel gekrönt. Die Ornamentik des Portals umfasst je links und rechts eine Säule in geschwungener, sich nach oben hin verjüngender Form und Pferdeplastiken, wobei nur noch eine erhalten ist. Die Gliederung der Wandverkleidung weist einen klaren Rhythmus aus Pilastern und Bogenreihen und reicht bis zur Hälfte der Raumhöhe, wo sie von einer horizontal umlaufenden profilierten Leiste abgeschlossen wird.

Die Kassettendecke gliedert sich in unterschiedliche Zonen und geometrische Formen wie Quadrate und Rauten, sowie einen Zahnschnitt entlang des Rands und kleine, angedeutete Konsolen. Insgesamt ist eine starke Anlehnung an die Architektur der Antike erkennbar. Die durch ihre Profilierung leicht hervortretenden Pilaster akzentuieren die Ecken der Verkleidung, insbesondere an den Fensternischen.

Teile der Holzvertäfelung besitzen durch die langjährige Sonneneinstrahlung vergilbte Färbungen, diese decken sich jedoch nicht mit dem Lichteinfallswinkel des Speisesaals, in dem sie sich befindet. Manche der dunklen Holzpaneele sind zum Fenster ausgerichtet, während helle Abschnitte nicht dem Licht zugewandt sind. Dies zeigt, dass die Vertäfelung in Engelstein zerlegt und in einer anderen Zusammensetzung in Enzesfeld eingesetzt worden sein muss. Zudem wurden entlang der Eingangstür die Beine der dekorativen Pferdefiguren abgesägt. Um die Holzvertäfelung einpassen zu können, mussten Paneele erweitert oder entnommen worden sein. Zudem verfügt die Holzverkleidung in Enzesfeld über eine zweite Tür in der Höhe der Holzvertäfelung, welche in die Küche führt.

Die dichte Punktwolke und vollständige Vermaschung, sowie Texturierung des digitalen 3D Modells des Speisesaals von Enzesfeld bildeten die Grundlage für die digitale Visualisierung des Rittersaals in seinem ursprünglichen Zustand. Eine maßstabsgetreue Visualisierung des ursprünglichen Standorts und einer möglichen Zusammensetzung der einzelnen Module der Kassettendecke ist im Kapitel 3.5.6 (Abb. 3.22) zu finden.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

Enzesfeld

Orthofoto
Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung
mit QGIS und Adobe Illustrator
© Christoph Blätterbinder, 2026

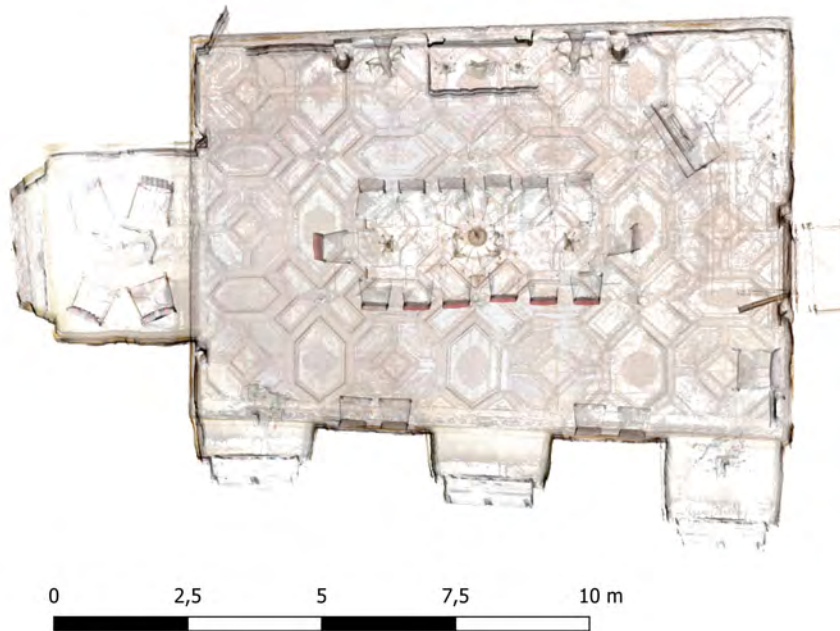


Abbildung 3.16.: Enzesfeld: Orthofoto des Speisezimmers.



Abbildung 3.17.: Enzesfeld: Texturierte Vermaschung des Speisezimmers.

3. Ergebnisse

3.5.5. Kemenate

Der Raum, der in den privaten Aufzeichnungen der Familie Rath als *Kemenate* bezeichnet wird, besitzt einen annähernd rechteckigen Grundriss mit einer Grundfläche von 23,67 m² und mehrere Nischen sowie einen Kamin (Abb. 3.19). Weiters gibt es ein Fenster hofseitig (innerer Burghof), sowie ein Fenster ostseitig (Schlosshof). Zutritt zur Kemenate erhält man über den Rittersaal. Der Eingang zum Raum ist in einen dekorativem Holzrahmen gefasst. Der Kamin in der Nordostecke des Raumes besitzt eine massive steinerne Fassung. Der Boden des Kamins ist aus Ziegeln gefertigt.

Das Modell zeigt die vollständige Bemalung des Raumes und dessen Einrichtung (Abb. 3.18). Die Wände sind vollflächig (restauriert) verputzt und zeigen zwei unterschiedliche Oberflächenzonen: großflächige rote Wandbereiche besitzen eine feine, wolkenartige Musterung, während die anderen Wandzonen graue bis weißliche Bemalung aufweisen. Im oberen Drittel der Wand befindet sich eine umlaufende Zierleiste aus Holz, welche nur zum Teil vorhanden ist.

Der Raum verfügt über ein Gewölbe, bestehend aus mehreren Kreuz- und Tonnenabschnitten. Die Gewölbeflächen sind hell gehalten und weisen ornamentartige Linienbänder entlang der Grate auf. Diese Linienbänder sind in gelblich-bräunlichen Farbtönen ausgeführt und unterstreichen die Segmentierung des Gewölbes.

Der Boden ist mit kleinen, rautenförmigen Fliesen ausgelegt, die ein unregelmäßiges Farbspiel aus Graublau-, Grün-, Beige- und Rottönen aufweisen. Die Anordnung der Fliesen ist in einem dichten, nur teils regelmäßigen diagonalen Raster ausgeführt und weist die selbe Machart wie der Boden des Gerichtssaals auf. Bei den verlegten Fliesen dürfte es sich um eine Bemalung und Glasur in *Majolika*-Technik handeln. Fliesen dieser Art weisen oft eine opake Zinnglasur auf (Bundesdenkmalamt, 2022).

Innerhalb des Raumes befindet sich rezente Einrichtung, darunter ein einfacher Tisch mit Metallgestell, ein Stuhl, ein hölzernes Spinnrad sowie Teppiche und ein Regal mit Mineralien. Die Einrichtung vermittelt die Atmosphäre eines Ausstellungsraums.

Bei Untersuchung der Kemenate im 2. OG mittels X-Ray Visualisierung und texturiertem Mesh sind mehrere Erkenntnisse zu gewinnen (Abb. 3.19). Der Raum besitzt größtenteils den Grundriss der darüber- und darunterliegenden Galerien. Anhand der hofseitigen Bogenwände ist allerdings erkennbar, dass diese ehemalige Galerie womöglich zugemauert wurde, um einen geschlossenen Raum zu schaffen. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass in der Kemenate kein Zugang zum nördlich liegenden Bergfried besteht. In der Nordostecke befindet sich stattdessen ein Kamin, dessen Schacht zum Teil fotogrammetrisch aufgenommen werden konnte. Der Schacht reicht in den darüberliegenden Raum (Galerie 3. OG).

Unter einer Kemenate ist grundsätzlich ein beheizter Raum (Kamin) zu verstehen. Die

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

Bedeutung als Frauenzimmer ist hingegen eine Erscheinung der Burgenforschung des 19. Jahrhunderts (Böhme et al., 2020). Die Ausgestaltung der Kemenate ist als deutliches Merkmal bei der Umformung von mittelalterlicher Einrichtung wehrhafter Burganlagen zu wohnlicheren, ausgeschmückten Schlossanlagen einzuordnen (Hofrichter, 1994). Die Schaffung des Raums dürfte mit der Umgestaltung des Rittersaals unter Christoph von Prag in Verbindung stehen (Pongratz and Tomaschek, 1975).

3. Ergebnisse



Abbildung 3.18.: Texturiertes Modell der Kemeñate.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

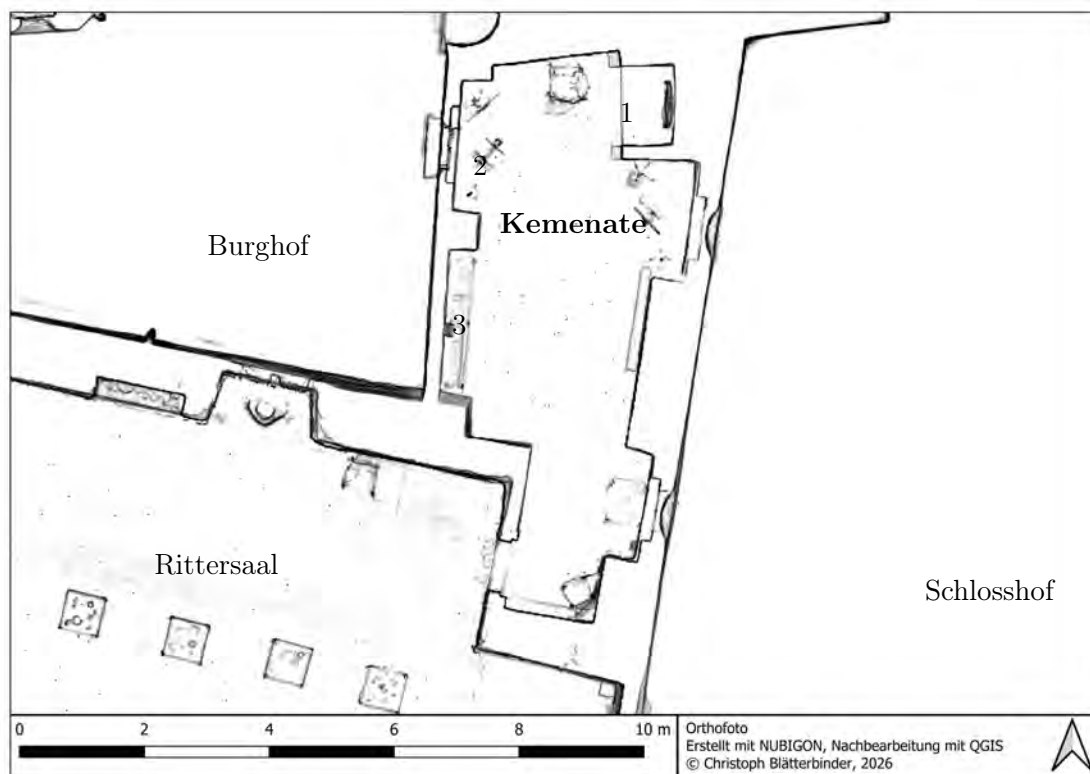


Abbildung 3.19.: Plan der Kemenate: Kamin (1); zugemauerte Arkaden (2 und 3).

3.5.6. Rittersaal

Der Rittersaal ist ein großformatiger Raum mit rechteckigem Grundriss und einer Grundfläche von $78,64\text{ m}^2$ (Abb. 3.21). Der Raum bildet ostseitig einen Erker aus und besitzt sowohl hof- als auch südwestseitig Fensternischen mit Segmentbögen. Die texturierte Vermaschung bildet die gesamte Ausstattung des Raumes ab (Abb. 3.20), inklusive größtenteils verputzter Wandflächen, hölzerner Flachdecke und hölzernem Boden. Die oberen Wandbereiche sind vollständig mit regelmäßigen ornamentierten Muster bedeckt, bestehend aus stilisierten floralen Formen in bläulicher Färbung auf orange-gelbem Grund.

Die horizontalen Wandzonen in der unteren Wandhälfte, welche ehemals die hölzerne Wandverkleidung trugen und jetzt das Mauerwerk preisgeben, sind mit roten und blauen Stoffvorhängen abgedeckt. Die Fenster sind mit buntem Glas rezent ausgestaltet. Die hölzerne, unverzierte Zwischendecke ist frei sichtbar, da die geschmückte Kassettendecke entfernt wurde. Es sind noch vereinzelt Reste der Verankerung der Kassettendecke in Form von hölzernen Balkenlagen und eisernen Befestigungen erkennbar. Mittig sind zwei Luster der Firma Lobmeyr befestigt.

Im Raum befinden sich rezente Einrichtung in Form von Ausstellungsgegenständen und frei stehenden Ausstellungsvitrinen. Es sind zahlreiche kunstvoll gestaltete Glaserzeugnisse der Firma Lobmeyr ausgestellt.

Bei der Analyse der 3D-Modelle des Rittersaals und des Raums in Enzesfeld wird rasch ersichtlich, dass sich die Höhe der Holzvertäfelung, insbesondere der Giebel der Eingangstür, nahezu identisch in einem hellen, farblosen Negativabdruck an der Wand an dessen ehemaliger Position im Rittersaal der Burg Engelstein abzeichnet (Abb. 3.17).

Die Ausgestaltung des Rittersaal im Stil der Renaissance mit der nicht mehr sichtbaren Holzverkleidung ist vermutlich unter dem Besitzer Christoph von Prag erfolgt, da im 16. Jahrhundert zahlreiche Umformungen mit entsprechenden Stilelementen auf der Burg nachgewiesen sind (Pongratz, 1971). Der Umbau des Rittersaals dürfte gemeinsam mit der Schaffung der angrenzenden Galerie im 2. Stock (Kemenate) geschehen worden sein. Der Fensterrahmen des Erkers an der Ostseite trägt zudem die Jahreszahl 1541, wodurch eine entsprechende Datierung des Raums möglich ist (Pongratz and Tomaschek, 1975). Unter Rittersälen sind meist nicht direkt Räumlichkeiten zum Zusammentreffen von Ritters gemeint, da es sich bei diesem Ausdruck um eine Bezeichnung aus der Burgenforschung der jüngeren Neuzeit handelt. Darunter ist gewöhnlicherweise ein Element der Schlossbaukunst des 17. Jahrhunderts zu verstehen (Böhme et al., 2020). Eine dezidierte Funktion als Rittersaal ist also anzuzweifeln.

Anhand des giebelförmigen Negativabdrucks und der Wandbemalung ist eine klare stratigraphische Abfolge in der Gestaltung der Wand ablesbar. Der Raum besaß vor der Renaissance eine weiß-graue Wand. Im Laufe der Umgestaltung des Saals wurde in der Renaissance die unteren Wandabschnitte eingetieft, um die schmuckvolle Wandvertäfelung



Abbildung 3.20.: Texturiertes Modell des Rittersaals: Abdruck des ehemaligen Portals (1); Wandverkleidung (2); und Kassettendecke (3);

zu verankern. In einer nächsten Umgestaltung wurden die Wandabschnitte oberhalb der Wandverkleidung neu gestrichen, ohne diese zu entfernen. Anschließend folgte die Entfernung der Wandverkleidung und offenbarte somit die unbemalte Zone über dem Westeingang.

Visualisierung des Rittersaals mit Wandvertäfelung

Beim Abgleich der Holzvertäfelung und entsprechender Visualisierung (Kapitel 2.2.2, Abb. 2.14) zeigte sich bereits, dass die Einrichtung von Enzesfeld in ihrer dortigen Verfassung und die Maße des Rittersaals in Engelstein nicht deckungsgleich sind. Daher müssen mehrere Teile der Verkleidung entfernt und neu zusammengesetzt worden sein. Hier stellt sich die Frage, wo diese Teile hingekommen sind. Auch der Winkel der jeweiligen Innenwände unterscheiden sich. Beide Räume besitzen jedoch Erker mit Fenstern. Ein passgenauer Einbau der Verkleidung ohne jegliche Adaptierung der einzelnen Module kann aufgrund des Größenunterschiedes und der unterschiedlichen Raumumrisse also nicht möglich gewesen sein. Im Gegensatz zur Kassettendecke und der einzelnen Wandmodule ist jedoch eine passgenaue Position des massiven hölzernen Portals möglich.

Im Zuge der Erstellung der skalierten digitalen Modelle wurde mithilfe der einzelnen dokumentierten Bestandteile beider Räume eine Visualisierung der potenziellen Ausgestaltung des Rittersaals erstellt und die Module der Vertäfelung neu angeordnet (Abb. 3.22). Die Visualisierung zeigt eine Zusammensetzung aus der Einrichtung, wie sie in Enzesfeld fotografisch aufgenommen wurde, und dem bemalten Gemäuer des Rittersaals in einer möglichen Kombination. Diese Illustration dient als Veranschaulichung einer potenziellen

3. Ergebnisse

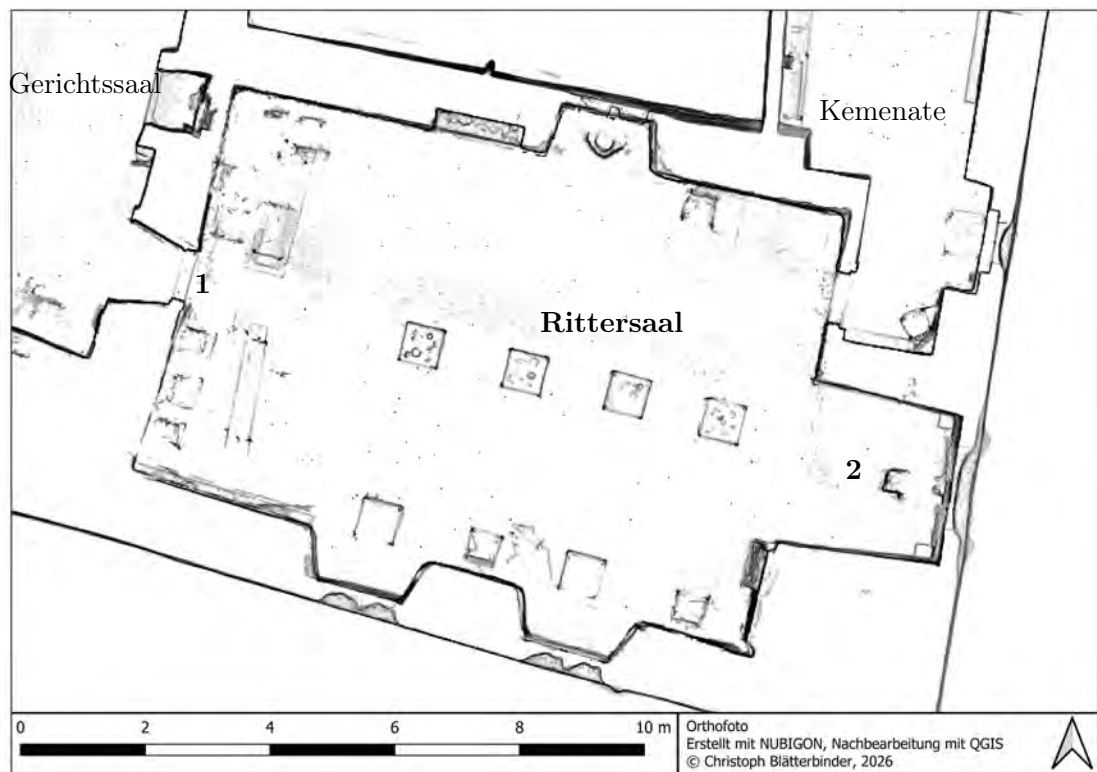


Abbildung 3.21.: Plan des Rittersaals. Eingang und ehemalige Position des hölzernen Portals (1); Erker zur Ostseite (2).

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

voll möblierten Zusammensetzung des Raums mit repräsentativer Einrichtung, wie sie in der Barockzeit vorhanden gewesen sein könnte.

Der Verkauf der Holzverkleidung stellt eine wichtige Zäsur in der Geschichte von Enzesfeld dar, da die Decke aus Geldnot verkauft werden musste.³ Der Verkauf der Kassettendecke und der Holzvertäfelung stellt ein Beispiel für eine weit verbreitete Praxis des Verkaufs und Ausbaus von schmuckvollen Interieurs dar, welches besonders im 19. und 20. Jahrhundert praktiziert wurde. Der Erwerb von diversen Einrichtungen ist in ähnlicher Weise auch in England und den USA bekannt, und wurde auch für andere Anwesen der Familie Rothschild nachgewiesen (Harris and Art, 2007).

Der Einbau von Gebäudeteilen aus anderen Gebäuden ist in der Tradition der Spolien zu verorten, beispielsweise im Einbau römischer Architektur im Frühmittelalter. Die Praxis des Einbaus hölzerner Verkleidungen und steinerner Plastiken fand in Zeiten von Weltausstellungen am Ende des 19. Jahrhunderts große Beliebtheit. Es lässt sich feststellen, dass durch das Einbringen historischer Einrichtung eine historische Verbindung und Kontinuität zwischen verschiedenen Orten, Zeiten und Bewohner:innen künstlich hergestellt wird (Alhafudh and Ali, 2025).

Nun ist der Transfer der Wand- und Deckenverkleidung sowohl ein Beispiel für die Präservierung historischer Einrichtung, aber auch teilweiser Zerstörung, da die ursprüngliche, vollständige Zusammensetzung der einzelnen Teile nicht mehr gegeben ist. Es wird sichtbar, in welchem ökonomischen Gegensatz Enzesfeld und Engelstein zueinander stehen. Während Engelstein zu Beginn des 20. Jahrhunderts das dunkelste Kapitel seiner Geschichte durchmachte, konnte Familie Rothschild die Verkleidung erwerben, so aber auch einen finanziellen Beitrag zum Fortbestand von Burg Engelstein leisten.

³Quelle: Private Chronik der Burg Engelstein, niedergeschrieben von Peter Rath, Durchsicht am 26.11.2025.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.22.: Visualisierung des Rittersaals in Engelstein mit der Wand- und Deckenverkleidung.

3.5.7. Bergfried

Das Zentrum der Burganlage bildet der spätromanische Bergfried, welcher sowohl mittelalterlichen Wehrcharakter als auch wohnliche Umbauten aufweist (Stenzel and Beckel, 1973; Kühtreiber, 2009). In der südlichen Ecke der Turmfassade ist am Verputz noch der ehemalige Schornstein sichtbar (Abb. 3.32). Beim Vergleich der X-Ray Ansicht mit den Grundrisszeichnungen von A. Klaar sind Differenzen im Grundriss der Fensterauslassungen zu sehen (Abb. 3.23). Diese sind in ihrem Querschnitt an der Innenseite schmaler und werden nach außen hin breiter. Es ist anzunehmen, dass dadurch mehr Licht in die Räume fällt. In den alten Plänen sind die Fenster in ihrem Querschnitt rechtwinkelig zur Mauer eingezeichnet.

Der Querschnitt durch die Räume des Bergfrieds vermittelt einen Überblick über die Ausgestaltung der einzelnen Räume (Abb. 3.24). Es ist rasch ein starker Kontrast zwischen der äußeren Erscheinung des Turms und der vergleichsweise wohnlichen Ausgestaltung der Innenräume festzustellen, welche mit der Einbindung des Turms in den Wohncharakter der Burg in späteren Jahrhunderten begründet sind (Reichhalter et al., 2001). So ist im Querschnitt eine Wandbemalung und Tapezierung zu erkennen, welche wohnlichen Charakter aufweisen.

Der unterste Raum des Bergfrieds (Kerker) ist nicht nur durch seine Eingangssituation von bauhistorischer Relevanz (der Raum ist lediglich von außen betretbar), sondern auch durch die Tatsache, dass hier als einziger Raum in der gesamten Burganlage das gesamte Mauerwerk sichtbar ist. Dieses umfasst eher kleinteilige Bruchsteine.

Entsprechend einer für das Mittelalter typischen Bauweise dürfte der Turm ehemals Zinnen besessen haben, die nicht mehr sichtbar sind und für die Errichtung des Spitzdachs übermauert wurden (Luchner, 1978). Dies ist im Modell durchaus zu beobachten: oberhalb der Mauern im obersten Turmgeschoss ist ein Gewölbe aufgesetzt, welches einen insgesamt größeren Grundriss als der Boden des Geschosses aufweist. Im Querschnitt ist also die Außenwand des Geschosses schmaler als unten. Die Zinnen könnten sich somit in Fensterhöhe befunden haben.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass der Bergfried den Ursprung der Burganlage bildet, und der Rest der Anlage darum entstand (Pongratz, 1971).

Anhand der Gesamtschau des Bergfrieds mittels der vorliegenden 3D-Dokumentation ist also eine große Zeitspanne in der Nutzung der Burganlage sichtbar: die Nutzung nach der Errichtung (anhand des Kerkers) bis hin zur Nutzung als repräsentativer Wohnraum (Ausgestaltung des 1. und 2. OG), sowie dessen mögliche Aufstockung (anhand des obersten Turmgeschosses).

3. Ergebnisse

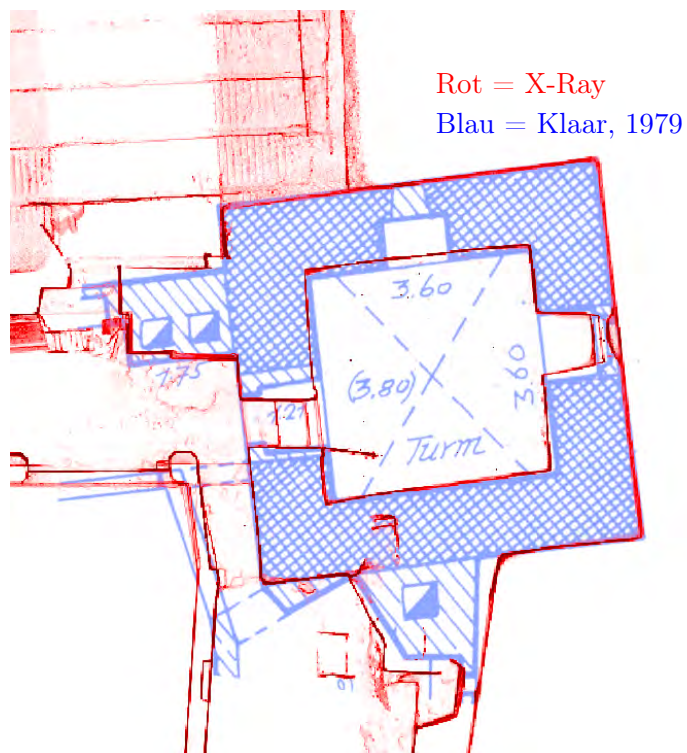


Abbildung 3.23.: Vergleich des Bergfrieds im Grundriss von 1979 und der X-Ray Darstellung.

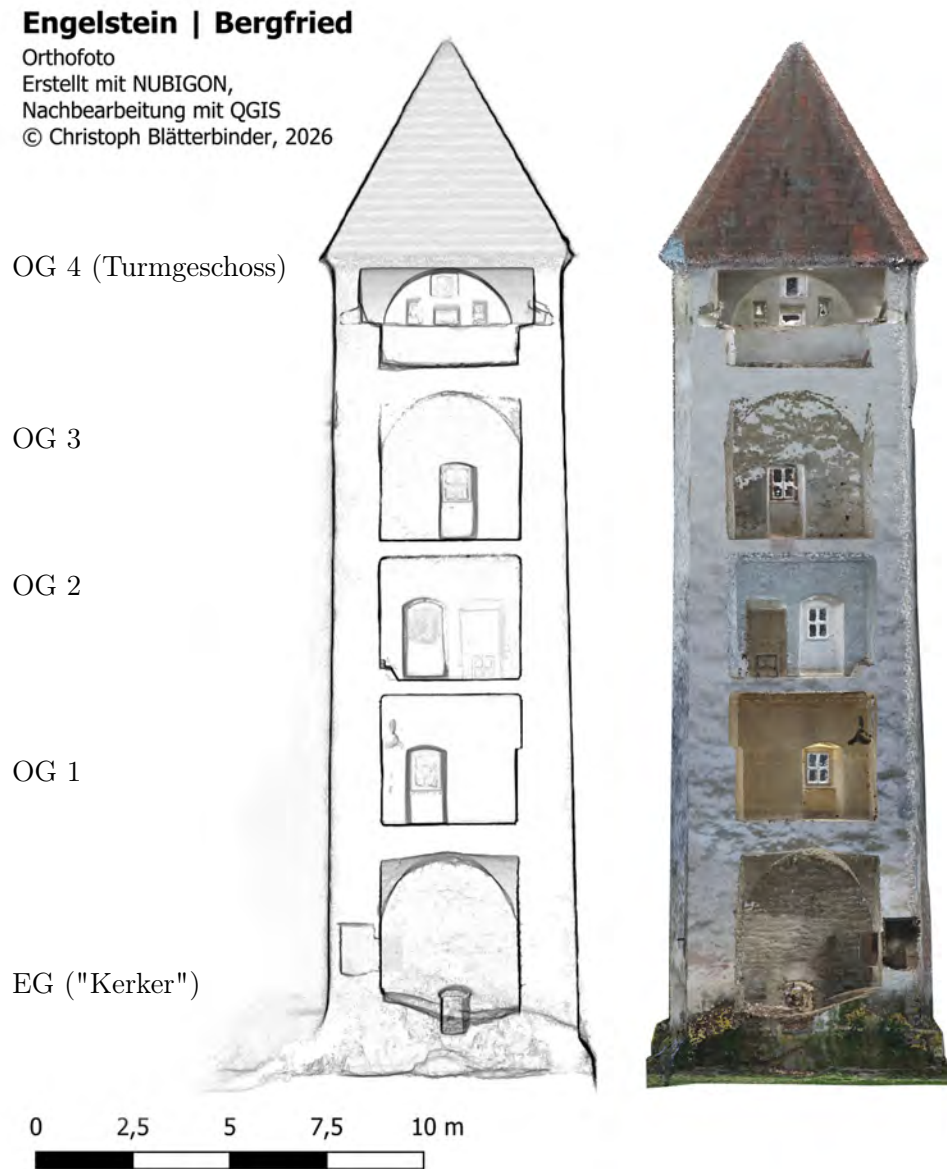


Abbildung 3.24.: Querschnitt durch den Bergfried.

3.5.8. Wendeltreppe

Die Wendeltreppe an der Nordseite der Hauptburg bildet das einzige Stiegenhaus innerhalb der Kernanlage und reicht somit vom Erdgeschoss bis zum Dachgeschoss. Die Bauweise, Maße und die Einbindung des Stiegenhauses mit den angrenzenden Räumlichkeiten sind anhand der X-Ray Darstellung ersichtlich (Abb. 3.6). Zugang zur Stiege erhält man über den inneren Burghof im Erdgeschoss. Der Durchmesser des Stiegenhauses beträgt entsprechend der X-Ray Abbildung 2,57 m, die Grundfläche im Erdgeschoss 6,41 m².

Das Stiegenhaus weist einen von unten nach oben weitgehend identischen Querschnitt auf und bildet am oberen Ende ein Kreuzgewölbe aus. Zudem ist im Querschnitt ein leichter Höhenunterschied der einzelnen angrenzenden Stockwerke zu erkennen. Alle angeschlossenen Räume sind mit Türen ausgestattet, welche in das Treppenhaus schwenken. Am oberen Ende bildet das Treppenhaus ein weiß verputztes Kreuzgewölbe aus. Die Wände sind ebenfalls vollständig verputzt. Weitere Abbildungen und detaillierte Zustandsbeschreibung der Stiege sind im Anhang, Kapitel A zu finden.

Das Stiegenhaus in Engelstein entspricht typologisch dem Schema einer Spindeltreppe (Koepf and Binding, 2005). Stiegen dieser Art kennzeichnen sich dadurch aus, dass die einzelnen Stufen jeweils an ihrem rund behauenen Ende um einen zentralen Mittelpunkt und somit entlang einer vertikalen Achse (Spindel) aufeinander geschichtet sind (Abb. 3.25). Sofern die Stiege nicht freistehend ist, sind üblicherweise die Stufen in die Wände verankert, was in Engelstein der Fall ist (Mielke, 1993; Koepf and Binding, 2005). Eine Spindeltreppe wie in Engelstein stellt eine platzsparende Lösung für einen Aufgang dar, zumal es möglich war, Ebenen trotz unterschiedlicher Raumhöhen miteinander in einem Stiegenhaus in unterschiedlichen Winkeln miteinander zu verbinden.

Anders als bei einer sonst üblichen Schneckenstiege, welche einen Leerraum in der Mitte aufweist, ist bei einer Spindeltreppe kein Blick in das untere oder obere Ende des Stiegenhauses möglich (Koepf and Binding, 2005). Die Stufen sind aus massiven geschichteten Werksteinen gefertigt und besitzen eine profilierte Vorderkante. Auch die Mittelachse der Stiege besitzt eine vertikal verlaufende, leicht gewundene Profilierung, welche direkt in die einzelnen geschichteten Stufen eingearbeitet ist.

Eine Datierung des Stiegenhauses kann für die Spätgotik, genauer in das frühe 16. Jahrhundert angenommen werden (Pongratz and Tomaschek, 1986; Reichhalter et al., 2001).

Methodisch stellt das Stiegenhaus neben dem inneren Burghof einen wichtigen funktionalen Teil des 3D-Modells dar. Mithilfe der Treppe war es für den IBM-Algorithmus erst möglich, die einzelnen Räume im Alignment-Prozess miteinander zu verbinden. Hierbei wurde besonders darauf geachtet, die Eingänge der einzelnen Räume aus verschiedenen Winkeln und Entfernungen zu fotografieren. In mehreren Durchgängen wurde die Stiege sowohl mit, als auch ohne Blitz fotografiert.

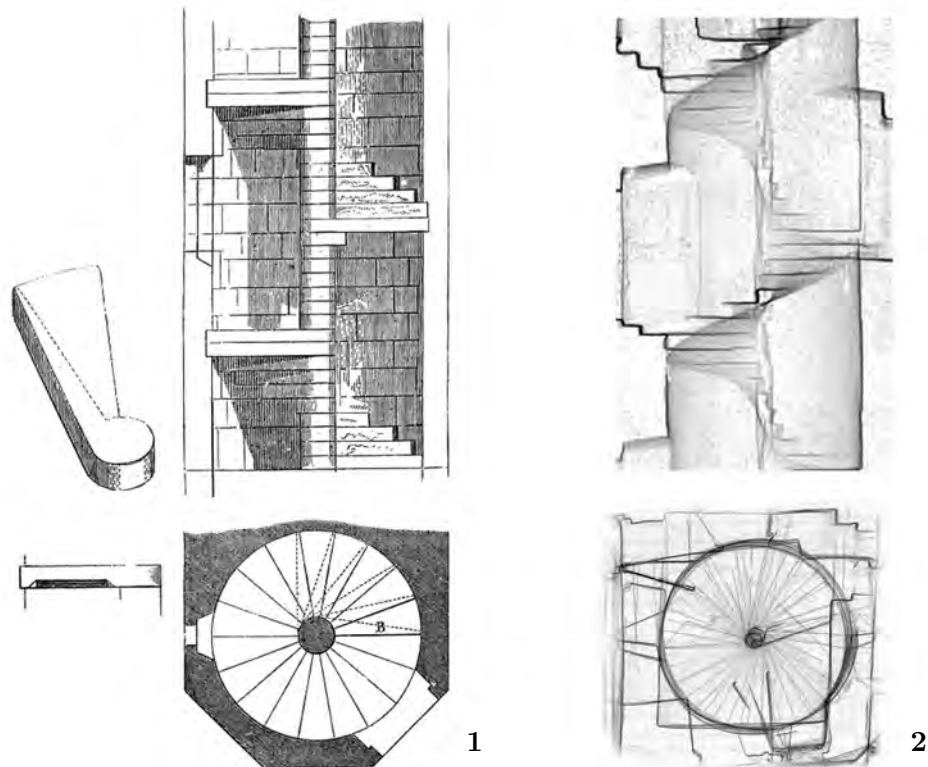


Abbildung 3.25.: Vergleich: schematische Darstellung und Wendeltreppe von Engelstein (X-Ray View): Schematischer Aufbau einer Wendeltreppe aus dem 12. Jahrhundert (1) (le Duc, 1854–1868) und Wendeltreppe von Engelstein im X-Ray View (2).

3. Ergebnisse

3.5.9. Burghof

Zugang zum Innenhof der Kernburg erhält man über das Torhaus im Erdgeschoss. Der Hof dient als zentraler Verbindungsort zwischen Palasbau, ehemaligem Stall und Küche, sowie der Wendeltreppe. Durch die verschachtelten, sich überlagernden Bauteile in den oberen Stockwerken und die drei Obergeschosse wirkt der innere Burghof im Vergleich zum Schlosshof stark beengt und erlaubt nur geringen Lichteinfall.

Im Mauerwerk des gesamten inneren Burghofs sind zahlreiche Umbauten erkennbar. In einer Rundnische befand sich einst die Marienstatue, die sich mittlerweile in der Schlosskapelle befindet. Zudem ist der nicht mehr vorhandene Verbindungsgang im ersten Stock im Mauerwerk zu erkennen. Der Innenhof von Schloss Engelstein präsentiert sich als mehrphasig überformter Hof mit annähernd dreieckigem Grundriss, der unterschiedliche Bauteile aufweist (Arkaden, Verbindungsgänge und aufgelassene Eingänge), die sich in ihrer architektonischen Sprache (beispielsweise Formen von Säulen und Fensterfassungen) stilistisch teils stark voneinander unterscheiden und ein heterogenes Gesamtbild verschiedenster Umbautätigkeiten aufweisen.

Die Rundnische in der Nordostecke zeigt durch ihre gelbe, prägnante Rahmung und Ausgestaltung im Inneren Merkmale der Barockzeit auf. Es sind Zonen mit freiliegendem Mauerwerk, aber auch vollständig verputzte Mauern, sowie polychrome Wandbemalungen sichtbar. Die Putzverluste geben einen Einblick in heterogenes Mauerwerk aus unregelmäßigem Bruchstein und nachträglich eingefügten Ziegelzonen, die auf mehrfache Umbauten und Reparaturphasen schließen lassen.

Die Fensteröffnungen variieren stark in Form und Größe. Neben kleinen, hohen rechteckigen Öffnungen mit einfacher Werksteinrahmung finden sich größere Kreuzstockfenster. Teilweise sind ehemalige Öffnungen vermauert oder mit schmiedeeisernen Fenstergittern versehen. Diese uneinheitlichen Bestandteile belegen eine lange Abfolge baulicher Anpassungen nach unterschiedlichen Bedürfnissen der jeweiligen Besitzer.

Im Zentrum des Hofes befindet sich ein kreisrunder gemauerter Rundbrunnen, welcher direkt in den Granitfels gehauen wurde und mit einem geschmiedeten Eisengitter abgedeckt ist.

Der innere Burghof bietet an der Nordseite direkten Zugang zum Stiegenhaus und zur Küche, an der Westseite zu Kellerräumen und an der Südseite zum am tiefsten gelegenen Kellerraum, in den Plänen von A. Klaar als *Palasbau* bezeichnet.

Der Innenhof verfügt durch zahlreiche erkennbare Um- und Einbauten über eine hohe stratigrafische Komplexität, besonders an der Ostseite. Dort sind mehrere zugemauerte Mauerbereiche, vorspringende Verbindungstrakte und aufgelassene Zugänge zu finden, welche auf zahlreiche Veränderungen in den Zugängen zwischen einzelnen Räumlichkeiten im Burghof schließen lassen und in der X-Ray Darstellung visuell hervortreten (Abb. 3.26).

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

Die baulichen Veränderungen äußern sich vor allem in der Schaffung oder Auffassung von Zugangssituationen zwischen den einzelnen Burgbereichen. Anhand des Modells ist eine komplexe Anordnung von Nischen, unterschiedlichen Fensterpositionen, Arkaden und Umbauten erkennbar, die sich in den einzelnen Stockwerken versetzt überlagern. Fenster- und Säulenpositionen sind in den einzelnen Etagen im Vergleich stark unterschiedlich und unregelmäßig.

Rechtsseitig an der Ostfassade befinden sich aufgelassene Türen, welche die Überreste eines Durchganges zwischen dem östlichen Arkadengang und dem Theatersaal andeuten (Abb. 3.26, Nr. 3 und 4). Von der Verbindung, welche vermutlich eine Konstruktion auf Konsolen gewesen sein dürfte, ist nichts mehr erhalten. Linksseitig bietet sich eine ähnliche Situation: hier befindet sich ein vorspringender, diagonal verlaufender Verbindungstrakt, welcher eine Umgehung des Turms entlang des Innenhofs ermöglicht. Dieser Durchgang ist noch vollständig erhalten und weist starke Schäden am Verputz auf, was wiederum den Blick auf das kleinteilige Ziegelmauerwerk freigibt.

In den Obergeschossen befinden sich Arkadengänge mit Rundbögen auf Säulen mit vier- und sechseckigem Grundriss, die den Blick auf den Burghof freigeben. Es sind flächiger weißer Putz mit Bemalungen in roter und gelber Farbe sichtbar, darunter viereckige Rahmen mit Rankenornamentik. Weitere Abbildungen und detaillierte Zustandsbeschreibung der Stiege sind im Anhang, Kapitel A zu finden.

Visualisierung des Burghofs mit Marienstatue

Im zweiten Obergeschoss befindet sich eine Nische mit Rundbogen, welche offenbar für eine Statue geschaffen wurde (Abb. 3.26, Nr. 1). Die Nische besitzt einen halbkreisförmigen Grundriss und gelbe Ausmalung am Rand. Die Marienstatue, welche sich heute in einer Wandnische in der Marienkapelle befindet, dürfte vormals hier gestanden sein. Eine entsprechende Visualisierung wurde mithilfe des digitalen Modells erstellt (Abb. 3.28). Die Verwendung der Nische für eine Statue ist aufgrund ihrer Maße und der Ähnlichkeit zu Wandnischen im sakralen Kontext mit Heiligenfiguren in Kirchen naheliegend.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.26.: Innerer Burghof. Leere Nische (1); vorspringender Durchgang Arkade (2); Zugänge des ehemaligen Verbindungstrakts zwischen Bering und Theatersaal (3 und 4).

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

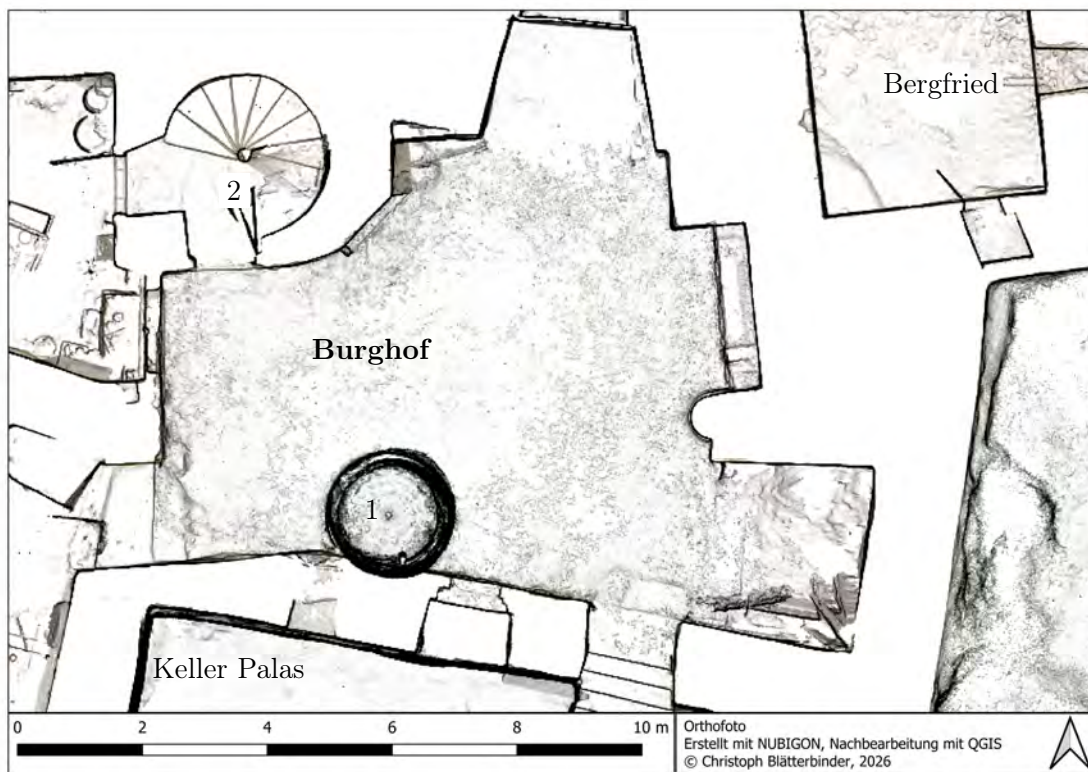


Abbildung 3.27.: Plan des Burghofs (Erdgeschoss): Brunnen (1); Wendeltreppe (2).

3. Ergebnisse



Abbildung 3.28.: Visualisierung des Innenhofs mit Marienstatue.

3.5.10. Dachgeschoss mit Freskensaal

Das Dachgeschoss beinhaltet die zwei Freskensäle aus der Renaissance mit typischen Wandmalereien aus dieser Zeit, darunter großflächige dunkle Farbfelder und architektonische Ornamente in Sgraffito-Technik mit Terra-Sigillata-Motiven. Der Freskensaal an der Ostseite soll hier detailliert behandelt werden, da die darin umlaufenden Wandmalereien vergleichsweise großflächig erhalten sind. Beim östlichen Freskensaal handelt es sich um einen Raum mit rechteckigem Grundriss, drei Fenstern und Ziegelboden. Zugang erhält man über die obere Galerie und den Freskensaal West (Abb. 3.30). Der Raum misst im digitalen 3D-Modell in der Länge knapp 12,20 m, in der Breite 8,12 m und in der Höhe knapp 7,75 m.

Das Dachgeschoss mit dem dazugehörigen Freskensaal bildet den kunsthistorisch vielfältigsten Bestandteil des renaissancezeitlichen Baubestands im Obergeschoss. In mehreren Räumen des dritten Stocks ist nach einem Brand im Jahr 1910 die ursprüngliche Holzdecke nicht mehr vorhanden, wodurch der Blick auf den Dachstuhl komplett frei liegt. Das Dach entspricht einem liegenden Dachstuhl, welcher mithilfe überspannender Bundbalken den gesamten Raum überspannt und ohne vertikale Stützen im Raum auskommt (Koepf and Binding, 2005).

Das 3D-Modell zeigt einen Überblick über die kunstvolle Ausgestaltung des Raums (Abb. 3.29). Die aus den Daten gewonnenen orthografischen Ansichten (Anhang, Kapitel D) bieten eine hochaufgelöste, maßstabsgetreue und entzerrte Abbildung der zahlreichen Sgraffito-Malereien. Die Abbildungen erlauben zudem einen Blick auf die diversen Einritzungen. Zahlreiche Namen und Zeichnungen sind in die schwarzen Felder der Wandbemalung eingekerbt und heben sich stark in weißer Farbe vom schwarzen Hintergrund ab. Die Einritzungen umfassen zahlreiche Botschaften, Namen und Jahreszahlen, welche teilweise in bis das 19. Jahrhundert datieren. Die Inschriften und Einritzungen befinden sich hauptsächlich in den schwarzen Feldern der Wandbemalung und treten dementsprechend stark kontrastierend hervor. Der Ziegelboden ist mit Schutt bedeckt, der Bodenbelag ist daher nicht freiliegend.

Unter Sgraffito, auch als Kratzputz bezeichnet, ist eine Maltechnik zu verstehen, bei der mehrere unterschiedlich gefärbte Putzschichten auf angefeuchteten Mauergrund aufgetragen werden, wobei anschließend die oberste Schicht entfernt wird, um ein kontrastierendes Bild zu schaffen (Koepf and Binding, 2005; Lipp, 1985).

Ähnliche Sgraffito-Malereien sind auch an renaissancezeitlichen Hausfassaden des gehobenen Bürgertums im nördlichen Niederösterreich zu finden, beispielsweise in Eggenburg, Weitra und Retz (Tinzl, 2018).

Der Raum vermittelt durch seine künstlerisch aufwendige Ausgestaltung eine repräsentative Atmosphäre. Die vergleichsweise dünnen Wandstärken der Außenwände im Vergleich zu den unteren Etagen und der Raumzusammenhang mit dem gesamten Dachgeschoss, sowie

3. Ergebnisse



Abbildung 3.29.: Texturierte Vermaschung des Freskensaals Ost.

die Technik in der verwendeten Bemalung ermöglichen eine Datierung in die Renaissance (16. Jahrhundert). Der Raum steht somit mit der Aufstockung des ostseitigen Berings in Verbindung (Klaar, 1979). Weitere Abbildungen und detaillierte Zustandsbeschreibung der Stiege sind im Anhang, Kapitel A zu finden.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

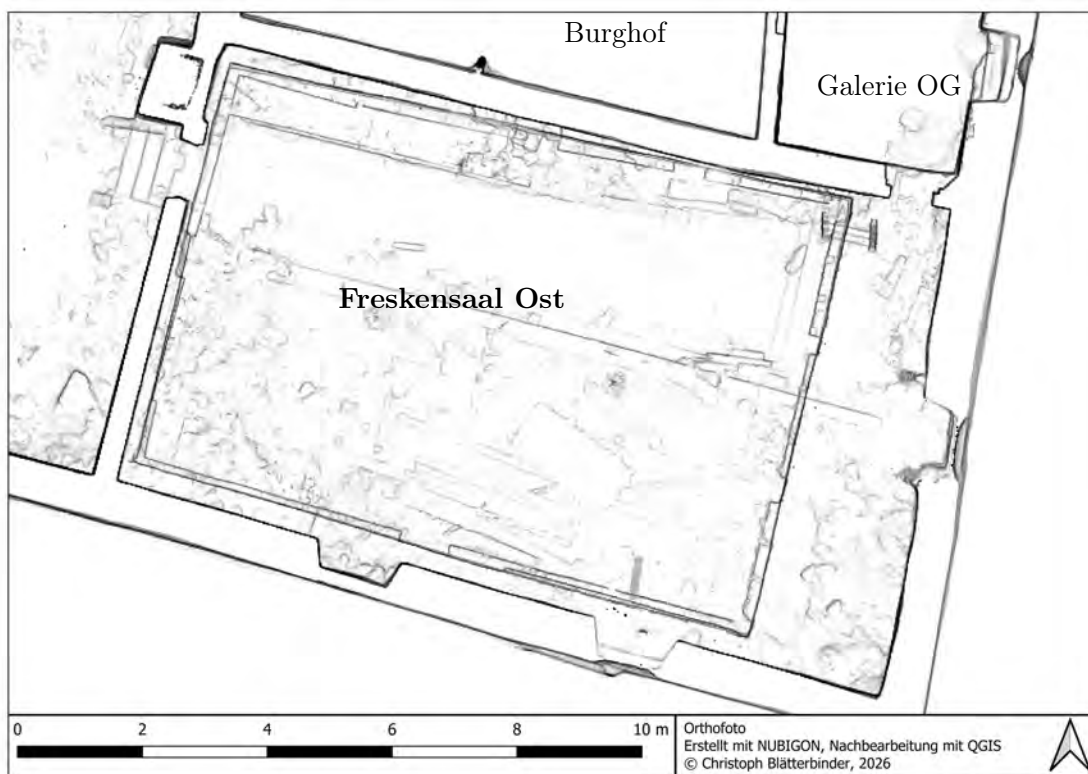


Abbildung 3.30.: Plan des Freskensaals Ost.

3. Ergebnisse

3.5.11. Schlosshof

Der Schlosshof bildet eine unregelmäßigen, in Teilen U-förmig geschlossene grasbewachsene Freifläche von 426,77 m², und liegt zwischen dem östlichen, rezent gelb übermalten Wohn- und Wirtschaftstrakten und dem westlich anschließenden mittelalterlichen Kernbau (Abb. 3.33). In seinem nordwestlichen Ende wird der Ausläufer des Hofes vom Bergfried und dem spätmittelalterlichen Nordtrakt mit angeschlossenem Torbau flankiert. Dort war auch vormals die Zugbrücke situiert.

Es sind an den Außenwänden des Hofes mehrere Bauphasen festzustellen, die sich stark architektonisch und farblich voneinander abheben. Im Westen befinden sich der ostseitige Bering und Bergfried der Hauptburg, welche bis auf die renaissancezeitlichen Umbauten in das Hochmittelalter (ab dem 13. Jahrhundert) datieren (Klaar, 1979; Reichhalter et al., 2001).

An der Süd- und Ostseite schließt der barocke Schlosstrakt an den Kernbau an, wodurch der annähernd U-förmige Schlosshof entsteht. Der Hof bietet Zugang zur Kapelle und über den ehemaligen Wehrgang zur Hauptburg, sowie zum Schlosstrakt ost- und südseitig über einen hölzernen Aufgang und ein Stiegenhaus. Ebenso erhält man Zugang zu den Kellerräumen und in zum Kerkerraum (Erdgeschoss) des Bergfrieds. Der Osttrakt zeigt hofseitig eine einheitliche spätmoderne Fassadengestaltung mit gelben Anstrich, welche die ältere Putz- und Farblagen weitgehend überdeckt.

Zwischen Schlosstrakt und mittelalterlichem Kernbau liegt nordseitig ein komplexer Übergangstrakt, bestehend aus Torhaus, Galerie und Kapelle, der sowohl mittelalterliche Mauerteile als auch barocke und neuzeitliche Ergänzungen enthält, aber äußerlich durch die Übermalung schwer datierbar sind (Klaar, 1979).

In der Fassade der Hauptburg sind zahlreiche Umbauten erkennbar, welche sich in Form von Merkmalen am Putz bemerkbar machen (Abb. 3.32). An der Ostseite des Hofes befindet sich ein moderner Umgang aus Holz. An der Fassade der mittelalterlichen Hauptburg sind die Reste eines Anbaus (möglicherweise Wehrgangs) durch den dunkleren Verputz erkennbar. Im Obergeschoss befinden sich kleine, kunstvoll ausgeführte Fenster mit Rundbögen, sowie ein großes rechteckiges Fenster. Im zweiten Obergeschoss ist ein großes rechteckiges Fenster sichtbar, das rezent mit Ziegeln verschlossen wurde.

Ehemaliger Wehrgang/Galerie

An der Außenmauer des östlichen Berings zeichnet sich am Verputz horizontal und vertikal ein nicht mehr vorhandener Anbau ab. Anhand der Position ist ein ehemaliger Wehrgang oder eine Arkade mit Zugang zum südseitigen Schlosstrakt denkbar. Ebenso zeichnet sich an der südöstlichen Ecke des Bergfrieds am Verputz die Lage des ehemaligen Kamins ab,

welcher aufgrund seiner Positionierung dem untersten Turmgeschoss (Kerker) zuzuordnen sein dürfte.

Ehemaliger Wehrgraben

Ein weiteres Untersuchungsgebiet der Burg Engelstein umfasst das Verfolgen und die Interpretation von Wehranlagen. Engelstein besitzt einen mittelalterlichen Wehrgraben, welcher heute nur noch zum Teil sichtbar ist. Die Anlage erlebte zahlreiche Umbauten im Zuge einer Entwicklung von Wehranlage zu repräsentativer Wohnanlage (Eppel, 1984; Reichhalter et al., 2001).

Besonders das Höhenmodell (Abb. C.2) liefert Ansätze zur Interpretation des ehemaligen Verlaufs des Burggrabens. Es kann durch die deutlich sichtbaren Geländemerkmale davon ausgegangen werden, dass sich sowohl rundum die mittelalterliche Hauptburg, als auch vor dem Schlosseingang Verteidigungsanlagen in Form eines Grabens befunden haben könnten. Diese treten durch die Farbgebung deutlich hervor.

Zunächst scheint sich die Hauptburg in ihrem Grundriss stark dem Umriss des steil abfallenden Granitfelsens unterzuordnen. Dies ist vor allem an der Westseite sichtbar, während an der Ostseite wenig Anzeichen für eine klare Identifikation von Wehrgräben sichtbar sind. An der Südseite ist die Punktwolke aufgrund der starken Vegetation und daraus folgenden Filterung nicht sehr dicht ausgebildet. Jedoch ist anhand der Auffahrt zum Schlosstor die ehemalige Zugbrücke mit Wehrgraben festzustellen.

Es kann im Schlosshof davon ausgegangen werden, dass der Wehrgraben vor dem Bergfried zum Großteil eingeebnet wurde, oder es sich um einen Halsgraben handelte. Gräben dieser Art umschließen bewusst nur einen Teil einer Burganlage (Friedrich, 2004). Halsgräben finden sich besonders oft bei Spornburgen, da so die Außenfront zum anschließenden Plateau abgetrennt wurde um die Burg zu schützen (Böhme et al., 2020). Dies ist in Engelstein deutlich durch den Niveauunterschied zwischen der Ost- und Westseite festzustellen. Jedenfalls sind Zeichen eines Burggrabens noch in Form des Zugangs zu den Kellerräumen erkennbar. Zudem ist überliefert, dass zur Hauptburg ehemals eine Zugbrücke führte (Pongratz and Tomaschek, 1975; Pongratz and Seebach, 1971).

Aus dem starken Höhenunterschied im Gelände zwischen der Ost- und Westseite kann geschlossen werden, dass für eine ausreichende Verteidigung der Burg eine künstliche Bewehrung in Form eines Burggrabens nötig gewesen sein muss, da die Anlage auf dem dortigen Bodenniveau jeglichem Angriff ausgesetzt gewesen wäre. Der nicht vorhandene Nordturm ist zudem eine wichtige Bedeutung in der Verteidigung der Anlage zuzuweisen, da so der Torbereich von zwei Seiten (südost- und nordwestseitig) flankiert gewesen wäre. Zudem wäre die Situation am Verbindungstrakt zwischen Torhaus und Marienkapelle nach Norden hin geschützt gewesen.

3. Ergebnisse

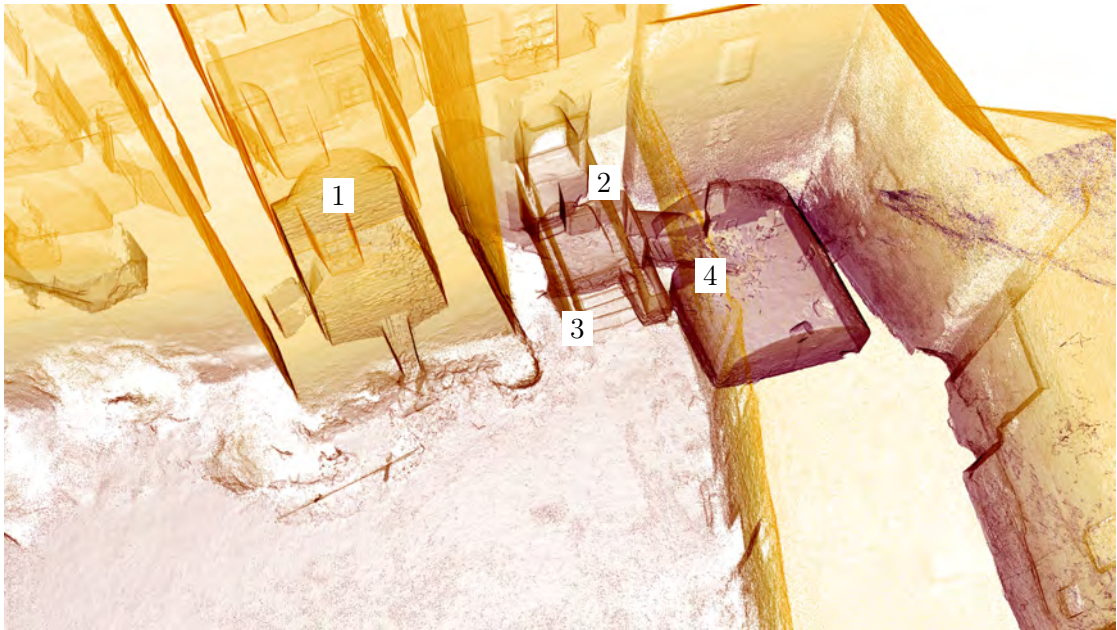


Abbildung 3.31.: Schlosshof mit ehemaligem Burggraben und Zugang zum Keller: Kerker (1); Ehemal. Zugbrücke (2); Ehemal. Wehrgraben (3); Keller (4).

Ehemalige Zugbrücke

Weiters sind über dem gotischen Spitzbogen des Eingangstors der Hauptburg Reste der ehemaligen Zugbrücke zu sehen (Abb. 3.32). So ist noch eine rechteckige Scharte für die Führung der dazugehörigen Kette zu erkennen (Böhme et al., 2020).

Grundsätzlich ist unter Zugbrücken zwischen Schwungrutenbrücke (einer Balkenkonstruktion zum Hochziehen der Brücke) und herkömmlichen Zugbrücken mittels Kette oder Seil mit Führung durch eine Maueröffnung zu unterscheiden (Herrmann, 2015). Im Falle von Engelstein ist von der Verwendung einer Zugbrücke auszugehen, deren Kette durch zwei Öffnungen geführt wurde, wobei nur noch eine Öffnung vorhanden ist.

Bemerkenswert ist also, warum nur eine der ursprünglich zwei Scharten für die Kettenführung immer noch vorhanden ist. Die Scharte ist lediglich an der Außenseite sichtbar und an der Innenseite des Torbaus zugemauert.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche



Abbildung 3.32.: Texturierte Vermaschung des Schlosshofs: Ehemaliger Wehrgang (1); Ehemaliger Schornstein (2); Zugang Kerker (3); Eingang mit ehemaligem Burggraben und Scharte für Zugbrücke (4).

3. Ergebnisse

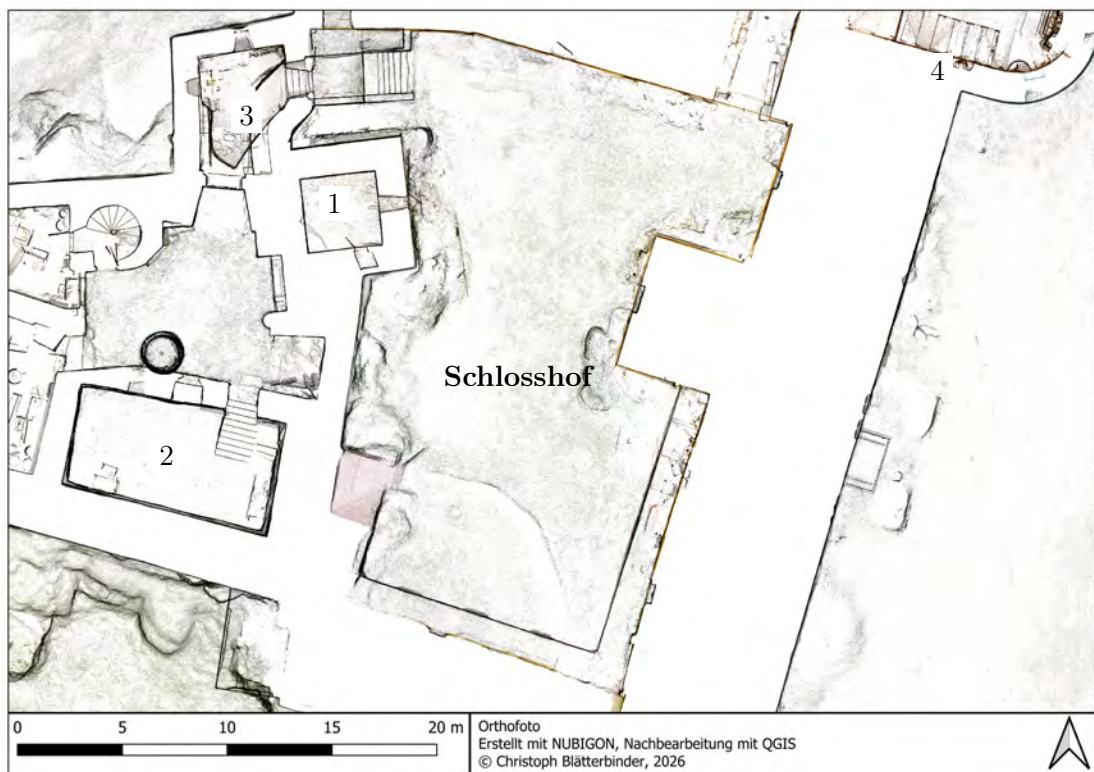


Abbildung 3.33.: Plan des Schlosshofs: Bergfried (1); Keller (2); Torbau (3); Marienkappe (4).

3.5.12. Schlosskapelle hl. Maria

Bereits von außen sticht die Kapelle mit ihrer weiß verputzten Apsis, Rundfenstern mit roter Randbemalung und grünem Kupferdach aus dem umliegenden Mauerwerk des Schlosstraktes hervor. Über einen nord-ostseitigen Korridor im Schlosshof, anschließend über eine eiserne Gittertür und eine hölzerne Eingangstür mit Rundfenster gelangt man vom Schlosshof in die Schlosskapelle.

Das Kreuzgratgewölbe ist durchgehend weiß gestrichen. Im Zentrum des Deckengewölbes ist ein moderner elektrischer Luster zu finden. Die gesamte Höhe der ostseitigen Apsis wird von einem barocken Hochaltar geschmückt.

Der schlichte Steinboden erstreckt sich über die gesamte Grundfläche des Raumes. Die Kapelle ist räumlich in zwei Ebenen gegliedert. Über eine Treppe gelangt man von einer Tribüne auf die untere Ebene zu Sitzbänken und Altar. Unten befinden sich zehn hölzerne Sitzbänke, auf der Tribüne vier Sitzbänke. Die Wandfarbe ist in typischer barocker Manier hellgelb mit weißen Fenster- und Türeinfassungen.

Beide Wände an den Längsseiten sind behangen mit gerahmten Darstellungen der Stationen der Kreuzigung Jesu. Eine Statue Jesu befindet sich an der Wand nordseitig. Das Zentrum der Apsis bildet ein massiver, polychromer barocker Hochaltar aus Marmor, bestehend aus einer nach innen gewölbten Front und einem Bogen, versehen mit goldenem Dekor. Der Altar nimmt die gesamte Höhe der Apsis ein. Mittig im Bogen des Altars steht eine Marienstatue, darum gruppiert Engelsfiguren. Tischplatte, Marienstatue und schwarzer Marmorsockel datieren vermutlich anders als der Rest, da sie sich deutlich stilistisch und farblich vom Ensemble abheben. Am Fuße des Altars ist eine nicht originale Tischplatte zu finden, welche auf schwarzem Marmor ruht. Südseitig ist eine Nische in die Mauer eingelassen, in der eine Marienstatue untergebracht ist.

In der X-Ray-Ansicht (Abb. 3.34) wird deutlich, dass die Wandstärke an der Nordostseite geringer ist als an der gegenüberliegenden Seite. Zudem ist eine klare Dreiteilung des Gewölbes in einzelne Kreuzgratgewölbe erkennbar. Die maximale Höhe der einzelnen Gewölbekappen unterscheidet sich leicht, da die östliche Kappe über dem Altar leicht höher ist. Die akzentuierte X-Ray Ansicht zeigt zudem die Maße der Einrichtung, beispielsweise der Sitzbänke.

Die Kapelle wurde nach schriftlichen Nachweisen im Jahr 1736 geweiht, wobei aufgrund bestimmter architektonischer Details (darunter Stuckscheiben und Perlstab an den Wänden und am Gewölbe) ein tiefgreifender Umbau in das 17. Jahrhundert datierbar ist (Pongratz and Seebach, 1971). Der Bau ist in seiner ersten Form bereits im Jahr 1478 erstmals schriftlich erwähnt, wobei von dieser ursprünglichen Phase nur wenig sichtbar ist (Klaar, 1979). Die Wände und das Gewölbe zeigen gut erhaltene Farbe und Verputz, entsprechend guter Instandhaltung und Restaurierung. In Anbetracht der Quellenlage ist also ein Ensemble aus unterschiedlichen Bauphasen anzunehmen, wobei die barockzeitlichen

3. Ergebnisse

Elemente stark dominieren.

Das Zentrum in der ostseitigen Apsis der Kapelle bildet der barocke Hochaltar (Abb. 3.35). Er füllt die gesamte Fläche der Apsis aus. Besonders der Altar weist Bestandteile auf, welche durch ihre Erscheinung (Farbe und Materialität) unterschiedlich datieren dürften. So heben sich die dunkel gefärbte Basis und Tischplatte am unteren Ende des Altars deutlich vom Rest des Ensembles ab.

Die Kapelle ist der heiligen Mutter Maria geweiht und dient im Rahmen der Marienandacht am 15. August bis heute als Ziel für Wallfahrten.⁴ An der Südlichen Längsseite der Kapelle befindet sich eine Nische mit einer polychromen Marienplastik. Sie steht genau gegenüber des Nordfensters. Die Statue dürfte sich ehemals in einer Nische in der Nordostecke des inneren Burghofs befunden haben.⁵ Eine maßstabsgetreue Visualisierung des ursprünglichen Standorts der Statue ist im Kapitel 3.5.9 (Abb. 3.28) vorgeschlagen.

In der Röntgenansicht stechen zwei steinerne Konsolen an der nördlichen Längsseite hervor, welche sich auf Höhe des Gewölbes der Kapelle befinden (Abb. 3.34, 1). Es ist aufgrund der architektonischen Gesamtsituation an der Nordseite (aufgelassene Ausgänge, fehlender Nordturm) anzunehmen, dass auf den steinernen Konsolen einst eine Galerie zur Hauptburg ruhte.

⁴Quelle: Geländebesichtigung und persönliche Auskunft von Hrn. Peter Rath in Engelstein am 07.04.2025

⁵Ebd.

Engelstein | Kapelle

Orthofoto

Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS

© Christoph Blätterbinder, 2026

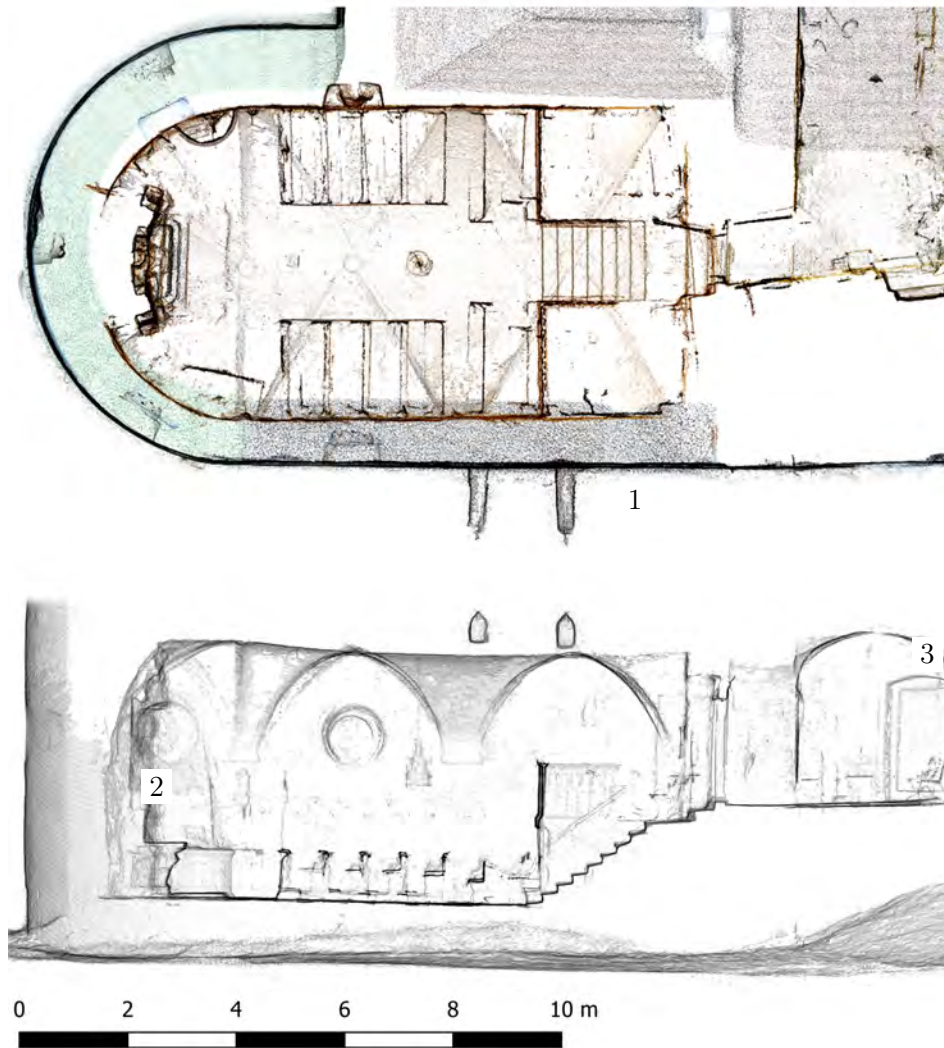


Abbildung 3.34.: Röntgenansicht der Schlosskapelle: Konsole (1); Altar (2); Zugang zum Schlosshof (3).

3. Ergebnisse



Abbildung 3.35.: Kapelle (Vermaschung in Metashape).

3.5.13. Torhaus

Einen weiteren Untersuchungsbereich stellt das zweigeschossige Torhaus im Wirtschaftshof dar. Es weist einen quadratischen Grundriss auf und gewährt durch zwei Rundbögen den Eintritt zum Wirtschaftshof. Der beige Verputz ist restauriert und voll intakt, wodurch sich das Gebäude stark vom Rest der Anlage abhebt. Bei Betrachtung des Grundrisses in der X-Ray Ansicht fällt auf, dass das Torhaus nicht an derselben Achse wie der anschließende Wirtschaftstrakt ausgerichtet ist (Abb. 3.37).

Der Vergleich des Torhauses zwischen unterschiedlich datierenden Darstellungen und Fotos liefert Erkenntnisse über Veränderungen am Gebäudekomplex. Hierzu dienen das digitale Modell, welches den Zustand 2025 abbildet, sowie der Stich von G. M. Vischer aus dem Jahr 1629, sowie ein Postkartenmotiv von 1980 (Abb. 3.36).

In neuzeitlichen Darstellungen ist das Torhaus von Engelstein abgebildet und vermittelt eine zeitgenössische Darstellung der Schlossanlage im 17. Jahrhundert (Abb. 3.36, B). Die Position des in der Zeichnung dargestellten Tors scheint der heutigen Position nicht zu entsprechen. Dieses befindet sich heute weiter südöstlich und ist direkt in Form eines Torhauses in den Wirtschaftstrakt eingegliedert. Der große Unterschied liegt in der Positionierung eines Rundturms, welcher sich bei Vischer neben dem Tor befindet. Insgesamt ist anhand des Vergleichs mit dem Stich Vischers eine starke Veränderung und ein fast vollständiges Fehlen des vorgelagerten Traktes mit dazugehörigen Türmen an der Nordostecke zu erkennen.

Die architektonische Form, sowohl vom Tor als auch vom Wirtschaftstrakt, unterscheidet sich dort deutlich von der heutigen, während die Position des Tors deutlich identifizierbar ist. Aufgrund der Ausrichtung des Torhauses liegt eine Interpretation mehrerer Bauphasen nahe. So dürfte das Torhaus in der spätesten Umbauphase des Schlosses, möglicherweise nach Abriss des vorgelagerten Schlosstraktes, nach innen verlegt worden sein und in Form eines Torhauses neu errichtet worden sein. Ebenso weist das Torhaus heute eine rezente Dachdeckung auf, die weder im Postkartenmotiv aus den 1980er Jahren, noch im Stich von Vischer sichtbar ist (Abb. 3.36). In Anbetracht dieser Beobachtungen kann von tiefgreifenden Umbauten und Abrissen an der Ostseite des Gebäudekomplexes ausgegangen werden.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.36.: Vergleich des Torhauses: Postkarte von 1980 (A); Stich von G. M. Vischer 1629 (B); texturierte Vermaschung (C); rot = Torhaus; Gelb = Schlosstrakt; Grün = Wirtschaftstrakt.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche



Abbildung 3.37.: Ausrichtung des Torhauses (rot) im Orthofoto. Zugang Schloss und Wirtschaftshof (1); Torhaus (2); Wirtschaftstrakt (3 und 4).

3.5.14. Schüttkasten

Südöstlich des Burgareals befindet sich ein Gebäude mit länglichem, rechteckigem Grundriss, bei dem es sich um einen ehemaligen Schüttkasten (Speicherbau) handelt (Abb. 3.38). Unter Schüttkästen sind meist mehrgeschossige mittelalterliche oder neuzeitliche Speicherbauten für Getreide mit meist länglichem Grundriss zu verstehen, die zur Lagerung von Getreide dienten (Knittler et al., 2017). Die Gebäude befinden sich gewöhnlich etwas abseits von Burg- und Schlossanlagen und verfügen über eine Straßenanbindung und breite Eingänge für Transportwägen. Vergleichbare Gebäude sind in Harmannsdorf und Schloss Petronell nachgewiesen (Wiplinger, 2021; Knittler et al., 2017). Die dortigen Gebäude weisen ebenfalls mehrere Etagen mit vergleichsweise kleinen Fensteröffnungen auf. Ein Großteil der Schüttkästen im Waldviertel datiert in das 16. bis in das 18. Jahrhundert, wobei es sich vereinzelt um Umbauten auf bestehenden Gebäuden handelt (Benesch et al., 2010).

Im Schüttkasten von Engelstein sind trotz starkem Bewuchs und fehlender Dachkonstruktion noch zahlreiche typische Bestandteile eines großflächigen Speichergebäudes sichtbar. Es sind anhand der ehemaligen Setzungen der Horizontalbalken der Zwischendecken und Fensterreihen die ehemaligen drei Etagen deutlich erkennbar. Das Gebäude ist laut den Maßen im digitalen Modell knapp 7,5 m breit und knapp über 61 m lang.

Der Dachstuhl ist nicht mehr erhalten, der Innenraum wird derzeit partiell als Garten genutzt. Die Mauer ist an der östlichen Längsseite zu einem Drittel offen. Die nach oben hin größer werdende Mauerlücke deutet auf die Entnahme von Mauersteinen und somit als Verwendung des Gebäudes als Steinbruch hin. An der Südwestseite befindet sich noch die Mauerfront eines weiteren Gebäudes, die bis zum Giebel erhalten ist und so noch die ursprüngliche Höhe des Dachstuhls erkennen lässt.

Eine Datierung des Schüttkastens in das 16. bis 18. Jahrhundert, wie es in ähnlichen Bauten der Fall ist (Benesch et al., 2010) ist naheliegend, da es sich um einen Nachfolgebau des ehemaligen Speichertraktes in der mittelalterlichen Hauptburg handeln könnte (Pongratz and Tomaschek, 1975). Der mittelalterliche Speicher im vorspringenden Westtrakt der Hauptburg dürfte aus Platzgründen nach dem Mittelalter ausgelagert worden sein, was am beträchtlichen Größenunterschied erkennbar ist. Der Schüttkasten dürfte über die gesamte Länge drei Etagen besessen haben, was bei einer Länge von knapp 61 Metern insgesamt einer Lagerfläche von insgesamt 1.365,75 m² und einem potenziellen Lagervolumen von rund 3.232,28 m³ entspricht.

Somit ist anzunehmen, dass in der neuzeitlichen Nutzung Engelsteins ein steigender Bedarf nach großen Lagerflächen für Getreide bestand. Dies könnte mit größerer landwirtschaftlicher Produktionsleistung, aber auch dem Bedarf nach langfristiger Lagerung landwirtschaftlicher Güter in Verbindung stehen.

3.5. Vorstellung einzelner Burgbereiche

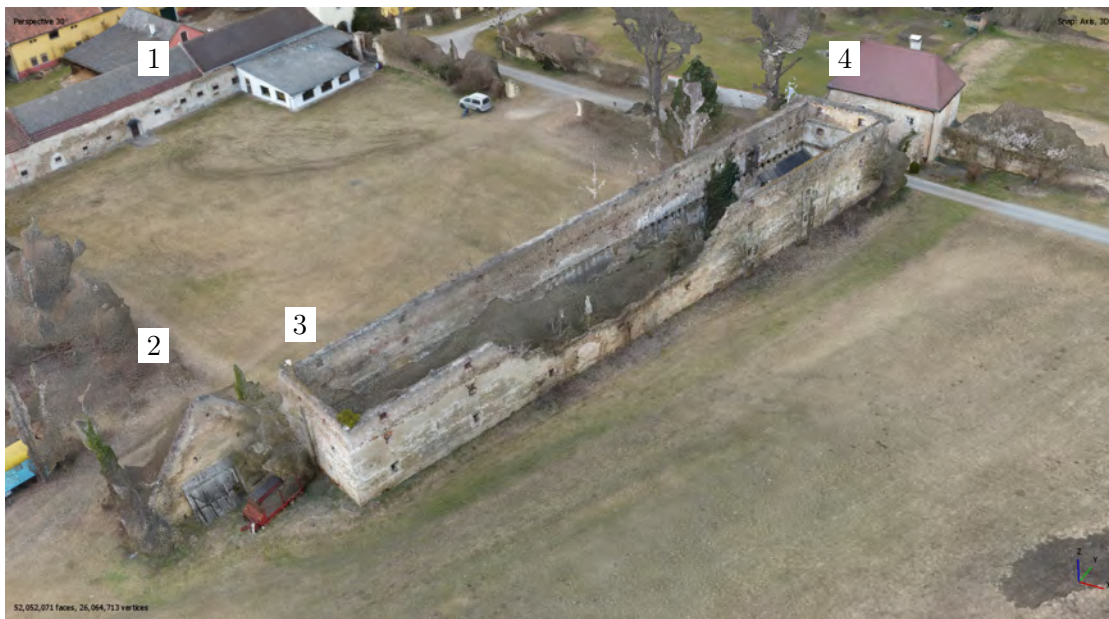


Abbildung 3.38.: Texturiertes Modell des Schüttkastens (Agisoft Metashape). Wirtschaftshof (1); Reste eines Nebengebäudes (2); Schüttkasten (3); Gartenhaus (4).

4. Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des 3D-Modells diskutiert und Erkenntnisse und Herausforderungen zu herausragenden Räumen und Bereichen der Burganlage vorgestellt. Es werden die aus den 3D-Modell gewonnen Erkenntnisse über die Anlage, die ausgewählten Räumlichkeiten und architektonischen sowie kunsthistorischen Merkmale anhand der gewonnenen Daten analysiert. Außerdem wird exemplarisch diskutiert, wie die gewonnenen Daten und deren Verarbeitung und Visualisierung für eine tiefgreifende weiterführende Analyse mittelalterlicher Befestigungsanlagen verwendet werden können. Ebenso werden methodische Aspekte wie Georeferenzierung, und Image Based Modelling als Alternative zu Laserscanning evaluiert. Es folgen sozioökonomische Interpretationen und die Bedeutung des Modells für die Denkmalpflege. Auch interdisziplinäre Nutzungspotenziale, beispielsweise für die digitale Kulturvermittlung, werden evaluiert. Eine detailliertere Zustandsbeschreibung aller erfasster Räumlichkeiten findet sich im Anhang.

4.1. Genauigkeit des Modells

4.1.1. Auflösung

Eine Stärke des Modells stellt die Auflösung dar, welche durch eine große Anzahl von Fotos aus möglichst kurzer Entfernung gegeben ist. Die Auflösung des Modells beträgt laut Metashape 0,928 mm/Pixel. Gemeint ist damit, dass auf einen Pixel im Modell eine Fläche von 0,928 mm erfasst wurden. Somit können Strukturen im Millimeterbereich auf der Objektoberfläche aufgelöst werden. Dies kann für kunsthistorische Untersuchungen eine nachvollziehbare Grundlage für die Analyse von Malereien, sowie für Restaurator:innen eine Referenz für die Einschätzung und Kartierung von Schäden darstellen. Insbesondere die Erzeugung hochauflösender Orthofotos, sowie die orthografische Ansicht einzelner Räume kann dies gewährleisten.

4.1.2. Qualität der Georeferenzierung

Eine wichtige Voraussetzung für die Georeferenzierung des Modells und Weiterverarbeitung in geografischen Informationsprogrammen stellt ein hoher Genauigkeitsgrad in der

4. Diskussion

GNSS-Positionierung dar. Die Positionierungsdaten für das Modell der Burg Engelstein lieferten im Aufnahmeprozess die GNSS-Daten der Drohne. Die in Engelstein verwendete *DJI Mini* zeichnet in den Metadaten der Fotos mit einem integrierten GNSS-System GLO-NASS und Galileo Positionierungsdaten im Koordinatensystem WGS 84 auf. Das System liefert eine vertikale Genauigkeit von $\pm 0,1$ m (mit Sichtpositionierung) und $\pm 0,5$ m (mit GNSS-Positionierung), sowie horizontal $\pm 0,3$ m (mit Sichtpositionierung) beziehungsweise $\pm 1,5$ m (mit GNSS-Positionierung) (DJI, 2022a).

Vergleiche zwischen Drohnen-GNSS und der Einmessung von Kontrollpunkten am Boden (Ground Control Points – GCPs) demonstrieren meist einen Qualitätsunterschied in der Genauigkeit der Positionierung, weshalb in der archäologischen Befunddokumentation entsprechende GPC Einmessungen vorgezogen werden (Talha and Fritsch, 2019; Bayram et al., 2015). Grundsätzlich kann argumentiert werden, dass die Erwartung an die Genauigkeit an die jeweilige Fragestellung und den Verwendungsbereich angepasst werden muss (Wyatt-Spratt, 2018). Richtlinien für archäologische Maßnahmen schreiben beispielsweise eine Georeferenzierung im Subdezimeterbereich vor (Bundesdenkmalamt, 2024). Aufgrund der guten Verfügbarkeit von Drohnensystemen auf Nutzerebene und der niedrigen Einarbeitungszeit in die Technik sollte dennoch der zeitliche Faktor und niedrigschwellige Zugang gegenüber traditionellen Vermessungssystemen nicht außer Acht gelassen werden. Dies kann insbesondere für Besitzer:innen, Historiker:innen und Restaurator:innen ein Argument sein, derartige Modelle zu erstellen (Alotaibi et al., 2024; Talha and Fritsch, 2019).

Die Genauigkeit der Georeferenzierung des Modells und der einzelnen Drohnenpositionen der Burg Engelstein kann anhand mehrerer Kriterien beurteilt werden. Einige der Drohnenfotos weisen laut Metashape eine Abweichung (Fehler in Metern) in der Positionierung auf. Gemeint ist damit die Differenz zwischen absoluter Drohnenposition (laut Metadaten in den Fotos) und der von Metashape ermittelten Kameraposition im Zuge des Alignments (Tab. 4.1). Diese Abweichung ist aufgrund der zuvor angesprochenen Genauigkeit von Drohnen auf Nutzerebene wie der Modelle von DJI nicht überraschend (DJI, 2022b).

Insgesamt sind laut Metashape zwischen den optimierten Kamerapositionen, welche im Alignment berechnet wurden, und den Positionen des verwendeten Drohnen-GNSS Abweichungen im Dezimeter- bis Meterbereich festzustellen. Hierbei muss angemerkt werden, dass dies nicht automatisch bedeutet, dass das Modell mehrere Meter an der falschen geografischen Position liegt. In den Werten ist die Differenz zwischen GNSS- und Bildinformationen, sowohl entlang der x-, y- als auch z-Achse, berücksichtigt. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die interne Geometrie des Modells selbst, da diese durch das Image-Matching, also die Überschneidung der einzelnen Bildpunkte gegeben ist (Pirotti et al., 2022; Bhatla et al., 2012).

Alternativ kann die Genauigkeit der Positionierung durch Zuhilfenahme von Festpunkten verbessert werden. In Agisoft Metashape ist grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, Festpunkte aus Katasterdaten oder eingemessene Punkte in der Form von *Ground Control*

Points zur Georeferenzierung des Modells zu verwenden. Die jeweils zu erwartende Genauigkeit dieser Punkte muss, wie bei den Drohnen-GNSS-Daten, vom Nutzer in Metashape angegeben werden, und die Punkte müssen naturgemäß deutlich auf mehreren Fotos identifizierbar sein. (Agisoft LLC, 2025; Zhang and Zhang, 2025).

Die Georeferenzierung entlang der X- und Y-Achse wurde zudem anhand der Abweichung zwischen der Position der Spitze des Bergfrieds in der Austria Basemap und im 3D Modell nach ihren WGS 84-Koordinaten verglichen. Zwischen den beiden Punkten (Modell: 48.64057208° N, 14.94362008° E und Basemap: 48.64059154° N, 14.94362559° E) ergibt das einen Fehler von knapp 2,21 Metern. Dies ist deckungsgleich mit dem Fehler, den Metashape angibt (Tab. 4.1).

In Anbetracht dieser Faktoren kann konkludiert werden, dass die absolute Positionierung des Modells eine größere Abweichung aufweist als beispielsweise in den Anforderungen für Archäologische Maßnahmen vorgeschrieben (Bundesdenkmalamt, 2024), da diese bei Engelstein im einstelligen Meterbereich (X- und Y-Achse) liegt. Diese Abweichung ist für Drohnen auf einfacher Nutzerebene wie der DJI Mini durchaus üblich und war bei der Datenaufnahme zu erwarten (DJI, 2022a,b). Eine berechtigte Frage ist, ob und für welche Fragestellungen eine Georeferenzierung eines Gebäudekomplexes im Dezimeter- oder Zentimeterbereich zwingend notwendig ist. Die vorliegenden Daten zeigen nämlich, dass mithilfe einer korrekten internen Geometrie im Millimeterbereich und einer hohen Auflösung des Modells bereits zahlreiche Analysen und Visualisierungen für verschiedene Fragestellungen möglich sind.

4.1.3. Geometrische Genauigkeit

Ein wichtiger Aspekt ist die geometrische Genauigkeit und Skalierung des Modells. Um sicherzugehen, dass die Skalierung einem hohen Genauigkeitsgrad entspricht, wie er besonders für Fragestellungen und Untersuchungen im Bereich der Bauforschung notwendig ist, wurde eine möglichst genaue Abmessung des Gebäudes an ausgewählten Stellen zur Kontrolle durchgeführt.

Ein Marker für die Ermittlung der Genauigkeit des Modells stellt neben der Überprüfung der Raumgröße der *Reprojection Error* (angegeben in Pixeln) dar. Er beschreibt die Differenz zwischen den auf den Fotos sichtbaren Objektpositionen und den von Metashape berechneten Positionen. Diese Abweichung beträgt im Fall von Engelstein 1,78 Pixel, somit ist eine Genauigkeit von unter 2 Pixeln gegeben.

Als anschaulicher Richtwert für die Einschätzung der geometrischen Genauigkeit kann die Abweichung von Pixeln in Millimeter umgerechnet werden. Demnach beträgt diese unter Berücksichtigung der Auflösung des Modells (1.08 mm) nach folgender Rechnung: **1.78 px** $\times$ **1.08 mm/px** = **1.9224 mm**. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Genauigkeit des Modells im niedrigen einstelligen Millimeterbereich liegt. Selbstverständlich

4. Diskussion

Parameter	Wert
Projections	29.937.295
Ground resolution	0,928 mm/px
Reprojection error	1,78 px
Accuracy	Medium
X error (m)	2.2488
Y error (m)	2.56037
Z error (m)	40.4542

Tabelle 4.1.: Metashape: Genauigkeit im Alignment.

stellt dies einen Durchschnittswert dar, welcher nicht zwingend auf alle Burgbereiche zutrifft. Wie zuvor angesprochen, ist in der Bauaufnahme von 1979 von einem auf Genauigkeitsgrad von 5 cm auszugehen. Somit ist im 3D-Modell eine 20 bis 30-fach höhere Genauigkeit im Vergleich zur Bauaufnahme gegeben. Im Vergleich zur klassischen Bauaufnahme, welche bereits eine hohe Genauigkeit aufweist, konnte nachgewiesen werden, welch hohen Detailgrad Image Based Modelling in der Erfassung räumlicher Daten bieten kann.

4.2. Herausforderungen in der Datenverarbeitung

Prozessierung und Speicherung großer Datenmengen

Eine große Herausforderung in der Erstellung von photogrammetrischen 3D-Modellen stellt die Speicherung großer Datenmengen und deren effiziente Verarbeitung dar. Durch die Notwendigkeit von Hochleistungs-Grafikkarten und schnellen Prozessoren, sowie umfangreichem Arbeitsspeicher für fotogrammetrischen Anwendungen kann besonders bei großen Projekten mit mehreren tausend Fotos an die Grenzen des Machbaren gestoßen werden. Dies wurde besonders in dieser Arbeit deutlich. Bei der Verarbeitung von knapp über 11.000 Fotos und der Erstellung der Punktwolke mit den Einstellungen *High* und *Medium* benötigte der Rechner des Vienna Institute of Archaeological Science trotz einer Ausstattung mit 128 GB Arbeitsspeicher und einer Grafikkarte mit 24 GB Grafikspeicher für die Berechnung der einzelnen Punktwolken meist etwa 8 bis 12 Stunden.

Die hohen Kosten von Hardwarekomponenten stellen in manchen Fällen zudem eine Einstiegsbarriere für Projekte mit großen Datenmengen dar. In vergangenen Jahren entwickelten sich jedoch neue und effiziente Möglichkeiten zur Prozessierung und Speicherung großer Datenmengen, beispielsweise durch Cloud Computing und Algorithmen zur effizienten Komprimierung von Bilddaten und Punktwolken (Zhang and Zhang, 2025).

Selbst Smartphone-Kameras können eine kostengünstige und einsteigerfreundliche Mög-

lichkeit für die Erstellung von einfachen 3D-Modellen darstellen (Dabove et al., 2019). Ebenso steigt die Anzahl der Anbieter von kostengünstigen mobilen Apps zur Erstellung photogrammetrischer 3D-Modelle mittels Smartphone-Kameras ohne große Vorkenntnisse oder Einarbeitungszeit (Monterisi et al., 2023).

Professionelle Anwendungen wie Agisoft Metashape bieten unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeit zu netzwerkbasierendem Rendering. Hierbei können aufwendige Rechenvorgänge auf ein Netzwerk aus mehreren Computern ausgelagert werden. Dies stellt eine niedrigschwellige Möglichkeit dar, um einen schnelleren Rechenprozess zu gewährleisten. Dies ist allerdings nur eine Option, wenn entsprechende Geräte zur Verfügung stehen, die in ein Netzwerk eingebunden werden können (Agisoft LLC, 2025).

Aufnahmen aus verschiedenen Jahreszeiten

Eine weitere Herausforderung stellte die Anfertigung und Verarbeitung von Fotos in verschiedenen Jahreszeiten und Witterungsbedingungen dar. Da sich der Aufnahmezeitraum von April bis einschließlich November erstreckte, kam es zu beträchtlichen Veränderungen im Bewuchs und der Belichtung. Hinzu kommt der starke Schneefall Ende November, der nicht nur die Lichtverhältnisse, sondern auch die Arbeitsbedingungen erschwerte. Zu diesem Zeitpunkt stand wesentlich weniger Tageslicht als beispielsweise im Juli zur Verfügung. Die Kombination aus erhöhter Kenntnis der photogrammetrischen Prozesse in der Datenaufnahme und längere Dauer des verfügbaren Tageslichts sorgte demnach für eine vergleichsweise hohe Anzahl angefertigter Bilder im Hochsommer im Vergleich zum Beginn und Ende der Datenaufnahme. Der gewählte Zeitraum im April eignete sich besonders gut für die Außenaufnahmen mit der Drohne, da der Himmel weitgehend bedeckt war und es so zu keinen Schlagschatten kam.

Datenaufnahme in schwer zugänglichen Bereiche

Einzelne Bereiche der Burg sind schwer oder gar nicht zugänglich. Hinzu kommen Bereiche, die schlecht ausgeleuchtet sind. So ist beispielsweise ein Raum im 1. Obergeschoss (*Torwart*) aufgrund des schlechten Zustands des Holzbodens nicht zugänglich. Dennoch konnten durch Zuhilfenahme entsprechender Ausrüstung alle Räume der Hauptburg mit hoher kunsthistorischer Relevanz aufgenommen und prozessiert werden.

Die Schwierigkeiten in der Datenaufnahme bestanden zum einen in der instabilen und unsicheren Beschaffenheit einzelner Bereiche, zum anderen in den schlechten Lichtbedingungen. Durch die Benutzung des ausziehbaren Monopods konnte von verschiedenen Richtungen in schwer zugängliche Bereiche fotografiert werden, so beispielsweise durch die Eisengitter von Fenstern oder in den Schacht des Brunnens im inneren Burghof, oder in erhöhte Bereiche des Dachgeschosses.

4. Diskussion

Schwer aufzunehmende Bereiche stellen zudem Zwischenräume mit schlechter Ausleuchtung dar, beispielsweise zwischen der Altarrückwand und der Apsiswand in der Marienkapelle. Es handelt sich um einen nicht ausgeleuchteten schmalen Spalt, der selbst mit Monopod nur unzureichend erfassbar war.

Verdeckung der Fassaden durch Vegetation

Mehrere Bereiche der Außenmauern der Burganlage sind von Sträuchern und Bäumen verdeckt. Diese Bereiche stellten Einschränkungen in der fotografischen Erfassung und somit der Ermittlung von Bildpunkten dar. Insbesondere die Nordostseite der Apsis der Marienkapelle war von starkem Baumwuchs verdeckt. Hier konnte mithilfe der Drohnenfotos nur bedingt die Fassade erfasst werden. Die Punktwolke deckte in diesem Abschnitt zwar weitgehend die Mauer ab, wies jedoch durch die eingeschränkte Sicht aufgrund der Vegetation einen niedrigen *Confidence*-Wert auf.

Um die Sauberkeit des gesamten Modells zu gewährleisten und ein visuelles Rauschen zu verhindern, wurden die entsprechenden Punkte entfernt. Besonders im Bereich der Kapelle wies die Punktwolke eine niedrigere geometrische Genauigkeit auf. Durch das Entfernen der betreffenden Punkte entstand schließlich ein Loch, das den Blick in das Innere der Kapelle freigab (Abb. 4.1).

Selbst die Aufnahme von weiteren Fotos mithilfe des Monopods gestaltete sich aufgrund des stark abfallenden Geländes direkt neben der Kapelle als schwer bis unmöglich. Die Punktwolke bildet jedoch die Umrisse der Kapelle weitgehend ab, und das Mesh konnte so an der betreffenden Stelle flächig geschlossen werden. Die fehlende Information dieses Bereichs macht sich jedoch in der Textur bemerkbar: hier ist die Textur der Vegetation auf die Oberfläche der Mauer projiziert worden, was nicht der Realität entspricht.

4.3. Publikation von digitalen 3D-Modellen

In diesem Abschnitt werden die Möglichkeiten und Grenzen der Veröffentlichung von digitalen 3D-Modellen diskutiert. Die barrierefreie Publikation und Integration von 3D-Modellen in wissenschaftliche Publikationen und Online-Plattformen ist einer raschen technischen Entwicklung unterworfen (Barsanti et al., 2014; Amico and Felicetti, 2024). Hierfür sind vorrangig webbasierte Lösungen wie z. B. Sketchfab in Benutzung (Amico and Felicetti, 2024). Aufgrund der Datenmenge von 3D-Modellen müssen diese nach wie vor außerhalb von Publikationen gespeichert und verlinkt werden. Somit ist man weiterhin auf Dritte Dienstleister angewiesen, die entsprechenden Speicherplatz zur Verfügung stellen.

Eine große technische Herausforderung stellt zudem die Nutzung auf unterschiedlichen Endgeräten dar. Je nach Konzeption der jeweiligen Publikation ist es eventuell wünschens-



Abbildung 4.1.: Point Cloud der Kapelle, lückenhaft durch Vegetation.

wert, dass die digitalen Modelle sowohl auf mobilen Geräten und Computersystemen mit unterschiedlichen Betriebssystemen und Hardwarekonfigurationen ohne Probleme und Einschränkungen, sowie an gewünschten Orten abspielbar sind (Borisov et al., 2020; Sketchfab, 2025).

Grundsätzlich erlaubt auch das PDF-Format die Einbindung und Darstellung von 3D-Modellen, jedoch ist hier die Auflösung durch den maximal verfügbaren Speicherplatz begrenzt, weshalb eine starke Komprimierung notwendig ist (Herzog and Lieberwirth, 2016).

Die Datenmenge zu Engelstein beweist, dass nach Verarbeitung der Bilder und Erzeugung der digitalen Modelle mit einer Vervielfachung der ursprünglich anfallenden Datenmenge aus den Einzelfotos zu rechnen ist. Dies ist auch der Fall, wenn in einem Bildformat mit vergleichsweise niedriger Auflösung (jpeg) gearbeitet wird. Diese Faktoren sollten in die Veröffentlichung miteinbezogen werden, um Datenmengen besser einzuschätzen, und anschließend eine Publikationsstrategie auf die jeweilige Datenmenge abzustimmen.

Auch VR-Anwendungen können eine effiziente Möglichkeit darstellen, digitale Modelle nicht nur zugänglich, sondern didaktisch für verschiedene Altersgruppen erlebbar zu machen. Untersuchungen zeigen, dass insbesondere von Kindern und Jugendlichen VR-Inhalte in der Wissensvermittlung aufgrund eines hohen sensorischen Faktors erfolgreich aufgenommen werden (Corrales-Serrano et al., 2024).

4. Diskussion

Im Fall von Engelstein wurden mehrere der erstellten Modelle auf die Online-Plattform *Sketchfab* hochgeladen und öffentlich gemacht. Genutzt wurde dafür der Account des Vienna Institute for Archaeological Science. Aufgrund der zuvor angesprochenen Faktoren ist auch hier die Visualisierung und weitere Nutzung des öffentlich gemachten 3D-Modells abhängig von den technischen Ressourcen und Möglichkeiten, welche den Nutzer:innen der Webseite zur Verfügung stehen, z. B. für eine weitergehende Visualisierung und Einbindung in VR- oder AR-Anwendungen.

So ist bei Sketchfab in der allgemeinen kostenfreien Variante eine Datengrenze von 100 MB gegeben, wodurch meist eine starke Komprimierung des Modells notwendig ist. Selbst in der kostenpflichtigen *Enterprise*-Variante beträgt die Obergrenze der Datenmenge 500 MB. Zudem ist die maximale Anzahl der Annotationen (digitale Markierungen mit Kommentaren) in der kostenlosen Version auf 10, sowie im Pro-Abonnement auf 100 begrenzt. Ob diese Grenzen künftig so bleiben, ist nicht gesichert und hängt vom Unternehmen ab. Somit sind in der Publikation des Modells von Engelstein via Open Access mehrere Einschränkungen sichtbar, die durch die Infrastruktur und das Bezahlmodell der genutzten Webapplikation begründet sind.

4.4. Langzeitarchivierung von digitalen 3D-Modellen

In diesem Kapitel wird auf die Möglichkeiten und Problemstellungen in der Langzeitarchivierung digitaler 3D-Modelle eingegangen. Im Laufe der exemplarischen Dokumentation von Engelstein wurden mehrere Herausforderungen und Potenziale im Bezug auf die langfristige Erhaltung der erzeugten Daten sichtbar.

4.4.1. Internationale Standards zur Archivierung von 3D-Daten

Eine Problematik besteht bislang darin, dass keine internationalen Standards für die Langzeitarchivierung von digitalen 3D-Modellen etabliert sind (Bajena, 2025). Es existieren zumindest mehrere Richtlinien mit Empfehlungen zu Dateiformaten und Metadaten für 3D-Modelle seitens unterschiedlicher Institutionen (Amico and Felicetti, 2024; Digital Preservation Coalition, 2021). Die detaillierte Dokumentation der einzelnen Bearbeitungsschritte der Modelle (Bearbeitung der Meshes, Filterung der Point Cloud, rekonstruktive Eingriffe in die ursprünglichen Daten) stellt die Dokumentation vor Herausforderungen und ist nicht eindeutig reglementiert (Bajena, 2025).

Grundsätzlich ist eine internationale Ontologie, beispielsweise eine einheitliche Sprache und international verknüpfbare Metadatenbanken mit einheitlichen Begriffen (Tags) ein wichtiger Schritt (Bajena, 2025). Zudem sollte darauf geachtet werden, Dateien nach einem festgelegten System zu benennen, um eine Zuordnung für Bearbeiter:innen zu ermöglichen, welche die Objekte weiter bearbeiten. Grundsätzlich ist eine standardisierte Archivierung

4.4. Langzeitarchivierung von digitalen 3D-Modellen

von möglichst vielen Metadaten erstrebenswert. Darunter zählen Kameraeigenschaften und Parameter (Brennweite, Blende, Sensorgröße) und Modelldaten (Abweichungen, Koordinaten, Orientierung) (Barnes et al., 2021).

Eine große Schwierigkeit besteht in der hohen Komplexität von 3D-Modellen, da unterschiedliche verknüpfte Dateien (geometrische Informationen, Texturen, Koordinaten) in einer Gesamtheit funktionieren müssen, um das Modell anzuzeigen (Digital Preservation Coalition, 2021). Die Nachvollziehbarkeit der Bearbeitungsprozesse und dauerhafte Verknüpfung der einzelnen Bestandteile eines 3D-Modells muss durch Standards gewährleistet werden. So bieten sich für digitale Modelle meist die Formate .dxf, .obj und .x3d, sowie für die Texturen meist .tiff an (Barnes et al., 2021; Digital Preservation Coalition, 2021).

4.4.2. Dateiformate

Eines der beliebtesten Dateiformate für 3D-Modelle stellt .obj dar, wobei im Bereich der digitalen 3D Modellierung grundsätzlich eine Vielzahl an Dateiformaten zu finden ist (Kinnaman et al., 2021; Amico and Felicetti, 2024). Während sich bestimmte Dateiformate am Markt etablieren konnten, wird dennoch deutlich, dass die Speicherung und Verwendung unterschiedlicher Dateitypen einer kontinuierlichen Entwicklung unterworfen ist. (Kinnaman et al., 2021).

Eine weitere Problematik in der Standardisierung und Archivierung stellt die Verwendung einer großen Auswahl an Programmen dar, die zur Datenverarbeitung verwendet werden und entsprechende Dateiformate und Einstellungen zur Verfügung stellen oder bevorzugen (Kinnaman et al., 2021). Eine Verwendung und Entwicklung von offenen Dateiformaten ist allgemein erstrebenswert, um eine Langzeitarchivierung zu ermöglichen und Obsoleszenz zu vermeiden (Digital Preservation Coalition, 2021).

In Anbetracht der Situation wird also deutlich, dass ohne die Entwicklung semantischer und struktureller Standards und entsprechender Speicherkapazitäten keine langfristige Sicherheit der 3D-Dokumentation garantiert ist.

4.4.3. Speichermedien

Einen großen Einfluss auf die Haltbarkeit der Daten hat die Wahl des Speichermediums, da verschiedene Medien eine unterschiedlich gute Haltbarkeit für die gespeicherten Daten aufweisen (Fullerton et al., 2024). Grundsätzlich ist die Haltbarkeit der Daten von technischen Entwicklungen abhängig, und daher auf lange Sicht schwer einzuschätzen (Najar and Wani, 2019).

Typischerweise werden zwei unterschiedliche Typen von Speichermedien in der Datensicherung verwendet: SSD (Solid State Drives) und HDD (Hard Disc Drive) (Fullerton et al.,

4. Diskussion

2024). Die beiden Speichermedien unterscheiden sich in ihrer Verwendung nur geringfügig. Sie variieren jedoch in der Art der Speicherung der Daten. Während bei HDDs die Daten magnetisch gespeichert und durch einen mechanischen Kopf abgelesen und geschrieben werden, speichert eine SSD ihre Daten in Form elektrischer Ladung. In der Regel sind nach wie vor größere Speicherkapazitäten für HDD- als für SSD-Laufwerke verfügbar. Auch die langfristige Haltbarkeit der Daten auf HDDs ist länger. Der Nachteil ist die vergleichsweise erheblich niedrigere Geschwindigkeit der Datenübertragung bei HDDs (Zheng et al., 2025). Im Fall von Engelstein wurden sämtliche Daten sowohl am verwendeten Rechner (der internen SSD), als auch zwei Sicherheitskopien auf einer weiteren SSD und einer HDD angefertigt.

Eine Alternative zu Festplatten für die Langzeitarchivierung stellen Magnetbänder dar. Je nach Modell kann eine lange Haltbarkeit angenommen werden, teilweise bis zu 30 Jahre oder mehr. Hier trifft das Gegenteil zu SSDs zu: zu viele Zugriffe auf die Daten schaden den Bändern und senken die Lebensdauer der Daten. Außerdem ist eine geeignete Lagerung der Bänder unabdinglich (Ullrich, 2009).

4.4.4. Archivierung und Speicherung der Daten zu Engelstein

Im Falle von Engelstein wurden Punktwolken im .las Format exportiert. Meshes wurden im .obj Format, Texturen und Orthofotos im .tif Format generiert. Ansichten des Modells (Arbeitsfotos) wurden im .png und die Fotos im Zuge der Datenaufnahme der Burg im .jpeg-Format aufgenommen und gespeichert. Im Zuge der Verarbeitung der Punktwolken in NUBIGON wurden .octree-Dateien erzeugt. Hinzu kommen die Projektdateien in den verwendeten Programmen. NUBIGON verwendet .na, während Metashape .psx verwendet. Das Geoinformationsprogramm QGIS verwendet das .qgz-Format.

In Summe wurden im Rahmen dieser Arbeit also acht unterschiedliche Dateiformate erzeugt und für deren Bearbeitung drei unterschiedliche Programme verwendet. Zur Erstellung der Punktwolke reicht Agisoft Metashape oder RealityScan aus. Ein Export im .obj-Format bietet sich an, da es sich um eines der weit verbreitetsten Dateiformate handelt (Kinnaman et al., 2021).

Für eine langwierige Verfügbarkeit des Modells von Engelstein ist nicht nur die Archivierung der einzelnen Daten notwendig, sondern auch eine Aufzeichnung der einzelnen Bearbeitungsschritte und Metadaten der enthaltenen Einzelteile wie Punktwolken, Parametern in Metashape, Koordinatensysteme, Maßen unabdinglich für eine Rekonstruktion, sollten die fertig gerenderten Dateien in ihren jeweiligen Formaten eines Tages nicht mehr lesbar sein.

4.5. Fotogrammetrie als Alternative zu Laserscanning

In diesem Abschnitt soll Fotogrammetrie als Alternative zu Laserscanning diskutiert werden. Berücksichtigt werden hierzu Genauigkeit und Effizienz der jeweiligen Methoden (Tab. 4.2). Je nach Fragestellung kann Image Based Modelling eine effiziente Alternative zu Laserscans bieten (Talha and Fritsch, 2019; Wyatt-Spratt, 2018). Beide Technologien erzeugen ein Reservoir aus räumlichen Daten in Form von Punktwolken. Es sollte stets beachtet werden, welches Niveau an Genauigkeit erwünscht und notwendig ist. Während Laserscans in der Dokumentation von kulturellem Erbe von Institutionen mit entsprechenden Mitteln oft gegenüber Fotogrammetrie bevorzugt werden, so kommen dennoch auch fotogrammetrische Methoden zum Einsatz (Pirotti et al., 2022).

Ein Argument für die Wahl von Image Based Modelling, wie im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt, kann in vielen Fällen der schlichte Zeitfaktor in Bezug auf die Einschulung und die Datenaufnahme sein. In lediglich acht Arbeitstagen konnte die gesamte Burganlage sowohl innen als auch außen fotografiert werden. In diesem Zeitraum wurden zahlreiche Bereiche mehrfach in verschiedenen Lichtverhältnissen aufgenommen, um die Daten zu verdichten und eine hohe Überlappung der Bilder zu gewährleisten. Bei aktuellen Systemkameras ist praktisch keine Einschulungszeit notwendig (Talha and Fritsch, 2019).

Hochwertige Geräte wie Laserscanner bringen nicht nur erhebliche Anschaffungs- und Instandhaltungskosten, sondern auch eine längere Einarbeitungszeit für Benutzer:innen mit sich. Sie können somit eine höhere Einstiegsbarriere als die Arbeit mit einer Systemkamera oder eines Computersystems darstellen, das entsprechende Daten verarbeiten kann (Talha and Fritsch, 2019).

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass mittels Fotogrammetrie in kurzer Zeit ein beträchtliches Areal mit mehreren Gebäuden, sowie Innen- und Außenansichten detailliert dokumentiert werden kann. Insofern erscheint die Überlegung legitim, gerade bei der Knappheit von Zeit und Ressourcen Image Based Modelling als geeignete Alternative in Betracht zu ziehen. Dies kann besonders für Archäolog:Innen, Kunsthistoriker:Innen oder Burgbesitzer:Innen von Nutzen sein, da diese nicht über die Infrastruktur von Institutionen verfügen, die umfangreiche denkmalpflegerische oder archäologische Dokumentationsmaßnahmen stemmen können und Zugang zu entsprechend kostspieligerer Ausrüstung haben (Wyatt-Spratt, 2018; Talha and Fritsch, 2019).

4.6. Bedeutung für die Archäologie und Bauforschung

In diesem Kapitel werden die Anwendungsmöglichkeiten digitaler Modelle für die Erforschung von Baugeschichte, Architektur und Funktionen von Gebäuden diskutiert. Hierbei soll anhand der aus Engelstein gewonnenen Daten auf die vielfältigen Möglichkeiten

4. Diskussion

	Fotogrammetrie	Laserscanning
Vorwissen	wenig Vorkenntnisse notwendig (Grundwissen in Fotografie ausreichend)	Einschulung notwendig
Verfügbarkeit	hoch: niedrigschwellige Verfügbarkeit durch Kameras, Smartphones oder Drohnen auf Consumer-Ebene	niedrig: meist nur durch spezialisiertes Personal und Institutionen (z. B. Universitäten oder Vermessungsbüros) verfügbar
Mobilität	hoch: mobil, da Handheld-Kameras (mit Monopod) verwendet werden können	unterschiedlich: je nach Modell (Handscanner verfügbar; häufig verwendete Systeme werden auf Stativen betrieben)
Kosten	niedrig (Digitalkameras und Software erschwinglich; teilweise Freeware ausreichend, z. B. <i>Reality Scan</i>)	hoch, besonders durch spezialisierte Reparaturen, Wartung und Versicherung
Farbe	ja: liefert Farbinformationen durch fotografische Texturen	teilweise: abhängig vom Modell
Auflösung	flexibel: abhängig von Sensor und Aufnahmedistanz	meistens hoch, abhängig von den Einstellungen aber auch vom Modell
Dateigröße	flexibel, je nach gewählter Auflösung	groß aufgrund hoher Datendichte
3D-Daten	indirekt: nach Bearbeitung durch Alignment verfügbar	direkt verfügbar
Skalierung	indirekt: nach Bearbeitung (Drohnen-GNSS, Scale Bars, GCPs)	direkt verfügbar (1:1)
Fehler	abhängig von Ausleuchtung: Fehler bei schlechter Beleuchtung oder aufgrund von Schatten möglich	abhängig von Oberflächen: Absorption bei dunklen Oberflächen oder Reflexion bei Glasflächen möglich
Textur	inkludiert	abhängig vom Modell (Kameraintegration)

Tabelle 4.2.: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Fotogrammetrie und Laserscanning. (Talha and Fritsch, 2019; Wyatt-Spratt, 2018; Barsanti et al., 2014; Verhoeven, 2017; Bhatla et al., 2012; Luhmann, 2010)

eingegangen werden, die das 3D-Modell für Interpretationen und Untersuchungen in Archäologie und Bauforschung liefert und wie diese in der Praxis umgesetzt werden können.

4.6.1. Digitale dreidimensionale Bauaufnahme

Diese exemplarische Studie zeigt, dass ein 3D-Modell erzeugt mittels Image Based Modelling eine solide Grundlage für eine dreidimensionale Bauaufnahme darstellen kann. Grundsätzlich ist eine Bauaufnahme im herkömmlichen Sinn bereits umfassend und beinhaltet Raumdaten und Aufzeichnungen über architektonische Details (Arnold, 2023; Bundesdenkmalamt, 2018), jedoch besteht diese nicht aus einem Reservoir aus umfangreichen dreidimensionalen Raum- und Bilddaten, aus denen jederzeit nachträglich Informationen abgeschöpft werden können. Gemeint ist konkret die Punktwolke, das Mesh und die Textur, welche jeden Bereich der Burganlage abbilden und den Zusammenhang der einzelnen Räume wiedergeben.

Wie im Vergleich mit der Bauaufnahme von A. Klaar deutlich wird, bildet Image Based Modelling ein Gesamtmodell des Ist-Zustands. Bauzeichnungen können wie im Falle von Engelstein einem interpretativen Spielraum unterworfen sein – so können Begradigungen von Mauerwinkeln in Plänen auftauchen, welche in der Realität und im 3D-Modell nicht vorhanden sind. Somit bietet das Modell eine wertungsfreie, objektivere und hochauflösendere Dokumentation. Ein Fokus auf bestimmte Gebäudeteile kann jederzeit später gesetzt werden, die Aufnahme des Gebäudes umfasst jedoch die gesamte Anlage.

4.6.2. Digitale Repatriierung von Gebäudeteilen

Die Arbeit demonstriert exemplarisch, in welcher Form digitale, virtuelle Repatriierung von Gebäudeteilen für die Bauforschung eingesetzt werden kann. An der digitalen Repatriierung der Kassettendecke und Wandverkleidung aus Schloss Enzesfeld in den Rittersaal von Engelstein wird deutlich, wie Räume mittels IBM-basierter 3D Modellierung in einen früheren Zustand zurückversetzt werden können. Eine solche digitale Rekonstruktion von Räumlichkeiten stellt einen wichtigen Schritt im Verständnis historischer Räumlichkeiten dar. Dieser Schritt wird erst durch digitale Methoden möglich und erlaubt eine Visualisierung stratigraphischer Phasen des Gebäudes, die nicht mehr physisch vorhanden oder sichtbar sind.

Image Based Modelling ermöglicht also, entfernte Bauteile virtuell an ihren früheren Standort zurückzuführen und mit dem aktuellen Befund zu vergleichen. Die in dieser Arbeit demonstrierte digitale Repatriierung der Kassettendecke aus Schloss Enzesfeld und der Marienstatue im inneren Burghof zeigen, welches Potenzial darin liegt, historische Ausstattungsteile räumlich korrekt in den ursprünglichen Kontext einzubinden. Für die

4. Diskussion

Restaurierung eröffnen solche virtuellen Rekonstruktionen ebenfalls neue Perspektiven. Sie erlauben reversible Rekonstruktionen, die nicht in die originale Bausubstanz eingreifen, aber dennoch ein umfassendes Verständnis historischer Raumzusammenhänge vermitteln.

4.6.3. Digitale Repatriierung von Wandmalereien

Weiteres Potenzial bietet die Bearbeitung und der systematische Einbau von Texturen und Farben. So können beispielsweise Wandbemalungen über eingebettete Texturen räumlich digital auf ihre ursprüngliche Fläche projiziert werden, um Räume in einen früheren Zustand zu versetzen. Dies stellt insbesondere bei zerstörten oder stark beschädigten Wandmalereien eine Möglichkeit dar, diese wieder im Zusammenhang der Räumlichkeiten zu rekonstruieren und zu visualisieren. Die Texturen des Modells können grundsätzlich nach Fragestellung bearbeitet oder ersetzt werden. Als Datengrundlage können beispielsweise historische Fotografien oder Zeichnungen dienen (Priego de los Santos et al., 2026). In alten Abbildungen von Engelstein sind vergangene Zustände der Bemalung, des Dachs und der ehemaligen Architektur erkennbar (Abb. 4.2). Diese Texturen können entnommen und in die Daten des Modells integriert werden, um den Zustand der Burganlage auf den Abbildungen zu visualisieren.

In Engelstein wurden mehrere Teile der Gebäudefassade rezent übermalt. Die Wände weisen an ihrer Oberfläche somit eine Stratigraphie in Form mehrerer übermalter Schichten auf. Die aufgebrochenen Stellen geben die früheren Farbschichten frei. Die Bemalungen bestehen teils aus geometrischen und floralen Mustern, deren einzelne, sich wiederholende Bildabschnitte sichtbar sind. Dementsprechend ist eine hypothetische Rekonstruktion der alten Bemalung durch eine großflächige Übertragung der Muster auf einzelne Wandabschnitte möglich. Dies stellt eine Möglichkeit zur Visualisierung vergangener Raumzustände dar, ohne physisch in den Raum einzugreifen.

4.6.4. Architektonische Erkenntnisse

Ein wesentlicher Vorteil der hochauflösenden digitalen 3D Daten stellt das Verständnis der Lage einzelner Räumlichkeiten und deren Geometrie, sowie deren räumlicher Bezug zueinander im gesamten architektonischen Gefüge dar. Zudem ist die Möglichkeit zur umfassenden, schnellen bauhistorischen Datenerhebung und Interpretation von Räumen anhand einzelner Fotos und deren Interpretation vergleichsweise begrenzt. Mithilfe dreidimensionaler Daten ist eine rasche Betrachtung der Räume aus jeder Perspektive möglich. Strukturelle Eigenschaften des Gebäudes sind durch die transparente Natur der dichten Punktwolke gut abzulesen, beispielsweise Gewölbeformen, Pilaster und Raumgröße sowie Wandstärke. Die Daten bieten eine Sammlung an Informationen, auf das jederzeit nachträglich zugegriffen werden kann, wodurch eine beliebige Weiterverarbeitung je nach Fragestellung möglich ist.

4.6. Bedeutung für die Archäologie und Bauforschung



Abbildung 4.2.: Postkarte, datiert 1980. Erworben durch den Autor.

4. Diskussion

Durch die Möglichkeit der transparenten Darstellung des Gebäudes ist ein umfassendes strukturelles Verständnis des baulichen Gefüges möglich, darunter der Zusammenhang zwischen den einzelnen Räumen und Gewölbeformen, Raumvolumina, Wanddicke und Raumhöhe im Vergleich zueinander, sowie Verbindungen zwischen Gebäudeteilen (siehe Abb. 3.6). Das Modell bietet eine umfassende Grundlage für eine dreidimensionale typologische Untersuchung architektonischer Elemente (unter anderem Fensterformen, Pilaster, Werksteinfassungen, Dachbalken, Zinnen, Schießscharten).

4.6.5. Stratigraphische Interpretation von 3D-Daten

Räumliche Daten sind stratigraphisch lesbar. So ist auch die in Engelstein aufgezeichnete Architektur stratigraphisch zu interpretieren und im Zuge dessen relativ datierbar. Die räumliche Natur der gewonnenen Daten kann grundsätzlich geschichtet und stratigraphisch gelesen werden, da bereits beim Betrachten des Modells oftmals eine Mehrphasigkeit erkennbar und anhand architektonischer Stilelemente und Formen, sowie das Mauerwerk relativ datierbar ist. Dies ist am inneren Burghof exemplarisch erkennbar (Abb. 3.26). Diese komplexe Mehrphasigkeit wird besonders bei einem Gebäude wie Engelstein deutlich, welches zahlreichen sichtbaren Umbauten unterworfen war. So treten Ein-, und Zubauten, Nischen und Verbindungsgänge deutlich aus dem baulichen Gefüge hervor und können in ihrer Struktur und Farbe je nach Fragestellung visualisiert und akzentuiert werden.

Wie in der Visualisierung der dichten Punktwolke deutlich wird, weist Engelstein verschiedene Gewölbeformen (Kreuz- und Tonnengewölbe) und Fensterformen, sowie Bögen, Säulen und Pilaster aus unterschiedlichen stilistischen Epochen auf. Diese können wie eine Bauzeichnung in Form von Querschnitten anschaulich visualisiert und typologisiert werden.

Im Vergleich zu zweidimensionalen Bilddaten ist diese digitale, dreidimensionale Stratigraphie räumlich fassbar und deren einzelne Charakteristika genau zu verorten. Dies wird deutlich, wenn man die Struktur von Mauern, beispielsweise deren Verfassung, Material und Putzschichten an unterschiedlichen Mauerstellen betrachtet. Ebenso können verschiedene Schichten an Wandmalereien nachverfolgt und datiert werden. Eine dreidimensionale Visualisierung mehrschichtiger Strukturen kann besonders für Forscher:innen hilfreich sein, die aufgrund der schnellen Verständlichkeit einen archäologischen Befund nicht wie oftmals üblich, mithilfe einer stratigraphischen Matrix, darstellen möchten.

4.6.6. Interdisziplinäre Schnittstellen

Ein weiterer Aspekt ist die Schnittstelle, die digitale Daten zu anderen wissenschaftlichen Disziplinen und Methoden bieten. Dies wird durch die Weiterverarbeitung der gewonnenen Daten in Software wie QGIS oder NUBIGON deutlich. Erstellte Punktwolken und Textu-

ren, aber auch die anfangs gewonnenen Fotos bilden eine umfangreiche Datensammlung, die exportiert und weiterverarbeitet werden können. Zudem kann das Modell in eine großflächige Landschaftsanalyse eingebunden werden. Auch Prospektionsdaten bieten eine Ergänzung zu einem kohärenten Gesamtbild.

Ein weiterer Aspekt stellt die Schonung der baulichen Strukturen dar. Die Untersuchung von zuvor gewonnenen Raumdaten erspart die mehrmalige Betretung und somit Belastung von baulichen Strukturen, besonders wenn diese bereits instabil oder gefährdet sind.

Zudem ist die Nachbearbeitung der Punktwolke und der Vermaschungen möglich, was flexible Rekonstruktionen erlaubt. So ist es möglich, digitale Elemente des Modells auszutauschen oder Vektordaten hinzuzufügen, die in dem dokumentierten Ist-Stand nicht vorhanden sind (Murphy et al., 2009).

4.6.7. Systematische Ergänzung von Altdokumentation

Ein Mehrwert für bauhistorische Untersuchungen zeigt sich im direkten Vergleich der bisherigen Pläne von Engelstein mit den neu erhobenen 3D-Daten. Der Vergleich des digitalen Modells mit der alten Bauaufnahme zeigt Differenzen in der Ausrichtung einzelner Gebäudeteile (Abb. 4.3).

So sind in den Plänen von 1979 die Ausrichtung sowohl des Schlosstraktes, als auch der mittelalterlichen Hauptburg etwas verschoben. Insgesamt sind die Maße der einzelnen Räume sehr deckungsgleich, während einzelne Wandstärken und der Winkel zwischen mittelalterlicher Hauptburg und Schlosstrakt abweichen. Die sich im Grundriss an der Westseite verjüngende Burg ist im Plan von 1979 weiter südlich ausgerichtet.

Dies wird deutlich, wenn die Orthofotos des 3D-Modells, die Bauaufnahme Klaars und das Orthofoto der Austria Basemap aufeinandergelegt werden. Das exportierte Orthofoto des 3D-Modells deckt sich mit der Austria Basemap. Auch die Nordung der Bauaufnahme Klaar ist nicht korrekt. Grundsätzlich ist an mehreren Stellen des Plans eine Beschönigung der Winkel zu erkennen. Beispielsweise sind Mauerecken im rechten Winkel angewinkelt, obwohl dies nicht der Fall ist. Zudem ist die Rampe zum Schlosseingang in der Realität leicht nach Osten ausgerichtet. Grundsätzlich ist eine hohe Übereinstimmung in der Dimensionierung der Räume zwischen den Plänen zu erkennen. Die Differenzen liegen in der Ausrichtung und einzelnen Wandstärken.

4.7. Sozioökonomische Interpretationen

Dieses Kapitel diskutiert die Möglichkeiten, aus dem dreidimensionalen Modell Rückschlüsse auf soziale und ökonomische Strukturen und Beziehungen zwischen Elite und

Engelstein | Erdgeschoss

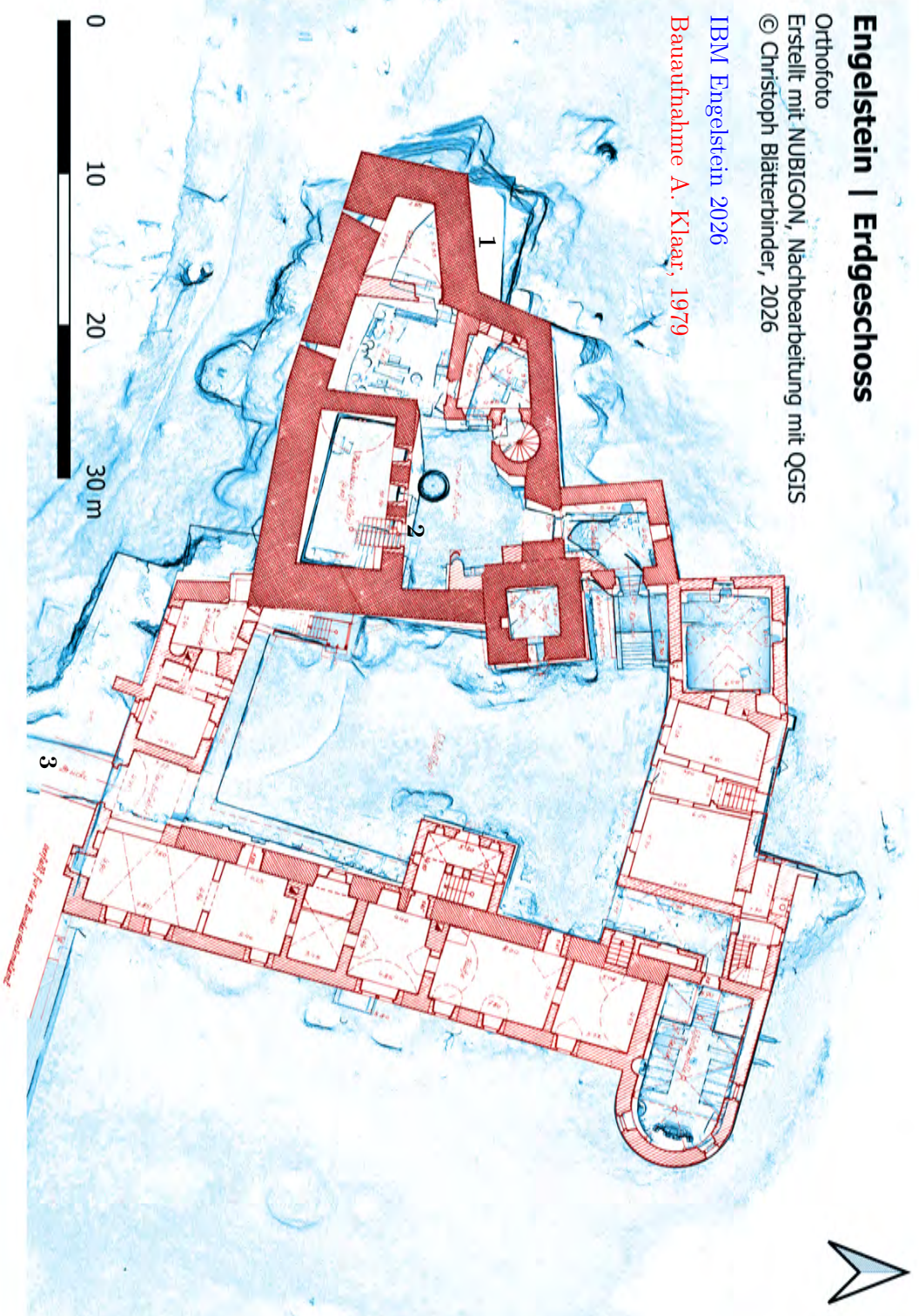
Orthofoto

Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS

© Christoph Blätterbinder, 2026

IBM Engelstein 2026

Baufaufnahme A. Klar, 1979



4. Diskussion

Abbildung 4.3.: Vergleich des Orthofotos (NUBIGON) und des Bauplans von A. Klar. Rot = Bauplan A. Klar; blau = Orthofoto 2026 (NUBIGON). Versatz an Ostseite (1); Brunnen und Wandstärke und Winkel Innenhof (2); Winkel der Rampe am Schlossstor (3).

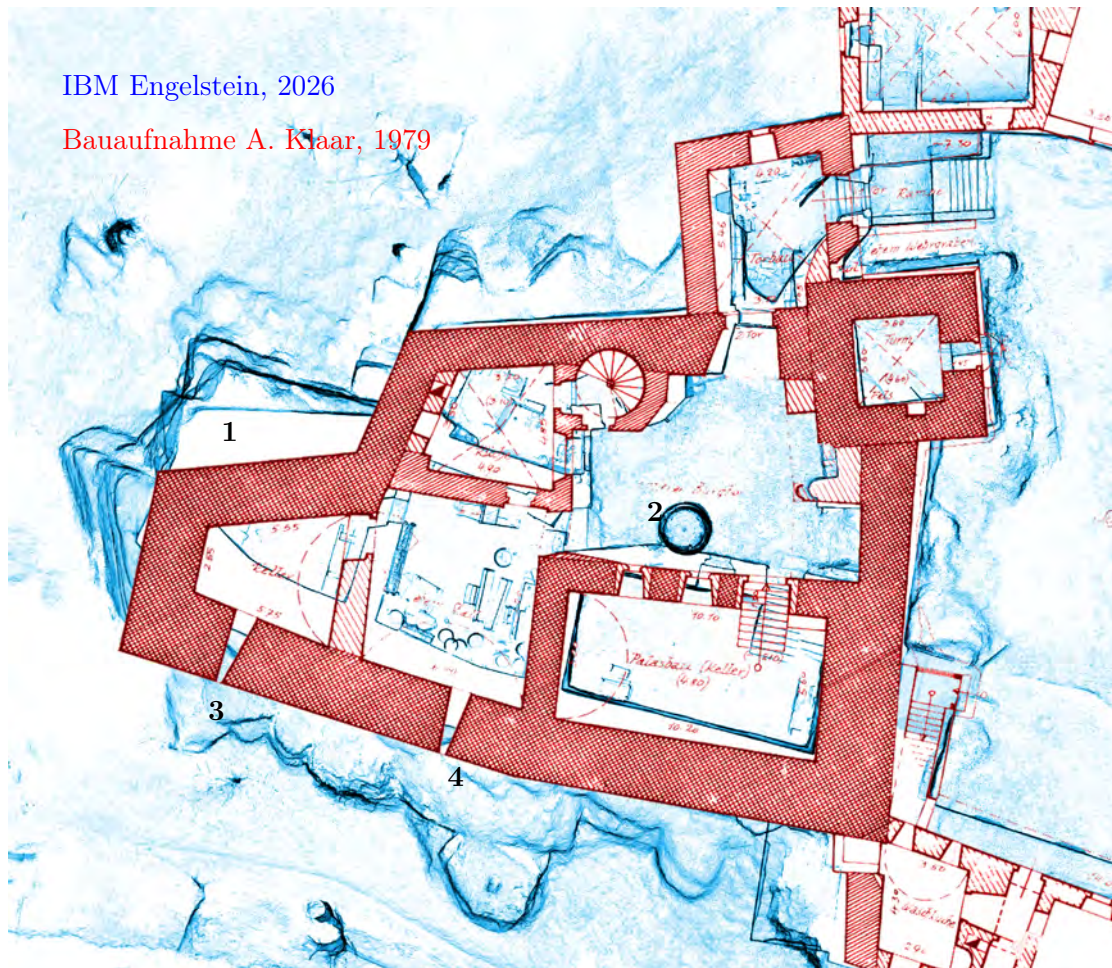


Abbildung 4.4.: Vergleich des Orthofotos (NUBIGON) und des Bauplans von A. Klaar (Detail). Rot = Bauplan A. Klaar, 1979; blau = Orthofoto, 2026 (NUBIGON). Versatz an Ostseite (1); Brunnen und Wandstärke und Winkel Innenhof brunnenseitig (2); Fenster Keller (3 und 4).

4. Diskussion

allgemeiner Bevölkerung, sowie zur Raumnutzung zu gewinnen. Das Nutzungspotenzial des digitalen Modells der Burganlage liegt in den dreidimensionalen Raumdaten. Diese können für Untersuchungen in unterschiedlichen Disziplinen verwendet werden. Die aus dem Modell entnommenen Daten – allem voran Erkenntnisse zur Raumlage und -ausrichtung – bieten die Grundlage für weiterführende Untersuchungen, wie beispielsweise zu Betriebs- und Baukosten und Raumnutzung. Analysen zu diesen Daten bieten eine reichhaltige Grundlage zur sozialen und ökonomischen Bedeutung einzelner Burgbereiche.

4.7.1. Ressourcen und Baukosten

Überlegungen zu Ressourcen in Engelstein sind von großer Bedeutung, da die Burg ohnehin eine wirtschaftliche Bedeutung durch die Teiche und Wirtschaftsgebäude für die umliegende Herrschaft einnahm (Pongratz and Tomaschek, 1975; Reichhalter et al., 2001). Raumdaten zur Schmiede können Informationen zur möglichen wirtschaftlichen Leistung liefern, während Raumdaten von Lagerräumen die Basis für Schätzungen zu Lagerkapazitäten von Lebensmitteln, Brennstoffen u. Ä. darstellen können. Durch Raumdaten der Küche können Informationen zum Verbrauch und Zubereitung von Lebensmitteln abgelesen werden. In den Wohnräumen ist das Abschätzen des Aufwands zur Beheizung von besonders großer Relevanz. Die Daten bieten zudem Potenzial für Schätzungen und Interpretationen zur Versorgung der lokalen Bevölkerung. Insbesondere Lagerräume, wie im Keller, bieten Möglichkeiten zur Untersuchung von Lagerkapazitäten von Nahrung und Rohstoffen wie Getreide, Bier, Fleisch, Salz und Brennholz.

Eine Schätzung dieser Kapazitäten ist naheliegend, stellte die Burg und Herrschaft Engelstein mit ihren diversen Wirtschaftsgebäuden doch einen elementaren Wirtschaftsfaktor für die lokale Bevölkerung, ihre Bewohner:innen und Bedienstete. Im Rahmen von Kaufbriefen, beispielsweise in einem Exemplar aus dem Jahr 1664, wurden die Nutzungserträge der Gemeinde Großschönau verschriftlicht. Dadurch ist die Wirtschaftsleistung der Gemeinde bekannt, beispielsweise die Anzahl erzeugter Eier, Hennen, *Copauner* (Masthähne) und Garn, *Mohndienst* (Getreideabgabe, gemessen in *Metzen*), sowie die Anzahl verfügbarer Untertanen im Frohndienst (Pongratz and Seebach, 1971).

Diese Daten liefern bereits einen Eindruck der wirtschaftlichen Leistung der Herrschaft Engelstein und können eine Grundlage für weitere Schätzungen zu Lagerung und Verbrauch der dortigen Güter darstellen. Mithilfe des Modells kann auch der ehemalige Wasserstand im Teich simuliert oder Schätzungen zum historischen Fischbestand visualisiert werden.

Die Raumdaten der photogrammetrischen Modelle können für weitere Schätzungen und Berechnungen, wie etwa Heiz- oder Baukosten herangezogen werden. So ist es möglich, durch die Geometrie des Mauerwerks die Größe und das Gewicht der verwendeten Steine zu berechnen. Ebenso kann das Volumen der Räumlichkeiten errechnet werden. So kann beispielsweise die Speicherkapazität für Nahrung bestimmt werden, was wiederum mit anthropologischen Fragestellungen verknüpft werden kann. Parameter wie das Gewicht der

Steine, die durchschnittlich aufgewendeten Arbeitstage für diverse Tätigkeiten, die Anzahl der daran beteiligten Personen, sowie biomechanische Faktoren wie Körpermasse und benötigte Kalorien, können verwendet werden, um die Konstruktionszeit von Gebäuden oder die Lagerkapazität von Lagerräumen mathematisch zu modellieren (Štuhec et al., 2019).

Der Bau einer Burg wie Engelstein bedurfte eines beträchtlichen Arbeits- und Materialaufwands. Die Anlage weist eine Monumentalität in vielerlei Hinsicht auf. Die Mauern der Hauptburg sind teils mehrere Meter dick. Der Brunnen und die Kellerräume sind direkt in den Granitfels gehauen. Es ist von einem enormen Materialverbrauch für die Errichtung der Anlage und einem ebenso hohen Arbeitsaufwand im Behauen des darunterliegenden Granitfels auszugehen. Um derartige historische Bauprojekte nachvollziehen und in Zahlen gießen zu können, gibt es unterschiedliche Ansätze. Abseits komplexer Berechnungsmodelle eignet sich die experimentelle Archäologie dazu, Zeit- und Personalaufwand anschaulich zu machen, wie beispielsweise in Guédelon, Frankreich (Durand et al., 2005) demonstriert wird. Das Projekt stellt eines der bekanntesten experimentell-archäologischen Unterfangen zu Errichtung einer mittelalterlichen Burg dar. Experimente dieser Art benötigen naturgemäß die im Mittelalter verwendeten Ressourcen und sind nur in Anbetracht moderner Arbeits- und Sicherheitsbedingungen mit gutem Gewissen durchführbar.

Die Einschränkung in experimenteller Archäologie besteht darin, dass in der Errichtung von monumentalen Gebäuden eine Grenze des Machbaren erreicht wird. Die Möglichkeiten, die digitale Raumdaten zur Simulation eines solchen Bauprozesses bieten, vermeiden das Gefahrenpotenzial von Arbeitsunfällen, schmälern den beträchtlichen Kosten- und Personalfaktor bei derartigen Bauvorhaben und bieten grenzenlose Simulationen in Bezug auf Raum und Zeit.

Aufgrund der Position und Beschaffenheit einiger Räume in Engelstein kann deren Funktion als Lagerraum angenommen werden, siehe im Keller und im Westtrakt der mittelalterlichen Hauptburg. Die Raummaße können in deren exakten Volumina aus dem Modell entnommen werden, wodurch die Lagerkapazitäten für Lebensmittel oder Brennholz leichter abzuschätzen sind.

4.7.2. Verteidigung

Zudem können aufgrund verschiedener Merkmale und Reste von Verteidigungsanlagen Spuren von Krieg und Verteidigung abgelesen werden, beispielsweise durch Schäden am Mauerwerk, dem Burggraben und der ehemaligen Zugbrücke. Besonders großes Potenzial liegt zudem in den Gewässern: Mithilfe des Modells kann auch der ehemalige Wasserstand im Wehrgraben simuliert werden.

In Großschönau sind zudem mehrere Konflikte schriftlich nachgewiesen. Unter anderem wurde die Gemeinde im Jahr 1478 schwer durch die Böhmen geplündert (Plechl, 1966).

4. Diskussion

Zudem sind Schäden während des dreißigjährigen Kriegs dokumentiert (Pongratz and Seebach, 1971). Kampfhandlungen könnten in und um die Burg stattgefunden haben. Die Umbauten an der Burg, beispielsweise die Entfernung der Zugbrücken und Einebnung der Grabenanlagen, illustrieren die wehrtechnischen Wandlungen am Gebäudekomplex und spiegeln die Veränderungen vom Mittelalter in die Neuzeit in der Kriegsführung und Verteidigung wieder. Zudem ist besonders unter dem Besitzer Christoph von Prag im 16. Jh. ein stärkeres Bedürfnis nach Wohnlichkeit und ein entsprechender Wandel der Anlage zum repräsentativen Wohnort mit Schlosscharakter erkennbar, während die Bedeutung wehrtechnischer Elemente nach hinten zu treten scheint (Plechl, 1966; Pongratz and Seebach, 1971).

Mithilfe hochauflösender Orthofotos können Schäden, beispielsweise durch Kanonenfeuer, sowie deren Ausbesserung identifiziert werden. Derartige Stellen im Mauerwerk können in Form von Putzausbesserungen, Verfärbungen oder zugemauerten Mauerbereichen sichtbar sein und anhand der Orthofotos analysiert werden. Es ist anzunehmen, dass die Burg Engelstein in Kriegszeiten Schutz und Zuflucht geboten hat. Demnach kann die Raumnutzung, beispielsweise die Lagerung von Waffen oder Fluchträume für Zivilist:Innen, eine wichtige Forschungsfrage im Bereich der Verteidigung darstellen.

4.7.3. Lage und Landschaft

Das georeferenzierte Modell bietet große Potenziale für weitere Untersuchungen und Simulationen. Es kann mittels GIS in ein digitales Landschaftsmodell integriert werden. So kann der Zusammenhang mit der umgebenden Landschaft visualisiert und weiter landschaftsarchäologisch untersucht werden. Fragen zu Lage und Topografie, insbesondere Kontrolle der Umgebung, sowie die Relation zu andere Burgen in der Umgebung können untersucht werden. Als Herrschaftssitz und Ort der niederen Gerichtsbarkeit und Repräsentation (Pongratz and Tomaschek, 1975) ist anzunehmen, dass die Burg Engelstein auch topographische, politische und rechtliche Relevanz besaß.

Bei der Untersuchung der topographischen Lage anhand des digitalen Höhenmodells wird rasch ersichtlich, dass die Burganlage nicht wesentlich höher als ihr Umfeld positioniert ist (Abb. C.2), aber zumindest vom obersten Geschoss im Bergfried eine gute Sichtweite angenommen werden kann. In der Positionierung der Burg dürfte zudem die Lage an den Teichen und dem Wasser eine wichtigere Rolle gespielt haben. Durch die räumlichen Daten, beispielsweise Raumhöhen, können Sichtfeldanalysen unterstützt werden. Die Ausrichtung bestimmter Räume und die Sichtweite in die Landschaft, beispielsweise die Sichtweite von Wehrgängen und Türmen, kann so simuliert werden.

Eine Einschränkung in der Erstellung von Geländemodellen durch IBM kann die aufwendigere Nachbearbeitung darstellen, da die Vegetation im Rahmen der Datenbearbeitung mithilfe von Filtern weggerechnet werden muss. Solch eine Nachbearbeitung ist auch bei Laserscanning notwendig, verläuft aber vergleichsweise rascher (Herzog and Lieberwirth,

2016; Talha and Fritsch, 2019). Grundsätzlich ist es in Software wie Metashape möglich, entsprechende Punkte zu klassifizieren: beispielsweise nach Kategorien wie etwa Fahrzeugen oder Gebäuden, sowie nach Farbwerten wie etwa Braun- und Grüntönen (Agisoft LLC, 2025). In Anbetracht des hohen Aufwands der Klassifizierung und Filterung der zu entfernenden Vegetation ist die Erzeugung digitaler Geländemodelle mit Image Based Modelling im Vergleich zu Laserscanning mit einem erhöhten Aufwand verbunden und nicht immer möglich.

Eine weitere Forschungsfrage stellt die ehemalige Lage der Waffen- und Rüstkammer dar. Es kann angenommen werden, dass sich in einer Burg wie Engelstein, welche die üblichen Wehranlagen ihrer Zeit (Wehrgraben, Zugbrücke, Wehrgänge) besaß, auch entsprechende Räumlichkeiten zur Lagerung von Waffen und Kriegsgerät befanden. Die Identifizierung entsprechender Räumlichkeiten kann durch die Analyse der Lage, Beschaffenheit und der Innenräume erleichtert werden.

4.7.4. Raumnutzung

Die Kenntnis architektonischer Merkmale der Räume bietet Möglichkeiten zur Untersuchung ihrer ursprünglichen Nutzung. Repräsentative, große Räumlichkeiten mit entsprechend künstlerisch hochwertiger Ausgestaltung bieten sich für die lokale Gerichtsbarkeit und als Veranstaltungsraum (Beispielsweise der Freskensaal, Theatersaal) an, während für andere Räumlichkeiten durch ihre vergleichsweise einfache Gestaltung und Form eher eine rein funktionelle Bedeutung zugewiesen werden kann (Keller Palas, Kellerraum Ost, Nord und West, Küche). Die Untersuchung des dreidimensionalen Modells bietet Informationen zu Raumnutzung und Kapazitäten. In den schriftlichen Nachweisen zur Burg und den privaten Aufzeichnungen der Familie Rath sind Raumbezeichnungen zu finden, die eine soziale Stratifikation und Differenzierung in der Raumnutzung und des Zugangs zu bestimmten Räumen der Burg nahelegen, jedoch ist für einige Bezeichnungen (Kemenate, Rittersaal) eine klare Bedeutung zu hinterfragen, da diese eher aus den letzten Jahrhunderten stammen und sich von ihrer Funktion im Hochmittelalter und der Renaissance unterscheiden könnten.

Es ist erkennbar, dass räumliche und architektonische Merkmale einzelner Räume deren soziale Bedeutung wiedergeben. Ein Beispiel hierfür ist das als Kinderzimmer eingerichtete Obergeschoss im Torwart. Nun ist unklar, ob es sich bereits im Mittelalter um ein Kinderzimmer handelte, dennoch wirft der Raum Fragen zur Nutzung bestimmter Räume auf, besonders durch das Vorhandensein der aufwendigen mehrfarbigen Wandgestaltung. Der Theatersaal und der Rittersaal geben in ihrer Ausstattung und Größe repräsentative Räumlichkeiten wieder, während Räume wie die Küche oder der Kellerraum vergleichsweise klein sind und nicht visuell hervorstechen.

Unterschiedliche Funktionen und Zugangsrechte, beispielsweise für Männer, Frauen und Kinder, sowie verschiedene soziale Schichten, beispielsweise Untertanen, Gäste und Bur-

Abbildung 4.5.: Geländemodell (erstellt mit NUBIGON).



gherren, können anhand des Modells untersucht werden. Dies wird durch die Gestaltung und Größe einzelner Räume in Relation zueinander, und deren Lage im Gebäudekomplex deutlich.

4.8. Bedeutung für die Denkmalpflege

Dieser Abschnitt behandelt die Bedeutung digitaler 3D Modelle für die Denkmalpflege anhand der exemplarischen Untersuchung von Engelstein. Darunter fallen die systematische Kartierung und Verortung von Schäden, deren hochauflösende Dokumentation und das Potenzial der Modelle als digitale Datenbank in Bezug auf die Verknüpfung mit semantischen Informationen zum Zustand bestimmter Bereiche.

4.8.1. Systematische Schadenskartierung

Die aus dem 3D Modell erzeugten Orthofotos liefern übersichtliche Rauman­sichten. Durch die Georeferenzierung von Orthofotos ist es zudem möglich, Schäden am Gebäude und in den Innenräumen dreidimensional zu verorten. Im Gegensatz zu herkömmlichen Raum­beschreibungen mit fotografischer Dokumentation ist bei digitalen 3D Modellen ein räumlicher Zusammenhang verschiedener Raumbestandteile und deren Beschädigungen leichter und schneller festzustellen. Die hochauflösende Texturierung der Modelle erlaubt es, selbst feinste Veränderungen an Oberflächen sichtbar zu machen, seien es Putzverluste, Verfärbungen oder Bewuchs. Eine dreidimensionale Schadenskartierung ist im Vergleich zu herkömmlichen zweidimensionalen Plänen aufgrund der räumlichen Dimension rascher visuell begreifbar und vielfach verwertbar. Für die Restaurierung bietet dies einen erheblichen Erkenntnisgewinn, da komplexe Oberflächenstrukturen mit ihrer jeweiligen Erhaltungssituation in einem umfassenden räumlichen Zusammenhang dargestellt werden können.

Die Materialanalyse profitiert ebenfalls erheblich von IBM, da sich Probenentnahmestellen und komplexe stratigrafische Befunde millimetergenau am Modell verorten lassen. Dies erleichtert die Zuordnung von naturwissenschaftlichen Daten aus mineralogischen Untersuchungen oder chemischen Analysen zur Zusammensetzung von Wandfarbe oder Verputz, sowie Baumaterialien wie Holz, Ziegeln und Mörtel zu räumlich exakt bestimm­baren Stellen im Modell.

4.8.2. Digitale 3D Modelle als Entscheidungshilfe

Für die Denkmalpflege fungiert das digitale 3D Modell als transparente Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen zur Erhaltung des Baubestands, da das Ausmaß von Schäden

4. Diskussion

und deren räumliche Verortung verständlich visualisiert und diskutiert werden können. Durch die metrische Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Aufnahmen lassen sich konservatorische Maßnahmen abschätzen. Eine wiederholte Aufnahme und Modellierung der Burganlage kann zudem bei der langfristigen Beobachtung des Erhaltungszustandes unterstützen und ein frühzeitiges Entdecken von Veränderungen in der baulichen Struktur ermöglichen.

Eine rasche, umfassende, hochauflösende Dokumentation von Schäden ist besonders für eine Anlage wie der Burg Engelstein relevant, da diese nicht öffentlich zugänglich ist und nur unter Absprache mit Eigentümer:innen und Bewohner:innen begangen werden kann. Drohnenbefliegungen, die integraler Bestandteil der Methodik sind, bieten hierfür neue Perspektiven und liefern Daten, die bislang nur mit erheblichem technischem Aufwand, wie klassischen Luftbild, zu gewinnen waren.

Durch die umfassende und verständliche Visualisierung der Burg Engelstein und ihres Zustands kann argumentiert werden, dass Image Based Modelling eine wichtige Rolle für konservatorische Entscheidungsprozesse einnehmen kann. Wie zuvor erwähnt, werden sämtliche Bestandteile des digitalen 3D-Modells separat gespeichert. Dazu zählen auch Texturen und Meshes. Diese können digital nach unterschiedlichen Bedürfnissen bearbeitet werden. So können auch potenzielle Szenarien im Rahmen der Restaurierung simuliert werden. Die Möglichkeit, Eingriffe virtuell zu simulieren, erlaubt es, verschiedene restauratorische Maßnahmen vorab zu visualisieren und miteinander zu vergleichen, ohne physisch in den Bestand einzugreifen. Fehlstellen können digital ergänzt, alternative Oberflächenrekonstruktionen getestet oder denkmalpflegerische Szenarien virtuell durchgespielt werden. Dies schafft eine erhöhte Transparenz, sowohl für Restaurator:innen als auch für Denkmalbehörden und Eigentümer:innen. Besonders bei kontroversen Entscheidungen – etwa zur Umgestaltung von Räumlichkeiten oder Entfernung von Putz- oder Farbschichten – bietet das Modell eine Grundlage zur objektiven Diskussion für zukünftige konservatorische Maßnahmen. Dies kann insbesondere an der Schlosskapelle, den umliegenden Wirtschaftsgebäuden (beispielsweise dem Schüttkasten) und den Räumen mit spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Wandmalereien (Rittersaal, Heizraum, Bergfried) beobachtet werden. Das Modell erlaubt es, den baulichen Zustand in seiner Gesamtheit zu erfassen, Schadensbilder präzise zu lokalisieren und Veränderungen über längere Zeiträume hinweg zu beobachten. Auch die digitale Rückführung verlorener Einrichtung – wie der Kassettendecke – zeigt, dass IBM nicht nur dokumentiert, sondern aktiv zur Rekonstruktion historischer Raumzusammenhänge beiträgt.

Insgesamt bietet Image Based Modelling für die Restaurierungspraxis ein breites und bislang nur ansatzweise ausgeschöpftes Potenzial. Die Methode ermöglicht eine umfassende, räumlich integrierte Dokumentation, unterstützt konservatorische Entscheidungen, schafft Transparenz und erhöht die langfristige Nachvollziehbarkeit restauratorischer Maßnahmen. Sie stellt damit ein wesentliches Werkzeug für die nachhaltige Sicherung und fachgerechte Betreuung historischer Baudenkmäler dar und wird in Zukunft eine immer wichtigere Rolle in der Denkmalpflege einnehmen.

4.9. Interdisziplinäre Nutzungspotenziale

Dieser Abschnitt bewertet die Anwendbarkeit der gewonnenen Ergebnisse für verwandte Disziplinen wie die Geschichtswissenschaft, Kunstgeschichte und Öffentlichkeitsarbeit. Besonders in der Populärwissenschaft bieten sich digitale Modelle an, immersive Erlebnisse zu ermöglichen. Auch die Vermarktung des kulturellen Erbes in Form von digitalen Rundgängen kann eine effektive und anschauliche Methode der modernen Kulturvermittlung sein. Da die Burg Engelstein nicht öffentlich zugänglich ist, bietet das Modell eine Möglichkeit für nicht befugte Personen, einen niedrighschwelligen digitalen Rundgang durch die Anlage zu erhalten. Das große Potenzial besteht in der bewusst kostengünstigen Methodik und deren Reproduzierbarkeit. Die mit Image Based Modelling generierten 3D Daten entfalten ein hohes interdisziplinäres Potenzial, da sie den Bestand von Burg Engelstein in einer Form zugänglich machen, die sowohl wissenschaftliche Präzision als auch didaktische, populärwissenschaftliche Anschaulichkeit miteinander verbindet.

4.9.1. Geschichtswissenschaft

Für die Geschichtswissenschaft bietet das Modell einen räumlich verankerten Bezugspunkt, der es erlaubt, archivalische Informationen (Besitzerwechsel, politische und militärische Ereignisse, wirtschaftliche Daten und Aufzeichnungen zur Rechtsprechung) mit dem baulichen Befund räumlich zu verknüpfen. Die virtuelle Rekonstruktion der Burganlage und ihrer Umgebung ermöglicht eine räumliche Kontextualisierung historischer Prozesse, die sonst nur als schriftliche Quelle fassbar sind. Sozioökonomische Strukturen wie Herrschaftsrepräsentation oder Rechtsprechung sind oftmals in zeitgenössischen Texten – Gesetzen oder Briefen – schriftlich überliefert, müssen jedoch in der Realität nicht zwingend der gelebten Praxis entsprechen. Hierbei dienen digitale Abbilder der Realität als wertvolle Ergänzung zum Verständnis historischer Lebensrealitäten.

4.9.2. Kunstgeschichte und Architektur

In der Kunst- und Architekturgeschichte unterstützt das Modell die Analyse von Formensprache, Proportionen, Materialität und Bauphasen, indem es verzerrungsfreie Ansichten, virtuelle Schnitte und Detailvergrößerungen bereitstellt. Dies erleichtert die Untersuchung kunsttechnologischer Aspekte, etwa der Ausführung von Putzschichten, historischer Oberflächenbearbeitungen oder konstruktiver Eingriffe. Besonders relevant ist die Möglichkeit, verborgene oder schwer zugängliche Bereiche – wie Dachwerke, Gewölbeansätze oder Fassadenzonen über Traufhöhe – erstmals systematisch erfassen und auswerten zu können.

Die Sgraffito-Malereien im Dachgeschoss und die unterschiedlichen Einritzungen inklusive Namen, Jahreszahlen und Botschaften zeigen, dass historische Graffiti ein legitimes

4. Diskussion

Forschungsfeld im Bereich der Kunstgeschichte, Anthropologie und Linguistik darstellen können. Bislang gibt es wenige interdisziplinäre, koordinierte Forschungsprojekte zu dem Thema. Die Einritzungen und Graffiti in Engelstein stellen nicht nur Zeichnen des Vandalismus, sondern eine Quelle kultureller Praktiken auf der Burg dar, die weiter erforscht werden kann (Verhoeven et al., 2023). Historische Graffiti können eine Grundlagen für Forschungsfragen darstellen. Die unterschiedlichen Zeichen, Inschriften und Zeichnungen können Ausdruck von Persönlichkeit, Emotionen und persönlichen Erlebnissen und Gesinnungen sein und stellen somit eine historische Quelle dar. Zudem können sie durch Kontinuität eine Stärkung der Verbindung zwischen der heutigen Gesellschaft und eines Fundortes sein (Trentin et al., 2023). Die Graffiti in Engelstein können anhand der hochauflösenden Orthofotos detailliert untersucht und interpretiert werden.

4.9.3. Didaktik und Öffentlichkeitsarbeit

Visualisierung als VR- und AR-Anwendung

Ein großes Potenzial besteht im Bereich der Didaktik und Vermittlung: virtuelle Rundgänge und immersive Simulationen ermöglichen es nicht nur, eine nicht öffentlich zugängliche Burg erlebbar zu machen, sondern tragen auch dazu bei, breitere Bevölkerungsgruppen für das Kulturerbe zu sensibilisieren. Besonders die Technologien *AR* (*Augmented Reality*) und *VR* (*Virtual Reality*) bieten sich an, um die Wissensvermittlung in der wissenschaftlichen Forschung, im Schulunterricht, aber auch im Tourismus gleichermaßen zu bereichern (Kolarek et al., 2024; Corrales-Serrano et al., 2024).

Augmented Reality ermöglicht, mithilfe von mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets, virtuelle Objekte oder Gebäude an einer bestimmten Stelle im realen Raum zu verankern, wodurch eine virtuelle Umgebung auf der Realität wiedergegeben wird (Květina et al., 2015). Mittels Georeferenzierung können also dreidimensionale Strukturen in einer früheren Form an Ort und Stelle platziert werden (Unger et al., 2017; Corrales-Serrano et al., 2024). Virtuelle Rundgänge dieser Art schaffen Zugang zu einem sonst unzugänglichen Objekt und ermöglichen es einem breiten Publikum, die räumliche Struktur, architektonische Qualität und historische Bedeutung der Burg zu erleben (Passebois Ducros and Euzéby, 2020).

Die Nutzung solcher Formate entspricht aktuellen Entwicklungen in der Museums- und Vermittlungspraxis, die verstärkt auf digitale, interaktive Angebote setzt. Virtualisierte Ortsbegehungen mit Interaktion stellen ein effektives Werkzeug für die Wissensvermittlung dar (Pietroni and Ferdani, 2021). Jüngste Entwicklungen stehen stark im Zeichen der *Gamification*, womit eine Einbindung spielerischer Elemente in die Vermittlung kulturellen Erbes gemeint ist (Münster et al., 2024). VR und AR sind als Werkzeug dieses spielerischen Konzepts zu verstehen und eignet sich dazu, besonders für ein Laien- und Kinderpublikum archäologische Grabungen immersiv und verständlich zu illustrieren und erlebbar zu

machen (Květina et al., 2015).

VR, AR und Gamification im Allgemeinen stehen im Zeichen der kontinuierlichen Entwicklungsprozesse in der Museumsdidaktik, wobei die immersiven Erlebnisse (Interaktion durch Besucher:innen, Spiele, Rätsel, Videos) und die fundierte wissenschaftliche Wissensvermittlung in einer konstanten Spannung zueinander stehen (Passebois Ducros and Euzéby, 2020). Insbesondere die Visualisierung von archäologischen Funden und Befunden, beispielsweise in Freilichtmuseen stellt eine Möglichkeit dar, Besucher:innen in die Vergangenheit zurückzusetzen (Květina et al., 2015).

Auch im Fall von Engelstein ist eine immersive Visualisierung für Nutzer:innen mit geringen digitalen Vorkenntnissen möglich. Die für die Visualisierung der dichten Punktwolke verwendete Software NUBIGON erlaubt die Navigation mittels Gamepad (Nubigon, 2025). Mithilfe der Software ist so eine rasche Navigation durch die dichte Punktwolke möglich. Schwebend bewegen sich Benutzer:innen durch Räume und über die umgebende Landschaft. Das Erlebnis kann eine immersive und dynamische Vermittlungsmöglichkeit sein.

Die Repatriierung der Kassettendecke liefert Möglichkeiten für eine detaillierte Darstellung mittels Augmented Reality. So kann die Holzverkleidung virtuell in den Rittersaal nicht nur repatriiert, sondern auch vor Ort visualisiert werden. Durch eine Verortung des Modells aus Enzsfeld ist es technisch möglich, dass Betrachter:innen im Rittersaal von Engelstein beim Tragen einer VR-Brille die Verkleidung betrachten können und so durch die renaissancezeitliche Ausgestaltung des Raums wandeln können. So kann ein Raum in einer Form immersiv und vor Ort virtuell erlebbar gemacht werden, in der er nicht mehr physisch vorhanden ist.

Auch in der Didaktik lassen sich die Modelle gewinnbringend einsetzen. Sie ermöglichen eine Studierenden- oder Schüler:innenzentrierte Annäherung an historische Architektur, indem sie räumliche Kompetenz, konstruktives Verständnis und die Fähigkeit zur Analyse von Bauphasen fördern. Komplexe Sachverhalte – etwa Bauabfolgen, räumliche Hierarchien oder die Einbindung der Anlage in ihre Landschaft – lassen sich visuell vereinfachen, ohne wissenschaftliche Genauigkeit einzubüßen. Virtuelle Rekonstruktionen früherer Bauzustände können dabei sowohl als Forschungshypothesen als auch als Lehrmaterial dienen.

Potenziale für Citizen Science

Ein entscheidender Vorteil der Methode liegt schließlich in ihrer Niedrigschwelligkeit und Reproduzierbarkeit. Da Image Based Modelling auf verhältnismäßig unkomplizierten Arbeitsschritten, kommerziell verfügbaren Drohnen und handelsüblichen Kameras basiert, können auch kleinere Forschungseinrichtungen, regionale Archive oder lokale Institutionen hochwertige Dokumentationen erstellen. Dies eröffnet neue Potenziale für die Einbindung

4. Diskussion

eines Laienpublikums im Rahmen von Citizen Science Projekten. Drohnenaufnahmen und Fotografien können von jeglichen Personen angefertigt werden, wodurch eine Beteiligung der Bevölkerung bei der Erforschung der Anlage und kontinuierliche Dokumentation möglich wird. Dies ist ein großer Beitrag für die Denkmalpflege, Forschung und Vermittlung (Richardson, 2013; Bonacchi et al., 2014).

Insgesamt zeigt sich, dass das digitale Modell von Burg Engelstein weit über die klassischen Aufgaben der Bauforschung hinaus wirkt. Es fungiert als leicht begreifbares Bindeglied zwischen Wissenschaft, Denkmalpflege, Vermittlung und Öffentlichkeit und trägt so zur nachhaltigen Sichtbarmachung eines sonst nicht zugänglichen Kulturdenkmals bei.

Videos und Animationen

Eine komprimierte, rasche Möglichkeit ein 3D-Modell darzustellen und zu veröffentlichen, kann eine Visualisierung von virtuellen Kamerafahrten durch das Modell in Form eines Videos darstellen. Diese Möglichkeit ist zwar eingeschränkt, was die Steuerung und Navigation durch den Nutzer durch das Modell angeht, kann aber einen raschen Überblick über das Modell bieten. Die in dieser Arbeit verwendete Software bietet hochauflösende Animationen im vielfach verbreiteten .mp4-Format an (Nubigon, 2025; Agisoft LLC, 2025). Eine weitere Herausforderung ist anschließend die Veröffentlichung des exportierten Videos, da hier ein Zurückgreifen auf Videoplattformen wie YouTube oder eine eigens erstellte Website seitens der jeweiligen Institution notwendig ist (Richardson, 2013).

Licht- und Klangsimulationen

Digitale Modelle bieten die Grundlage für eine Vielzahl an Simulationen, darunter Licht- und Klangsimulationen (Sü Gül, 2021; Lassandro et al., 2019). Mithilfe der Vermaschung ist es beispielsweise möglich, Lichtverhältnisse zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten zu simulieren, da unterschiedliche Einstrahlungswinkel der Sonne in entsprechender Software animiert werden können (Lassandro et al., 2019; Grobe et al., 2025). Dies ist beispielsweise hilfreich, um zu ermitteln, welche Bestandteile bestimmter Räume verstärkt dem Tageslicht ausgesetzt waren. Derartige Simulation bestimmter Tages- und Jahreszeiten können besonders in Engelstein eine wichtige Rolle zum besseren Verständnis der Wirkung einzelner Räume einnehmen. So kann die Lichteinstrahlung in der Kapelle oder im Ritter- und Gerichtssaal entsprechend simuliert werden. Gerade für Räume mit hoher repräsentativer Bedeutung spielt dies eine große Rolle. Monumentale Gebäude wie Engelstein können durch ihre schiere Größe zu bestimmten Zeiten weite Schatten werfen. Dies kann mithilfe eines 3D Modells simuliert werden.

3D-Modelle bieten zudem die Möglichkeit für digitale Klangsimulationen. So kann anhand eines digitalen Meshes simuliert werden, wie sich Schallwellen darin ausbreiten. Entspre-

chende Simulationen wurden in der Hagia Sophia durchgeführt (Sü Gül, 2021). Der große Vorteil besteht in der Adaptierbarkeit von digitalen Modellen. So kann beispielsweise die Einrichtung eines Raumes digital verändert werden, um Vergleiche in der Akustik zu ziehen. Auch hier bieten sich Räumlichkeiten wie der Rittersaal für Experimente an. Entsprechend verschiedener Materialien können anschließend akustische Werte festgelegt werden, welche akustischen Eigenschaften der Gegenstände miteinbeziehen (Bertocci et al., 2021).

Herrschaft, soziale Hierarchien und Repräsentation, aber auch Handwerk und alltägliches Leben kommen gerade auf einer Burganlage wie Engelstein in ihrer Wirkung in der Form von unterschiedlichen Geräuschen und Lichtverhältnissen zum Ausdruck. In Engelstein ist zu beobachten, dass es wenige bis keine großen Fensterflächen gibt. Daher ist davon auszugehen, dass die Positionierung einzelner Räumlichkeiten in unterschiedliche Himmelsrichtungen zur gewünschten Ausleuchtung mit Tageslicht eine Rolle gespielt haben dürfte (Rittersaal, Kemenate, Kapelle). Gerade die Vermeidung von Tageslicht für andere Räumlichkeiten dürfte wiederum ebenfalls ein Faktor für bestimmte Raumsituationen gewesen sein (Lagerräume, Küche).

Auch die Vermeidung von zu hoher Lautstärke in bestimmten Räumen dürfte durch entsprechende Raumlagen sichergestellt worden sein. Die Lärmbelastung für die Burgherren durch Handwerks- und Versorgungstätigkeiten könnte bei der Planung berücksichtigt worden sein. Simulationen dieser Art können somit für das Verständnis der Wirkmächtigkeit einer Anlage wie Engelstein beitragen.

4.9.4. Systematische 3D-Dokumentation von Burg- und Schlossanlagen

Situation in Europa

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die in dieser Arbeit angewandte Methodik nicht nur für die Dokumentation der Burg Engelstein, sondern auch für zahlreiche weitere Objekte des kulturellen Erbes richtungsweisend ist. Das Potenzial liegt dabei nicht allein in der Erschließung neuer Forschungsfragen, sondern ebenso in der nachhaltigen Sicherung, interdisziplinären Vernetzung und öffentlichen Vermittlung unseres kulturellen Erbes. Gerade aufgrund des fortschreitenden Verfalls und nicht zwingend sichergestellten Erhaltung von Burganlagen ist österreichweit, aber auch europaweit eine systematische 3D-Dokumentation erstrebenswert. Besonders die unkontrollierte Vegetation, Feuchtigkeit und die diversen Auswirkungen des Klimawandels stellen eine Bedrohung für die langfristige Erhaltung und Sicherung historischer Gebäude dar (Blavier et al., 2023).

Wie an mehreren Mauern der Burg Engelstein durch die umfassende Dokumentation sichtbar wurde, sind insbesondere die Außenwände von Bewuchs betroffen, was sich auf die Erhaltung des Mauerwerks und des Putzes ausgewirkt hat. Im inneren Burghof sind

4. Diskussion

zahlreiche Schäden an den Wandmalereien erkennbar. In Engelstein ist das Bewusstsein über diese Schäden bei den Besitzer:innen und Bewohner:innen sehr wohl verankert. Ebenso gibt es Bemühungen, diese zu beobachten und zu bekämpfen. Nun ist davon auszugehen, dass an Gebäuden, die nicht unter ständiger Beobachtung stehen, von einer großen Gefährdung durch all diese Faktoren auszugehen ist. Bei abgelegenen und leerstehenden Burgen und Schlössern, insbesondere Ruinen, ist zusätzlich von der Bedrohung durch Vandalismus auszugehen.

In Österreich kann von insgesamt von zirka 2.000 mittelalterlichen und neuzeitlichen Burg- und Schlossanlagen, beziehungsweise Anwesen ausgegangen werden (Europäisches Burgeninstitut, 02.04.2025). So sind in unterschiedlichen Online-Burgendatenbanken meist 1.900 bis 2.000 Einträge unter den Suchbegriffen *Burg* und *Schloss* zu finden. In der Burgendatenbank Burgen-Austria.com mit Stand 13.02.2026 insgesamt 1.866 Einzeleinträge zu finden (Hammerl, 2025). Insbesondere in Niederösterreich (Abb. 4.6) gibt es im Vergleich mit anderen österreichischen Bundesländern eine hohe Burgendichte (Luchner, 1978). Selbst bei einem kleinen Prozentsatz bedrohter Anlagen ist somit immer noch von einem hohen Handlungsbedarf und Gefährdungsgrad in der Erhaltung der Denkmäler auszugehen.

Weitet man dieses Konzept auf ganz Europa aus, kann von einem beträchtlichen Handlungsbedarf in der Dokumentation von Burganlagen, Schlössern und Herrenhäusern gesprochen werden. In Datenbanken wie der europäischen Burgendatenbank ¹ sind mit Stand 02.03.2025 allein in Deutschland über 8.000 Einträge zu finden, wobei dies zahlreiche Klassifizierungen von Befestigungsanlagen wie u. A. *Burg*, *Erdwerk*, *Motte* einschließt (Europäisches Burgeninstitut, 02.04.2025). In Europa kann schätzungsweise von mehreren tausend Burgen und Befestigungsanlagen ausgegangen werden (Durand et al., 2005).

Image Based Modelling als großräumige Dokumentationsstrategie

Eine systematische Erfassung bei hoher Zeit- und Kosteneffizienz, wie es in dieser Arbeit bei Image Based Modelling demonstriert werden konnte, würde bedrohtes Kulturerbe vor seinem Verfall nicht nur dokumentieren, sondern auch zur Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit beitragen. Die ermittelten Daten können eine wichtige Entscheidungsgrundlage für alle involvierten Parteien, wie Eigentümer:innen, Restaurator:innen, Geldgeber:innen, Behörden und Forscher:innen bilden.

Die Datenaufnahme in Engelstein betrug wenige Tage. Die Innenräume der Hauptburg konnten in ihrer Gesamtheit innerhalb von zwei Tagen vollständig aufgenommen werden, zusätzliche Detailaufnahmen wurden an zwei zusätzlichen Nachmittagen aufgenommen. Die Drohnenaufnahmen wurden zwar an mehreren Tagen und über mehrere Jahreszeiten hinweg erstellt, sie konnten aber in kurzen Flugeinheiten innerhalb von Minuten angefertigt

¹ <https://www.ebidat.de>

werden. Geht man inklusive der Drohnenaufnahmen von durchschnittlich fünf Arbeitstagen für die vollständige Aufnahme einer Burganlage aus und wendet diesen Arbeitsablauf auf vergleichbare Anlagen an, könnten durchschnittlich etwa 50 vergleichbare Burgen innerhalb eines Jahres mit dieser Methode aufgenommen werden. Selbst wenn die Sommermonate aufgrund des Schlagschattens und des starken Bewuchses nicht als Arbeitszeitraum gerechnet werden, können immer noch mindestens 25 bis 30 Anlagen innerhalb eines Jahres dokumentiert werden.

Wie die Dokumentation des Speisezimmers im Schloss Enzesfeld demonstriert, können mit 300 Einzelfotos einzelne Räume bereits in hohem Detailgrad dokumentiert werden. Kleinere Räume, wie etwa der Heizraum im Obergeschoss, konnten sogar mit unter 100 Fotos vollständig von einer einzigen Person mit einer digitalen Systemkamera ohne zeitintensive Einschulung dokumentiert werden, was einer Aufnahmedauer von wenigen Minuten entspricht. Selbstverständlich ist hier nicht die Bearbeitungszeit der Daten und deren Visualisierung einberechnet. Dennoch können viele Arbeitsschritte, wie etwa das Berechnen der Punktwolke, mit einem entsprechenden Computersystem über Nacht und ohne Beaufsichtigung durchgeführt werden. Parameter, wie beispielsweise Einstellungen in Metashape oder der Kamera können gezielt auf andere Gebäude mit ähnlichen Bedingungen angewendet werden und im Vorbereitungszeitraum vor der Aufnahme vorbereitet werden. Die Methodik kann so in ihren Grundzügen immer wieder angewandt werden: so können ein Monopod für schwer zugängliche Bereiche wie Brunnen, Beleuchtung mit Akku für schlecht ausgeleuchtete Räume und die jeweils benötigten Kameraeinstellungen (Blende, Brennweite) für ähnliche Räumlichkeiten in vergleichbaren Burganlagen vorab vorbereitet werden. Durch eine gezielte Systematik in der Datenaufnahme- und Verarbeitung können so zeitsparend und routiniert viele Gebäude in einem kurzen Zeitraum mit Image Based Modelling dokumentiert werden.

4. Diskussion

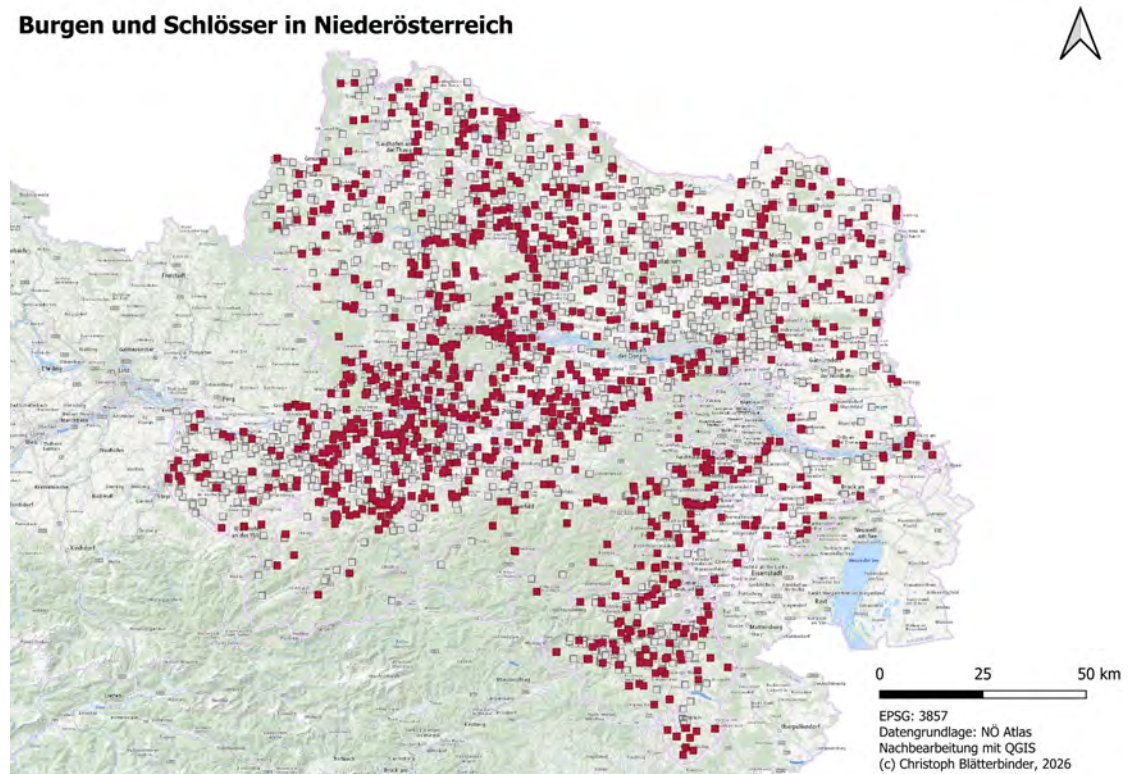


Abbildung 4.6.: Verteilung der Burg- und Schlossanlagen in Niederösterreich. Rot = vorhanden; grau = abgekommen. Quelle: <https://atlas.noegv.at/atlas/portal/noe-atlas> (aufgerufen am 23.03.2026).

5. Konklusion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass Image-Based Modelling mit einfachen Hilfsmitteln ein effizientes und kostengünstiges Instrument zur umfassenden 3D-Dokumentation komplexer Borganlagen darstellt. Am Beispiel der Burg Engelstein wurde demonstriert, dass nicht nur eine vollständige Erfassung der Architektur und ihrer unterschiedlichen Bauphasen möglich ist, sondern auch die Rekonstruktion verlorener Raumelemente, sowie die Generierung hochauflösender Orthofotos, die für bau- und kunsthistorische Fragestellungen von erheblichem Wert sind.

Darüber hinaus eröffnen die gewonnenen Raumdaten weitreichende Interpretationsmöglichkeiten zu sozioökonomischen Aspekten, wie etwa Lagerkapazitäten, Ressourcenverbrauch oder der funktionalen und sozialen Differenzierung einzelner Räumlichkeiten und Gebäudeteile. Daten zu Ressourcen sind von großem Wert für das Verständnis der Gesellschaft, in der Engelstein errichtet und genutzt wurde. Ein größeres Verständnis von Arbeitskraft, Verbrauch und ökonomischer Bedeutung von Produktionsstätten, Lagerräumen und einzelnen Individuen wird so möglich. Dies sorgt für ein tieferes Verständnis vergangener Gesellschaften.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass ein Modell dieser Art für die Denkmalpflege einen nachhaltigen Beitrag leisten kann, da es Schäden dokumentiert und eine Grundlage für künftige Restaurierungsmaßnahmen bilden kann.

Besonders hervorzuheben ist das Potenzial des 3D-Modells für die interdisziplinäre Forschung. Für die Bauforschung erlaubt das Modell eine Unterstützung zur präzisen Analyse von Bauphasen, Mauertechniken und architektonischen Details, die durch klassische Aufnahmeverfahren nur mit höherem Aufwand erfassbar wären. In der Kunstgeschichte eröffnet sich die Möglichkeit, Wandmalereien in ihrem räumlichen Kontext zu analysieren und exakt zu verorten.

Betrachtet man den aktuellen Stand der Archivierung von 3D-Daten, sind noch viele Entwicklungen und Standardisierungen notwendig, um eine nachhaltige Bewahrung der Daten gewährleisten zu können.

Das Modell sollte als eine komplexe Einheit unterschiedlicher Komponenten verstanden werden, die mit einem Grundverständnis über dessen Aufbau wieder rekonstruierbar sein muss – unabhängig von Publikationsstruktur und technischen Entwicklungen. Darüber hinaus ist ein großes semantisches Potenzial für die Integration weiterer Daten mit den

5. Konklusion und Ausblick

räumlichen Informationen des Modells gegeben. Dendrochronologische Daten zu Holzelementen oder archäometrische Analysen von Baumaterialien lassen sich direkt mit ihrer Position im Modell verknüpfen und so mit den visuellen Befunden verbinden. Das Modell stellt ein repräsentatives Beispiel für das Potenzial der Verknüpfung von Raumdaten mit semantischen Informationen dar: digitale Annotationen und Metadatenbanken können mit räumlichen, kunsthistorischen und archäologischen Informationen befüllt und unmittelbar in die dreidimensionale Umgebung integriert werden.

Für die weitere Forschung zeichnen sich mehrere Perspektiven ab. Zum einen bietet sich eine noch stärkere Integration der 3D-Daten in geographische Informationssysteme an, um Fragen zu Lage, Topografie und strategischer Funktion der Anlage im Landschaftsraum zu untersuchen. In Anbetracht der hohen Anzahl an Burg- und Schlossanlagen in Österreich (Reichhalter, 02.04.2025) und der Ergebnisse der hier präsentierten Fallstudie wird deutlich, dass Image Based Modelling nicht nur eine valide Methode für die effiziente Dokumentation gefährdeten Kulturerbes darstellen kann, sondern auch ein Werkzeug zur immersiven Visualisierung und Bewusstseinsbildung über den Erhalt unseren kulturellen Erbes ist.

Besonders durch die rasche Weiterentwicklung von Digitalkameras und entsprechender Software, sowie steigende Leistung von Computersystemen, ist von einer Steigerung der Effizienz und Genauigkeit im Image Based Modelling auszugehen. Dies wiederum untermauert die künftige Rolle der Methode für die Erfassung des kulturellen Erbes.

Literaturverzeichnis

- Agisoft LLC. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.2, 2025. URL https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_2_en.pdf.
- D. Alhafudh and S. Ali. Spolia Reuse in Contemporary Architectural Design: Applications and Significance. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 28:174–186, 07 2025. doi: 10.29194/NJES.28020174.
- A. Alotaibi, C. Chatwin, and P. Birch. Evaluating Global Navigation Satellite System (GNSS) Constellation Performance for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Navigation Precision. *Journal of Computer and Communications*, 12(1):39–62, 2024. doi: 10.4236/jcc.2024.129003. URL https://www.scirp.org/pdf/jcc2024129_31732881.pdf. Accessed: 2025-12-03.
- N. Amico and A. Felicetti. 3D Data Long-Term Preservation in Cultural Heritage, 2024. URL <https://arxiv.org/abs/2409.04507>.
- F. Arnold. *Vom Fragment zum Bauwerk : Architektur in der Archäologie*. Ediciones Asimétricas, [Madrid], 2023. ISBN 9788419050977.
- I. P. Bajena. OntPreHer3D: Ontology for Preservation of Cultural Heritage 3D Models. *Peer Community Journal*, 5:e2, 2025. doi: 10.24072/pcjournal.608. URL <https://doi.org/10.24072/pcjournal.608>. Section: Archaeology.
- A. Barnes, S. Green, A. Karasik, H. Roberts, et al. *Close-Range Photogrammetry: A Guide to Good Practice*. Archaeology Data Service, 2021. doi: 10.5284/wngr-en16. URL <https://doi.org/10.5284/wngr-en16>. Digital Monographs, Archaeology Data Service.
- S. G. Barsanti, F. Remondino, B. J. Fenández-Palacios, and D. Visintini. Critical Factors and Guidelines for 3D Surveying and Modelling in Cultural Heritage. In *International Journal of Heritage in the Digital Era*, volume 3, pages 141–158. SAGE Publishing, 2014. doi: 10.1260/2047-4970.3.1.141.
- P. Bauer, V. Kaufmann, W. Sulzer, W. Lienhart, T. Mikl, and G. Seier. 3D modelling of the castle Neu-Wildon: Applying UAV-based photogrammetry, terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning – a comparative study". *Artificial Intelligence*, 2022. doi: 10.11588/PROPYLAEUM.1045.C14507.

- B. Bayram, G. Nemli, T. Ozkan, O. Oflaz, B. Kankotan, and I. Cetin. Comparison of Laser Scanning and Photogrammetry for Cultural Heritage Documentation. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, volume II-5/W3, pages 17–24. ISPRS, 2015. doi: 10.5194/isprsannals-II-5-W3-17-2015. URL http://www.close-range.com/docs/Compare_laser_scanning_and_photogrammetry_for_cultural_monument_isprsannals-II-5-W3-17-2015.pdf.
- E. Benesch et al. *Niederösterreich nördlich der Donau*. Die Kunstdenkmäler Österreichs. Verlag Berger, Horn/Wien, 2. unveränderte edition, 2010. ISBN 978-3-85028-395-3. S. 787.
- S. Bertocci, F. Cioli, and A. Lumini. Virtual reconstruction and 3D modeling for the auralization of acoustic Heritage: the case study of the Teatro del Maggio in Florence. In CHNT – ICOMOS Editorial Board, editor, *Proceedings of the 26th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*, Heidelberg, 2021. Propylaeum. URL https://archiv.chnt.at/wp-content/uploads/Longabstract_S.Bertocci_F.Cioli_A.Lumini.pdf. Long abstract; Accessed: 2025-12-05.
- A. Bhatla, S. Y. Choe, O. Fierro, and F. Leite. Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras. *Automation in Construction*, 28:116–127, 2012. ISSN 0926-5805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.06.003>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051200115X>.
- G. Binder. *Die niederösterreichischen Burgen und Schlösser. 2, Nördlich der Donau*. Hartleben, Wien [u.a.], 1925. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC03000256>.
- C. L. S. Blavier, H. E. HuertoCárdenas, N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, and S. Della Torre. Adaptive measures for preserving heritage buildings in the face of climate change: A review. *Building and Environment*, 245:110832, 2023. ISSN 0360-1323. doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110832. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323008594>.
- Blender Foundation. Blender Reference Manual (dev version, EPUB / Online). <https://docs.blender.org/manual/en/dev/>, 2025. Zugriff am 2025-12-03.
- H. W. Böhme, R. Friedrich, B. Schock-Werner, and – Einrichtung der Deutschen Burgenvereinigung e. V., Europäisches Burgeninstitut. *Wörterbuch der Burgen, Schlösser und Festungen*. arthistoricum.net, 2020. doi: 10.11588/ARTHISTORICUM.535. URL <https://books.ub.uni-heidelberg.de/arthistoricum/catalog/view/535/824/116528/9240>.
- C. Bonacchi, A. Bevan, D. Pett, A. Keinan-Schoonbaert, R. Sparks, J. Wexler, and N. Wilkin. Crowd-sourced Archaeological Research: The MicroPasts Project. *Archaeology International*, (17):61–68, 2014. doi: 10.5334/ai.1705. URL <https://doi.org/10.5334/ai.1705>.
- N. Borisov, V. Zakharkina, I. Mbogo, and P. Scherbakov. Data Formats for Electronic Multimedia Collections. In *Proceedings of the International Conference Internet and Modern Society (IMS-2020)*, volume 2813 of *CEUR Workshop Proceedings*, pages 44–57.

- CEUR-WS.org, 2020. URL <https://ceur-ws.org/Vol-2813/rpaper04.pdf>. Accessed: 2025-12-04.
- Bundesdenkmalamt. *Richtlinien für Bauhistorische Untersuchungen*. Bundesdenkmalamt, Wien, 2. fassung, stand 1.10.2018 edition, 2018. ISBN 978-3-901858-18-5. URL <https://www.bda.gv.at>. Download verfügbar; Zugriff am 2025-12-04.
- Bundesdenkmalamt. *Handbuch zur Terminologie der mittelalterlichen und neuzeitlichen Keramik in Österreich*. Number Sonderheft 12 in Fundberichte aus Österreich, Materialhefte Reihe A. Berger & Söhne, Wien, 2. verbesserte auflage edition, 2022. ISBN 978-3-85028-917-7. URL https://www.bda.gv.at/dam/jcr:a65bc8eb-aa6c-4856-b5cb-264d3a4c2bdf/Sonderheft12_ebook_low.pdf. Zugriff am 27.03.2024.
- Bundesdenkmalamt. Richtlinien für archäologische Maßnahmen, 2024. URL <https://www.bda.gv.at/service/archaeologie/richtlinien.html>. Aktuelle Fassung der Richtlinien für archäologische Maßnahmen in Österreich.
- Bundesdenkmalamt. Niederösterreich – Denkmalliste 2025 (unbewegliche und archäologische Denkmale unter Denkmalschutz). https://www.bda.gv.at/dam/jcr:d9745190-ce0a-46d5-8228-4dbd0458e063/NEU_Nieder%C3%B6sterreich_DML_2025.pdf, 2025. Accessed: 2025-12-04.
- M. Corrales-Serrano, P. Merchán, M. J. Merchán, and E. Pérez. Virtual Reality Applied to Heritage in Higher Education—Validation of a Questionnaire to Evaluate Usability, Learning, and Emotions. *Heritage*, 7(6):2792–2810, 2024. ISSN 2571-9408. doi: 10.3390/heritage7060132. URL <https://www.mdpi.com/2571-9408/7/6/132>.
- P. Dabove, N. Grasso, and M. Piras. Smartphone-Based Photogrammetry for the 3D Modeling of a Geomorphological Structure. *Applied Sciences*, 9(18), 2019. ISSN 2076-3417. doi: 10.3390/app9183884. URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/18/3884>.
- Digital Preservation Coalition. Preserving 3D: A Digital Preservation Coalition Technology Watch Report, 2021. URL <https://www.dpconline.org/docs/technology-watch-reports/2479-preserving-3d/file>.
- DJI. Dji mini 3 – technical specifications. <https://www.dji.com/at/mini-3/specs>, 2022a. Accessed: 2025-12-03.
- DJI. Dji mini 3 — benutzerhandbuch (version 1.0, deutsch). https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_3/UM/DJI_Mini_3_User_Manual_V1.0_DE.pdf, 2022b. Zugriff am 2025-12-03.
- R. K. Donin, M. Capra, E. Neumann, A. Schmeller, D. Frey, K. Ginhardt, and Bundesdenkmalamt. *Die Kunstdenkmäler Österreichs. Niederösterreich / neubearbeitet von Richard Kurt Donin : unter Mitwirkung von Maria Capra, Erwin Neumann, Alfred Schmeller*. Dehio-Handbuch. Verlag von Anton Schroll & Co, Wien München, vierte, verbesserte auflage edition, 1955. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC02029568>.

- P. Durand, A. Baud, N. Reveyron, and F. Renucci. *Guédelon, construire aujourd'hui un château du XIIIe siècle*. Gisserot-patrimoine, ISSN 1627-4016. Jean-Paul Gisserot, 2005. URL <https://shs.hal.science/halshs-00008835>.
- F. Eppel. *Das Waldviertel : seine Kunstwerke, historischen Lebens- und Siedlungsformen*. Österreichische Kunstmonographie / 1. Verl. St. Peter, Salzburg, 8. aufl. edition, 1984. ISBN 390017301X. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC01500340>.
- Europäisches Burgeninstitut. – EBIDAT - Burgendatenbank des Europäischen Burgeninstitutes –, 02.04.2025. URL <https://www.ms-visucom.de/cgi-bin/ebidat.pl?id=1910>.
- M. Fanelli. Imagination and Space in Renaissance Theatre. *Journal of Literature and Art Studies*, 6(1):1–9, 2016. URL <https://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/56984f936446e.pdf>.
- U. E. Fischer. *Atlas der Pfarre Paudorf bei Göttweig*. Eigenverlag der Pfarre Paudorf, 1995.
- J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, and J. F. Hughes. *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1996. The industry standard for defining 3D geometric representations.
- W. Förstner and B. P. Wrobel. *Photogrammetric Computer Vision: Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction*, volume 11 of *Geometry and Computing*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2016. ISBN 978-3-319-11549-8. doi: 10.1007/978-3-319-11550-4.
- R. Friedrich. Graben. In H. W. Böhme, R. Friedrich, and B. Schock-Werner, editors, *Wörterbuch der Burgen, Schlösser und Festungen*, pages 145–146. Reclam, Stuttgart, 2004. ISBN 3-15-010547-1. doi: 10.11588/arthistoricum.535.
- E. Fullerton, S. Hellmold, S. Joshi, and L. McNamara. Current Data Storage Technologies. In *Rapid Expert Consultation on Archival Data Storage Technologies for the Intelligence Community*, pages 5–20. The National Academies Press, Washington, DC, 2024. doi: 10.17226/27445. URL <https://doi.org/10.17226/27445>.
- Y. Furukawa and C. Hernández. Multi-view stereo: A tutorial. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 9(1-2):1–148, 06 2015. ISSN 1572-2740. doi: 10.1561/06000000052. URL <https://doi.org/10.1561/06000000052>.
- B. für Eich-und Vermessungswesen (BEV). Katasterservice – austrian cadastral map and parcel register, 2025. URL <https://kataster.bev.gv.at/#/center/14.944,48.64058/zoom/18.4/vermv/0.6>. Interactive online cadastral map of Austria showing parcel boundaries and cadastral data; service provided by the Federal Office of Metrology and Surveying (BEV).

- G. Giebeler, R. Fisch, H. Krause, F. Musso, K.-H. Petzinka, and A. Rudolphi. *Atlas Sanierung*. Birkhäuser, München, 2008. ISBN 9783034614344. doi: doi:10.11129/detail.9783034614344. URL <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614344>.
- L. O. Grobe, A. Noback, R. Bielfeldt, V. Henkelmann, and F. Lang. *Views on ancient lighting: Modelling lighting devices and their effects in architecture*. ETH Zurich, 01 2025. doi: 10.3929/ethz-b-000618450. URL <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000618450>. Conference Paper.
- E. Günther, S. Schmitz, R. Cordie, U. Kelp, A. Klöckner, A. Langendorf, K. Meinecke, and J. Süß. NEUES SEHEN – Aktuelle Ansätze der Digitalen Archäologie in der Objekt- und Bildwissenschaft: 78-115 Seiten / Digital Classics Online, Bd. 9 (2023). *Digital Classics Online*, 2023. doi: 10.11588/DCO.2023.9.95539.
- M. Hammerl. Engelstein: Burgen Austria, 2025. URL <https://www.burgen-austria.com/archive.php?id=961>.
- W. Hammerl. Engelstein, Burgen-Austria.com, November 2007. URL <https://www.burgen-austria.com/archive.php?id=961>.
- J. Harris and P. Art. *Moving Rooms*. Paul Mellon Centre for Studies in British Art (YUP) Series. Yale University Press for the Paul Mellon Centre for Studies in British Art, 2007. ISBN 9780300124200. URL <https://books.google.at/books?id=nwWH3KSt7s4C>.
- M. Henke. *Der Kachelofen – Ein Gegenstand der Wohnkultur im Wandel*. Georg-August-Universität zu Göttingen, Göttingen, 1999.
- C. Herrmann. Fallgatter und Zugbrücken. In J. Zeune, editor, „Dem Feind zum Trutz“. *Wehrelemente an mittelalterlichen Burgen*, volume 15 of *Veröffentlichungen der Deutschen Burgenvereinigung e.V. Reihe B: Schriften*, pages 153–158. Deutsche Burgenvereinigung e.V., Braubach, 2015. ISBN 978-3-927558-38-0.
- I. Herzog and U. Lieberwirth. *3D-Anwendungen in der Archäologie*, volume 34 of *Berlin Studies of the Ancient World*. Edition Topoi, 2016. ISBN 978-3-9816384-3-1. doi: 10.17171/3-34. URL <https://www.edition-topoi.org/book/1034-3d-anwendungen-in-der-archaologie/>.
- H. Hofrichter. *Die Burg : ein kulturgeschichtliches Phänomen*. Burgen und Schlösser Sonderh. Theiss, Stuttgart, 1994. ISBN 3806211345.
- A. Kinnaman, M. Saverot, Y. Chen, K. Long, N. Polys, S. Nesbit, M. Stocker, S. Xiao, and N. Hall. 3D Preservation Models and Modalities: Advancing Research Reproducibility and Capacity at Virginia Tech. In *Proceedings of the 17th International Conference on Digital Preservation (iPRES 2021)*, Beijing, China, 2021. URL <https://ipres2021.cn/paper/73>. Presented at the 17th International Conference on Digital Preservation.

- A. Klaar. *Beiträge zu Planaufnahmen österreichischer Burgen. 2, Niederösterreich, T. 5 (Schluß), Beilage, Pläne*. Mitteilungen der Kommission für Burgenforschung und Mittelalter-Archäologie / 25, Beil. Verl. d. Österr. Akad. d. Wiss, Wien, 1979. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC01186299>.
- H. Knittler, H. Dikowitsch, A. Hubmann, W. Kitlitschka, P. König, G. Lindner, E. Smekal, and K. Waldhütter, editors. *Denkmalpflege in Niederösterreich, Band 21*. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kunst und Kultur, 2017. URL https://www.noel.gv.at/noe/Kunst-Kultur/denkmal_Band_21.pdf.
- H. Koepf and G. Binding. *Bildwörterbuch der Architektur*, volume 194 of *Kröners Taschenausgabe*. Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 4. überarbeitete edition, 2005. ISBN 978-3-520-19404-6.
- B. Kolarek, L. Gamulin, and D. Davidović. Cultural Heritage on HPC – Creating High Resolution 3D Models Using Photogrammetry. In *Proceedings of the 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*, pages 1121–1127. IEEE, 2024. doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569784. URL <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569784>.
- K. Kraus. *Photogrammetrie*, volume 2: Verfeinerte Methoden und Anwendungen of *Dümmelbuch*. Ferd. Dümmers Verlag, Bonn, 3., völlig neue und erweiterte auflage edition, 1996. ISBN 3-427-78653-6. Mit Beiträgen von Josef Jansa und Helmut Kager.
- P. Květina, J. Unger, and P. Vavrečka. Presenting the invisible and unfathomable: Use of 3D computer graphics for archaeology. *Archeologické rozhledy*, 67(1):3–22, 2015. doi: 10.35686/ar.2015.1. URL <https://doi.org/10.35686/ar.2015.1>.
- T. Kührtreiber. *Burgen: Waldviertel, Wachau : Mährisches Thayatal*. Freytag & Berndt, Wien, 2., überarbeitete und erweiterte auflage edition, 2009. ISBN 9783707912739.
- P. Lassandro, M. Lepore, A. Paribeni, and M. Zonno. 3D Modelling and Medieval Lighting Reconstruction for Rupestrian Churches. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9:417–424, 2019. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-417-2019. 8th Intl. Workshop 3D-ARCH, 6–8 February 2019, Bergamo, Italy.
- E. E. V. le Duc. *Dictionnaire raisonné de l’architecture française du XIe au XVIe siècle*, volume 5. B. Bance / A. Morel, Paris, 1854–1868. Image retrieved from Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Escalier.XIIe.siecle.png>.
- W. Lipp. Bäuerliche Sgraffito-Dekoration in OÖ. *Mitteilungsblatt des Vereins der Denkmalfreunde*, 40:4–10, 1985. URL https://www.denkmalpflege.at/images/Dokumente/Mitteilungsblatt/Mitteilungsblatt_1985/VD_MB_40_1985_Dezember.pdf. Abgerufen am 19. März 2026.
- L. Luchner. *Residenzen und Landsitze in Wien, Niederösterreich und dem Burgenland*, volume mit Aufnahmen von Emmanuel Boudot-Lamotte of *Schlösser in Österreich*

- / von Laurin Luchner. Verlag nicht ermittelbar, Ort nicht ermittelbar, 1978. ISBN 3406045073.
- T. Luhmann. *Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichmann, Berlin and Offenbach, 3., völlig neu bearbeitete und erweiterte auflage edition, 2010. ISBN 9783879075638. URL http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783879075638.
- S. Melk. Stift Melk: Geschichte, 2025. URL <https://www.stiftmelk.at/aufgaben/-taetigkeiten/-pfarren/geschichte/>. Offizielle Webseite des Benediktinerstifts Melk.
- F. Mielke. *Handbuch der Treppenkunde*. Edition Libri Rari. Verlag Th. Schäfer, Hannover, 1993. ISBN 978-3887463120.
- C. Monterisi, A. Capolupo, and E. Tarantino. Crowdsensing Close-Range Photogrammetry for Accurately Reconstructing a Digital Twin of a Cultural Heritage Building Using a Smartphone and a Compact Camera. In *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops*, volume 14107 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 234–250. Springer Cham, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-37114-1_16.
- S. Münster, F. I. Apollonio, I. Bluemel, F. Fallavollita, R. Foschi, M. Grellert, M. Ioannides, P. H. Jahn, R. Kurdiovsky, P. Kuroczyński, J.-E. Lutteroth, H. Messermer, and G. Schelbert. *Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture*. Synthesis Lectures on Engineers, Technology, & Society. Springer Cham, 2024. ISBN 978-3-031-43362-7. doi: 10.1007/978-3-031-43363-4. URL <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-43363-4>. Open Access; accessed 2025-12-05.
- M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4):311–327, 2009. doi: 10.1108/02630800910985108. URL <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>.
- J. K. Najar and J. A. Wani. Digital Preservation: An Overview. *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, 2989, 2019. URL <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/2989>.
- W. Neubauer and N. Studnicka. The Scanning of the Pyramids Project, pages = 4–13. *VIAS - Vienna Institute for Archaeological Science*, 01, 2007.
- Nubigon. Nubigon support knowledge base, 2025. URL <https://support.nubigon.com/support/solutions>. Online software documentation and technical support portal.
- J. Passebois Ducros and F. Euzéby. Investigating consumer experience in hybrid museums: a netnographic study. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 24(2):180–199, 06 2020. ISSN 1352-2752. doi: 10.1108/QMR-07-2018-0077. URL <https://doi.org/10.1108/QMR-07-2018-0077>.

- A. Pattee, B. Höfle, and C. Seitz. Integrative 3D Recording Methods of Historic Architecture - Burg Hohenecken from Southwest Germany. In *IEEE Digital Heritage 2015*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016.
- J. L. Pérez-García, A. T. Mozas-Calvache, J. M. Gómez-López, and D. Vico-García. Multiscale 3D Documentation of the Medieval Wall of Jaén (Spain) Based on Multi-Sensor Data Fusion. *Heritage*, 6(8):5952–5966, 2023. doi: 10.3390/heritage6080313.
- M. J. Pernerstorfer. Der Adel und das Theater in Niederösterreich. In *Denkmalpflege in Niederösterreich, Bd. 52: Theater und Kinos. Historische Spielstätten*, pages 17–21. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kunst und Kultur, 2015.
- E. Pietroni and D. Ferdani. Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage: Terminology, Methodologies, Visual Representation Techniques and Cognitive Models. *Information*, 12(4):167, 2021. doi: 10.3390/info12040167. URL <https://doi.org/10.3390/info12040167>.
- F. Pirotti, M. Piragnolo, A. Vettore, and A. Guarnieri. COMPARING ACCURACY OF ULTRA-DENSE LASER SCANNER AND PHOTOGRAMMETRY POINT CLOUDS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B1-2022:353–359, 2022. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-353-2022. URL <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B1-2022/353/2022/>.
- P. M. Plechl. *Ein gutes Land: Sonntagsfahrten durch Innerösterreich*. Hunna Verlag, 1966.
- W. Pongratz. Das Dorf Engelstein. *Das Waldviertel. Zeitschrift für Heimat- und Regionalkunde des Waldviertels und der Wachau*, 20 (31)(1/3):14–18, 1971. URL http://archiv.daswaldviertel.at/hefte_digital_71_75/das_waldviertel_1971_01_02_03_ocr.pdf.
- W. Pongratz and G. Seebach. *Burgen und Schlösser in Niederösterreich*. Birken-Verl., Wien, 1971. ISBN 3850300072. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC03292566>.
- W. Pongratz and J. Tomaschek. *Heimatbuch der Marktgemeinde Groß-Schönau*. Schriftenreihe des Waldviertler Heimatbundes / 8. Faber, Krems an d. Donau, 1975. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC00008541>.
- W. Pongratz and P. Tomaschek. *Heimatkunde des Bezirkes Gmünd*. Verl. der Stadtgemeinde, Kulturreferat, Gmünd, 3. Aufl. edition, 1986. URL <https://ubdata.univie.ac.at/AC00606298>.
- E. Priego de los Santos, J. Herraiez Boquera, J. L. Denia Rios, and J. L. Regidor Ros. Digital reintegration of fragmented wall paintings: 3D texture mapping of historical photographs in the Santos Juanes church restoration. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 40:e00514, 2026. ISSN 2212-0548. doi: 10.1016/j.daach.2026.e00514. URL <https://doi.org/10.1016/j.daach.2026.e00514>.

- G. Reichhalter. Suchergebnis - NÖ-Burgen online | IMAREAL, 02.04.2025. URL <http://noeburgen.imareal.sbg.ac.at/result/burgid/1871>.
- G. Reichhalter, K. Kührtreiber, and T. Kührtreiber. *Burgen: Waldviertel und Wachau*. Schubert & Franzke, St. Pölten, 1. aufl., stand dezember 2000 edition, 2001. ISBN 3705605305.
- L.-J. Richardson. A Digital Public Archaeology? *Papers from the Institute of Archaeology*, 23(1):1–12, 2013. doi: 10.5334/pia.431. URL <https://doi.org/10.5334/pia.431>.
- M. Russo, F. Panarotto, G. Flenghi, E. Rossi, and A. Pellegrinelli. Medieval cultural heritage, from 3D survey to data management: the castle of Canossa. In *Proceedings of the 2022 IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, pages 175–180, Budapest, 10/19/2022 - 10/21/2022. IMEKO. doi: 10.21014/tc4-ARC-2022.034.
- R. Sandgruber. *Rothschild: Glanz und Untergang des Wiener Welthauses*. Molden Verlag, 2018. ISBN 978-3-222-15024-1.
- Sketchfab. Sketchfab Virtual Reality, 2025. URL <https://sketchfab.com/virtual-reality>. Web platform for viewing 3D models in virtual reality.
- L. Sou. Carlisle Castle, Cumbria A Geospatial Survey of Historic Carvings and Graffiti: Discovery, Innovation and Science in the Historic Environment. In *Historic England*, volume 53-2016. Liverpool University Press, 2016.
- G. Stenzel and L. Beckel. *Von Burg zu Burg in Österreich*. Kremayr & Scheriau, Wien, 1973. ISBN 321800229X.
- N. Studnicka and F. Zehetner. 3D-Vermessung und 3D-Modell des Domes – Dokumentation des Zustands des Domes und der Arbeiten der Dombauhütte. *Der Dom*, 1(1/2020), 2020. URL https://archiv.chnt.at/wp-content/uploads/Longabstract_P.Dorninger_N.Studnicka.pdf. Accessed: 2025-12-04.
- Z. Sü Gül. Exploration of room acoustics coupling in Hagia Sophia of İstanbul for its different states. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149(1):320–339, 2021. ISSN 0001-4966. doi: 10.1121/10.0002971. URL <https://doi.org/10.1121/10.0002971>.
- A. Talha and D. Fritsch. Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation: A Review. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 9(4):87–98, 2019. doi: 10.30845/ijast.v9n4p9. URL <https://doi.org/10.30845/ijast.v9n4p9>.
- C. Tinzl. Widerschein des Südens – Figurative Sgraffiti des 16. Jahrhunderts in Niederösterreich und ihre Restaurierung. In A. Weyer and K. Klein, editors, *Sgraffito im Wandel: Materialien, Techniken, Themen und Erhaltung*, volume 19 of *Schriften des Hornemann Instituts*. Michael Imhof Verlag, Petersberg, 2018. ISBN 978-3-7319-0692-6.

- M. G. Trentin, D. Altaratz, M. Caine, A. Re'em, A. Tinazzo, and S. Gasanova. Historic Graffiti as a Visual Medium for the Sustainable Development of the Underground Built Heritage. *Sustainability*, 15(15):11697, 2023. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su151511697. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11697>.
- D. Ullrich. Magnetbänder. In H. Neuroth, A. Oßwald, R. Scheffel, S. Strathmann, and M. Jehn, editors, *nestor Handbuch: Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung*, chapter 10.3.1. Verlag Werner Hülsbusch, Boizenburg, 2.0 edition, 2009. ISBN 978-3-940317-48-3. URL https://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/artikel/nestor_handbuch_artikel_330.pdf. URN: urn:nbn:de:0008-20090811551.
- J. Unger, P. Vavrečka, and L. Jiráň. Neue Möglichkeiten zur Rekonstruktion archäologischer Objekte. In O. Chvojka, M. Chytráček, H. Gruber, L. Hustý, J. Michálek, K. Schmotz, R. Sandner, and S. Traxler, editors, *Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern /West- und Südböhmen/Oberösterreich*, Fines Transire. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf., 2017. ISBN 9783896462206.
- G. Verhoeven. Straightforward Archeological Orthophotos from Oblique Aerial Images. *SPIE*, 2012. doi: 10.1117/2.1201210.004506. URL <https://files.core.ac.uk/download/55849380.pdf>. Accessed: 2025-12-03.
- G. Verhoeven. Archaeological Photography and Image-Based Modelling, 2017. URL <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1570112>.
- G. J. Verhoeven, M. Santner, and I. Trinks. Bilddbasierte 3D-Modellierung der Wandmalerei in der Bischofstorvorhalle im Wiener Stephansdom. *Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege*, 2021. doi: 10.5281/ZENODO.5029639.
- G. J. Verhoeven, S. Wogrin, J. Schlegel, M. Wieser, and B. Wild. Facing a chameleon – how project INDIGO discovers and records new graffiti. In G. J. Verhoeven, J. Schlegel, B. Wild, S. Wogrin, and M. Carloni, editors, *document | archive | disseminate graffiti-scapes: Proceedings of the goINDIGO 2022 International Graffiti Symposium*, pages 63–85. Urban Creativity / AP2, Lisbon, 2023. ISBN 979-8-3946-0127-9. doi: 10.48619/indigo.v0i0.703. URL <https://doi.org/10.48619/indigo.v0i0.703>.
- G. M. Vischer. *Topographia Archiducatus Austriae Inferioris Modernae*. V.O.M.B., reprint edition, 1672. Reprint der Ausgabe von 1672, V.O.M.B., Nr. 24.
- G. Wangerin. *Bauaufnahme : Grundlagen, Methoden, Darstellung, edition = 2., verb. und erw. Aufl.* Vieweg, Wiesbaden, 1992. ISBN 9783663119753.
- M. J. Westoby, J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey, and J. M. Reynolds. 'structure-from-motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179:300–314, 2012. ISSN 0169-555X. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021. URL <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.
- G. Wiplinger. DER SCHÜTTKASTEN VON CARNUNTUM. *Römisches Österreich*, 44: 1–14, 2021. URL <https://unipub.uni-graz.at/download/pdf/7836036.pdf>.

- S. Wyatt-Spratt. Scanning vs Photogrammetry: The pros and cons of different 3D modelling techniques. In *Proceedings of the National Archaeology Student Conference*. The University of Sydney, 2018. doi: 10.13140/RG.2.2.28510.87366. URL <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28510.87366>. Preprint published on ResearchGate.
- J. Zeiger. *Von den Herren auf Tegernbach bis zu Dr. Ratzenböck: Kurze Lebensbilder von Persönlichkeiten aus dem Verwaltungsbezirk Grieskirchen*. Ennsthaler, Steyr, 1990. ISBN 3-85068-308-7.
- G. Zhang and J. Zhang. High-Precision Photogrammetric 3D Modeling Technology Based on Multi-Source Data Fusion and Deep Learning-Enhanced Feature Learning Using Internet of Things Big Data. *Informatica*, 49(11), 2025. doi: 10.31449/inf.v49i11.7137. URL <https://doi.org/10.31449/inf.v49i11.7137>.
- M. Zheng, D. Zhang, and A. Dajani. On Fault Tolerance of Data Storage Systems: A Holistic Perspective. In *Main-IntechOpen-Book*. IntechOpen, London, UK, October 2025. doi: 10.48550/arxiv.2507.03849. URL <https://doi.org/10.48550/arxiv.2507.03849>. Preprint available at arXiv:2507.03849.
- S. Zwettl. Stift Zwettl: Geschichte, 2025. URL <https://www.stift-zwettl.at/kloster-und-pfarren/geschichte/>. Offizielle Webseite des Zisterzienserstifts Zwettl.
- S. Štuhec, G. J. Verhoeven, and I. Štuhec. Modelling building costs from 3D building models – Estimating the construction effort from image-based surface models of dry-stone shepherd shelters (Kras, Slovenia). In *Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Vol. XLII-2/W9, pp. 691–698)*. = 2019, volume XLII-2/W9, pages 691–698, 2019. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-691-2019.

A. Raumbeschreibungen

A.1. Kellerraum 1 - Nord



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	8,20 m
Breite	4,13 m
Höhe	3,24 m
Fläche	16,84 m ²
Besonderheiten	Tonnengewölbe
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Zugang zum östlichen Kellerraum erhält man über einen Abgang unterhalb des Burgtors im Schlosshof, was der Position des alten (nicht mehr vorhandenen) Burggrabens mit

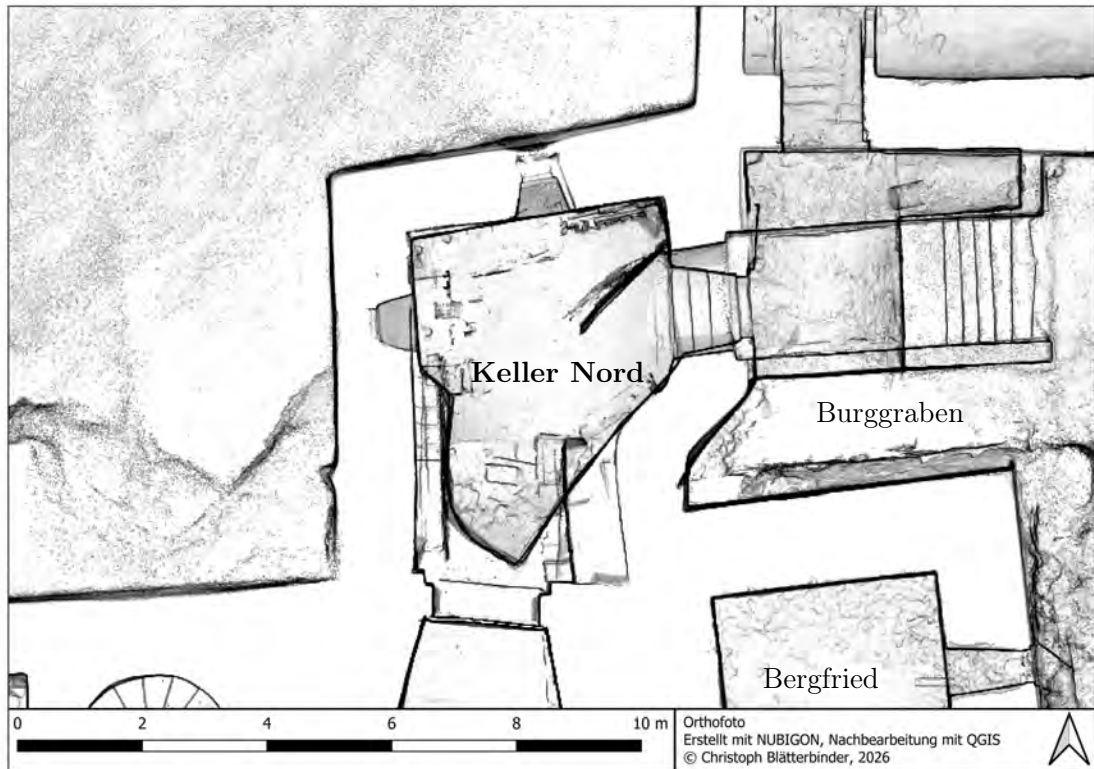


Abbildung A.1.: Plan des nördlichen Kellerraums

ehemaliger Zugbrücke entspricht. Unter der Steinbrücke gelangt man zunächst über einen kurzen Korridor zu zwei Räumen, welche jeweils über eine steinerne Stiege erreichbar sind (vgl. Kapitel A.2).

Der Raum verfügt über einen nahezu sechseckigen Grundriss, wobei er südlich spitz zuläuft (siehe Abb. A.1). Der Grundriss entspricht nahezu dem darüberliegenden Torhaus zur Hauptburg. Der Raum besitzt ein Tonnengewölbe und mehrere Stichkappen, die mit Fenstern ausgestattet sind. Die Fenster sind nord- und westseitig ausgerichtet (siehe Abb. A.2). Im Gemäuer sind an mehreren Stellen eiserne Haken und Ösen angebracht, deren ursprünglicher Nutzen nicht klar erkennbar ist. Für den Raum ist – wie beim darüber liegenden Torhaus – eine Datierung in das Spätmittelalter anzunehmen (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Zustand des Raums ist schlecht. Boden ist flächig mit Schutt bedeckt. Sowohl an den Wänden als auch am Gewölbe sind Verfärbungen und Schäden am Verputz festzustellen. Die Eingangstür ist nicht mehr erhalten.



Abbildung A.2.: Ansichten des nördlichen Kellerraums: Eingang ostseitig (A); Nische Südseite (B); Fenster nord- und westseitig (C).

A.2. Kellerraum 2 - Ost



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	6,20 m
Breite	5,24 m
Höhe	3,03 m
Fläche	30,22 m ²
Besonderheiten	Tonnengewölbe Zugang über Halsgraben Fenster nord- und westseitig
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Zugang zum östlichen Kellerraum erhält man über einen Abgang unterhalb des Burgtors im Schlosshof, was der Position des alten (nicht mehr vorhandenen) Burggrabens entspricht. Unter der Steinbrücke gelangt man zunächst über einen kurzen Korridor zu zwei Räumen, welche jeweils über eine steinerne Stiege erreichbar sind (vgl. Kapitel A.1).

Geradeaus gelangt man zu diesem Raum, der einen rechteckigen Grundriss und ein Tonnengewölbe ausbildet (siehe Abb. A.3). Der Raum liegt etwas nördlich versetzt unterhalb der Hauptburg und teils unter dem Schlosstrakt. Der Raum besitzt ein nordseitiges und

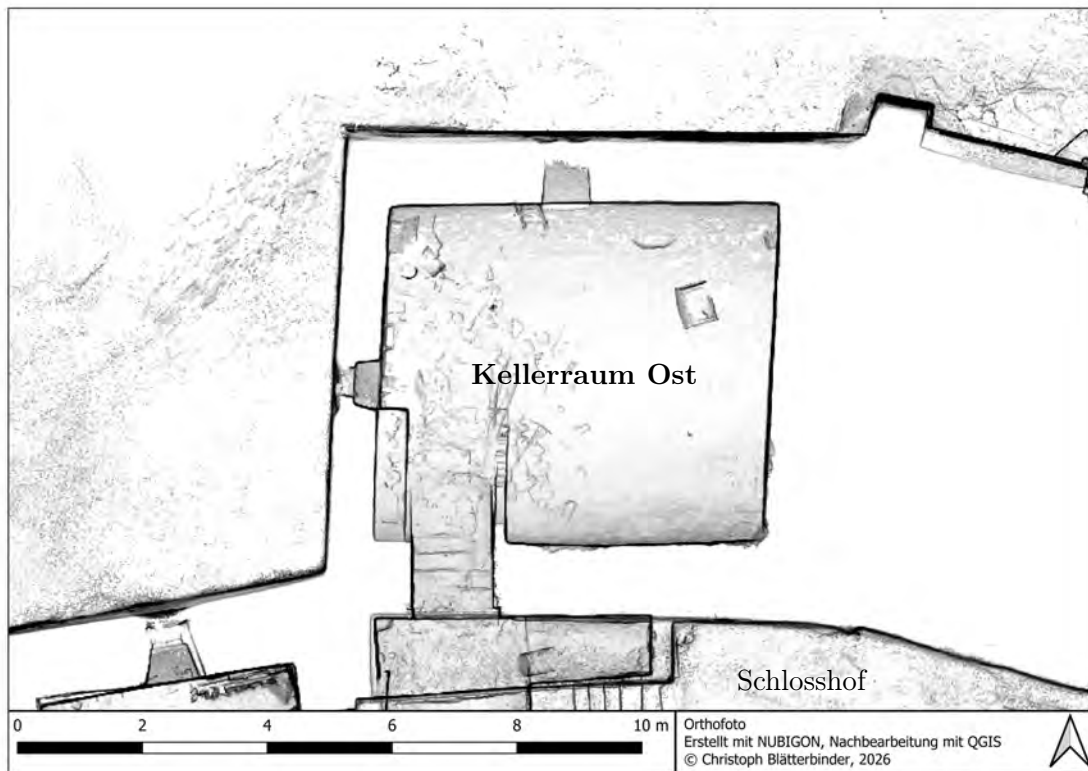


Abbildung A.3.: Plan des Kellerraums Ost.

ein ostseitiges Fenster, am Gewölbe ist ein Eisenring angebracht (siehe Abb. A.4). Es ist von einer Datierung des Raums in das 16. Jh. auszugehen (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

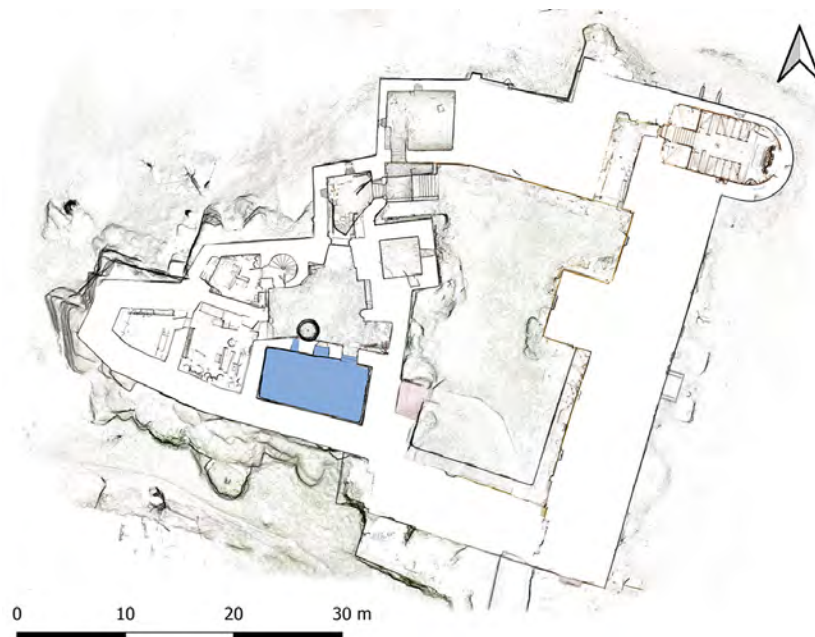
Der Zustand des Raums ist schlecht. Der Boden ist flächig mit Schutt bedeckt. Der Putz ist besonders in der unteren Hälfte der Wand abgeplatzt. Die Wände werfen dort ebenfalls grüne Verfärbungen und Schäden durch Feuchtigkeit auf.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.4.: Ansichten des Kellerraums Ost: Südostseite (A); Nordostseite (B); Eingang Südseite (C).

A.3. Keller, Palasbau



Stockwerk	Keller
Länge	10,1 bis 10,2 m
Breite	5 bis 5,6 m
Höhe	3,27 m
Fläche	44,06 m ²
Besonderheiten	Tonnengewölbe Granitstein sichtbar
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Zutritt zum Kellerraum erhält man über den Burghof (siehe Abb. A.5). Der Raum hat einen rechteckigen Grundriss und ein Tonnengewölbe. Der Raum ist direkt in den Granitfels eingetieft. Die Grenze zwischen Granitfels und dem Mauerwerk aus Rundsteinen ist in Form einer horizontalen Stufe deutlich an der Wand erkennbar. Zwei hofseitige Fenster sind in das Gewölbe eingelassen, Zugang zum den Raum erhält man über eine Stiege in den inneren Burghof (siehe Abb. A.6).

Der fehlende Putz gibt den Blick auf das Mauerwerk frei, welches aus Rundsteinen besteht. Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr erhalten. Die aktuelle Einrichtung umfasst einen weißen hölzernen Tisch. Der Raum steht leer und ist nicht in Benutzung. Das

A. Raumbeschreibungen

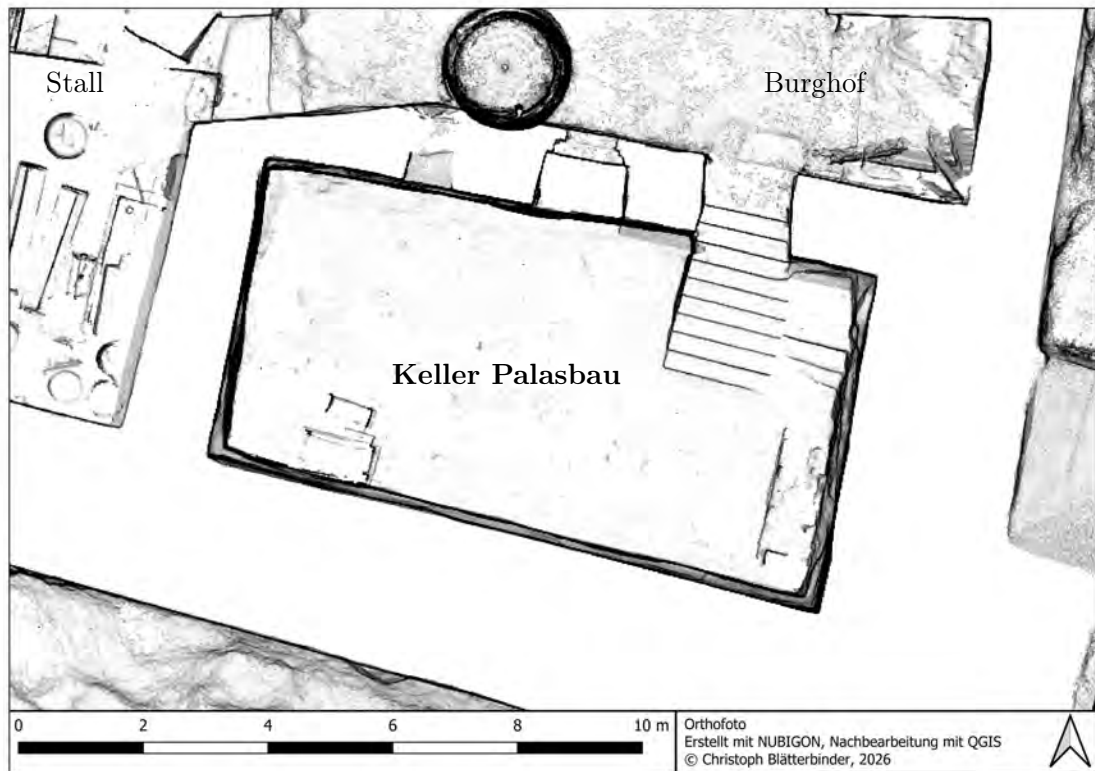


Abbildung A.5.: Plan des Kellerraums (Palas).

Gewölbe und die Mauern des Raums datiert in das 13. Jh., während die Fensterfassungen jünger datieren dürften (Klaar, 1979).

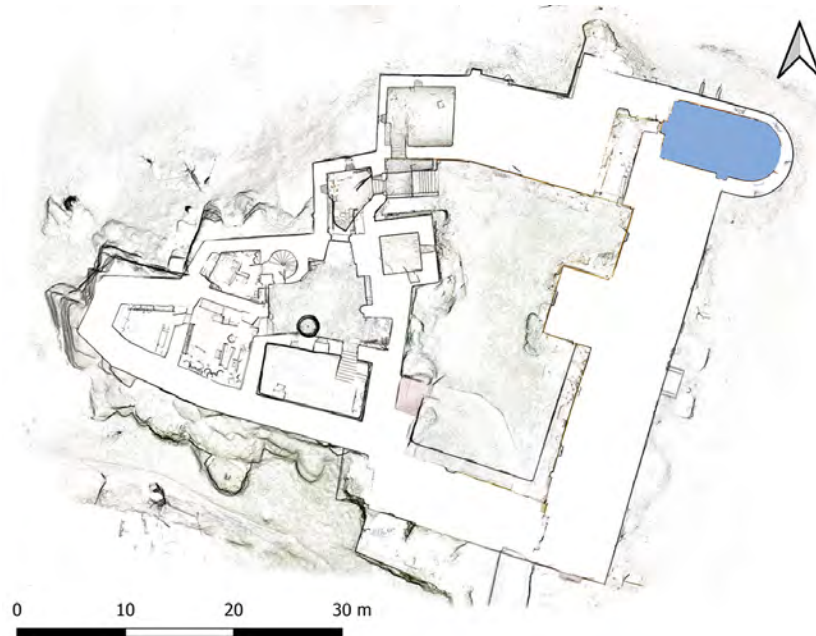
Erhaltungszustand

Der Putz ist größtenteils abgeplatzt, die Wände weisen starke dunkle Verfärbungen auf. Die Eingangstür fehlt. Zudem sind Feuchtigkeit und Moosbewuchs an den Wänden sichtbar.



Abbildung A.6.: Ansichten des Kellerraums (Palasbau): Westseite (A); Südseite mit hofseitigem Fenster (B); Eingang vom Burghof (C).

A.4. Schlosskapelle hl. Maria



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	etwa m
Breite	6,55 m
Höhe	4,55 m
Fläche	57,25 m ²
Besonderheiten	Barocker Hochaltar Luster (rezent) Nische mit Marienplastik Apsis mit Rundfenstern ostseitig Kreuzgewölbe
Datierung	2. Drittel 16. Jh. (Errichtung) ab 17. Jh. (Umbauten, Hochaltar)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.12.

Erhaltungszustand

Der Zustand der Kapelle ist sehr gut und weitgehend restauriert. Die Wandfarbe ist flächig vorhanden. Sitzbänke, Bilder und Altar sind unbeschädigt und gepflegt (siehe Abb. A.7). Die Kapelle wurde saniert und stellt jährlich ein Pilgerziel für die Marienandacht dar.¹

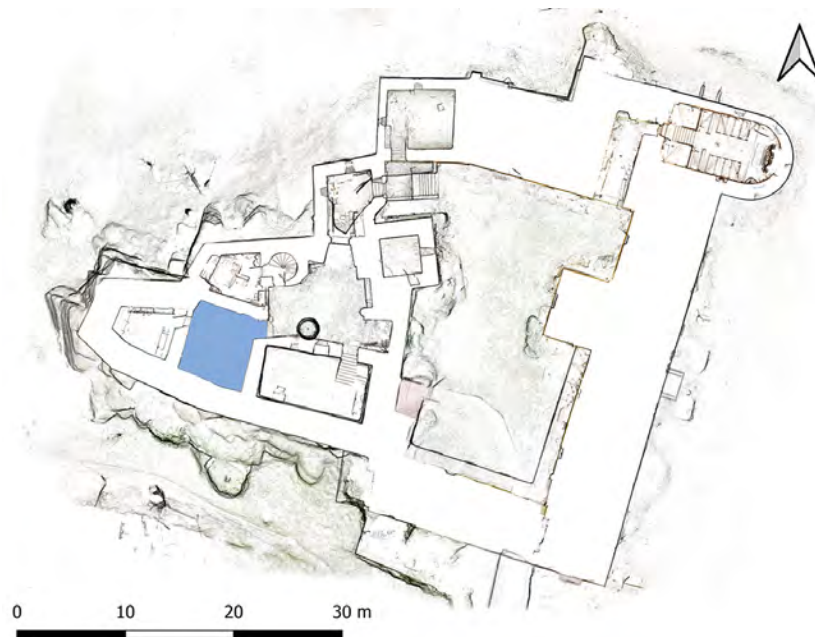
¹ Persönliche Auskunft von Peter Rath, Besuch in Engelstein am 07.04.2025.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.7.: Ansichten der Kapelle: Ostseite (A); Westseite (B); Marienplastik (C); Marienplastik in der Mitte des barocken Hochaltars (D).

A.5. Ehemaliger Stall



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	6,75 m bis 7,9 m
Breite	6,2 m bis 6,4 m
Fläche	41,45 m
Höhe	2,71 m
Besonderheiten	Tonnengewölbe Fenster südseitig
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.) Renaissance (16. Jh.): Mauer Westseite

Beschreibung

Zutritt zum ehemaligen Stall erhält man über eine Tür im inneren Burghof (siehe Abb. A.8). Es handelt sich um einen Raum mit rechteckigem Grundriss und weiß verputzten Wänden und Tonnengewölbe. Eine Tür mit Halbbogen führt schließlich in den Kellerraum, eine Tür in die Küche, eine hölzerne Tür in den Hof. Ein Fenster liegt Südseitig.

Mehrere Eisenhaken sind im Gewölbe sichtbar, ebenso eine rote Randbemalung an Türbogen der Eingangstür. Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr vorhanden. Die aktuelle Einrichtung umfasst zwei Sitzbänke, einen Tisch, ein Regal mit Weinflaschen und

A. Raumbeschreibungen

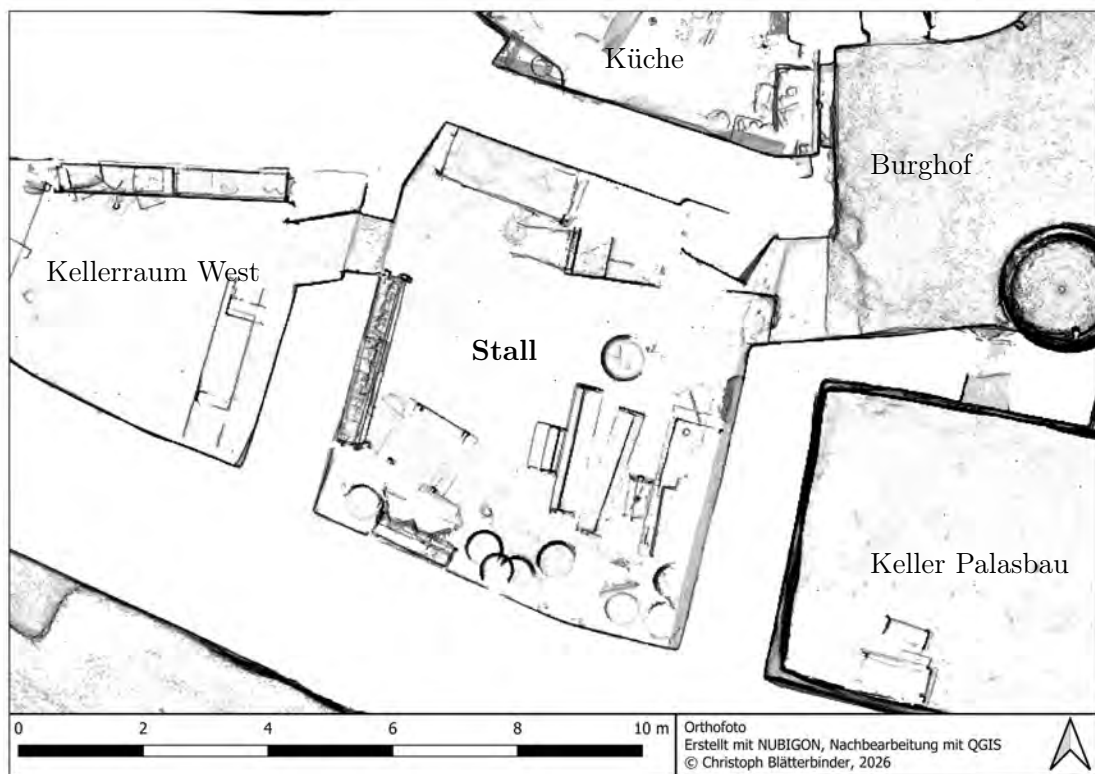


Abbildung A.8.: Plan des ehemal. Stalls, EG.

Fässer (siehe Abb. A.9). Es ist von einer Datierung des Raums in das 13. Jh. auszugehen, wobei die Mauer an der Westseite in das 16. Jh. datiert (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

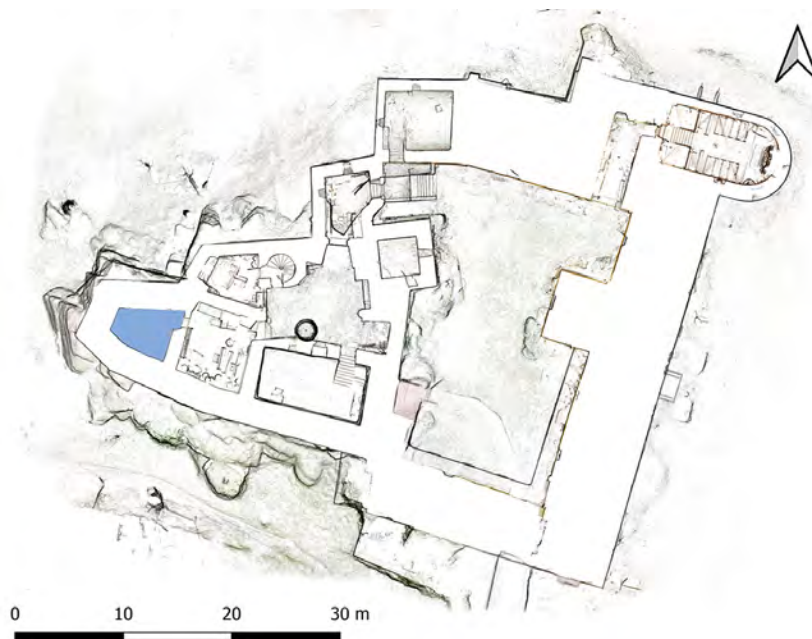
Der Zustand des Raums ist gut. Der Verputz ist vollständig erhalten. An Wänden sind dunkle Verfärbungen festzustellen, die durch Feuchtigkeit begründet sind.

A.5. Ehemaliger Stall



Abbildung A.9.: Ansichten des ehemaligen Stalls: Nordseite (A); Südseite (B); Westseite (C); Ostseite (D).

A.6. Kellerraum West



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	5,55 bis 5,75 m
Breite	2,55 m
Höhe	2,73 m
Fläche	21,69 m ²
Besonderheiten	Fenster südseitig Tonnengewölbe
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Nord- Süd-, und Westmauer Renaissance (16. Jh.): Ostmauer

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man über eine Holztür an der Westseite des ehemaligen Stalls. Es handelt sich um einen Raum mit fünfeckigem Grundriss, der westseitig aus dem Gebäudekomplex hervorragt (siehe Abb. A.10). Ein Fenster mit hölzernem Fensterrahmen ist südseitig in das Gewölbe eingelassen. Die Tür sitzt in einem halbierten Torbogen und besitzt keinen Türrahmen. Sowohl die Wand als auch das Tonnengewölbe sind weiß verputzt. An den Wänden und im Gewölbe sind Reste eiserner Befestigungen sichtbar.

Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr erhalten. Die aktuelle Einrichtung umfasst ein hölzernes Weinregal (siehe Abb. A.11). Es ist von einer Datierung des Raums in das

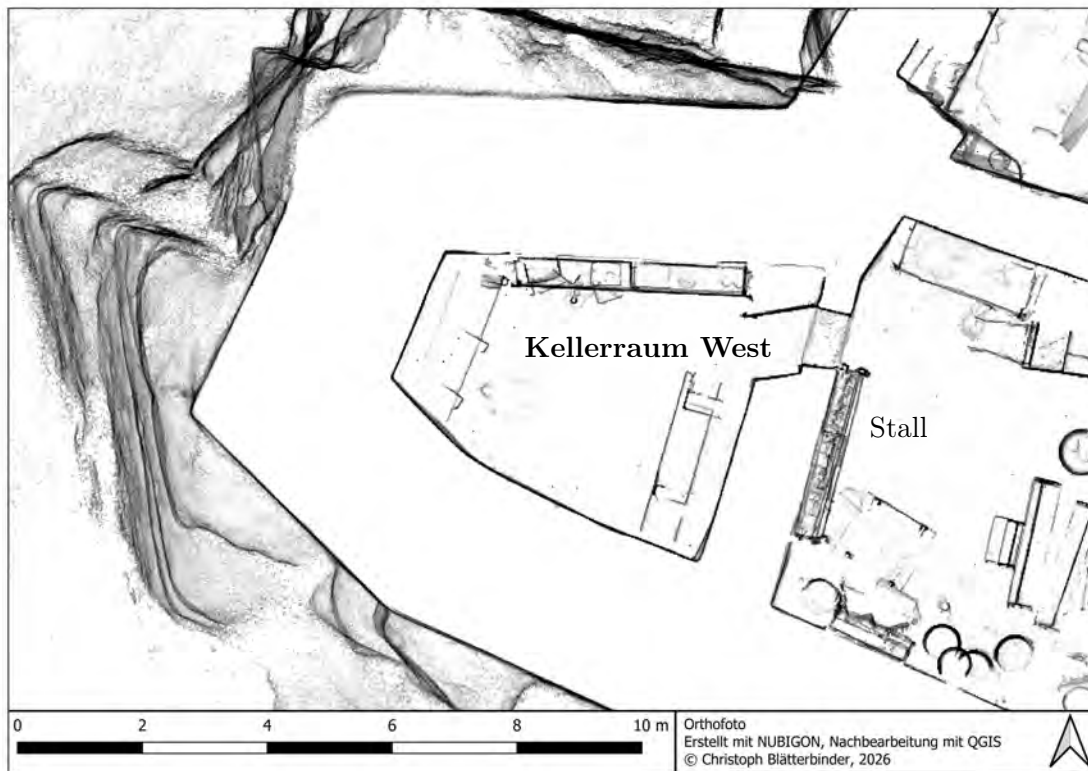


Abbildung A.10.: Plan des Kellerraums West.

13. Jh. auszugehen, wobei die Mauer an der Ostseite in das 16. Jh. datiert (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

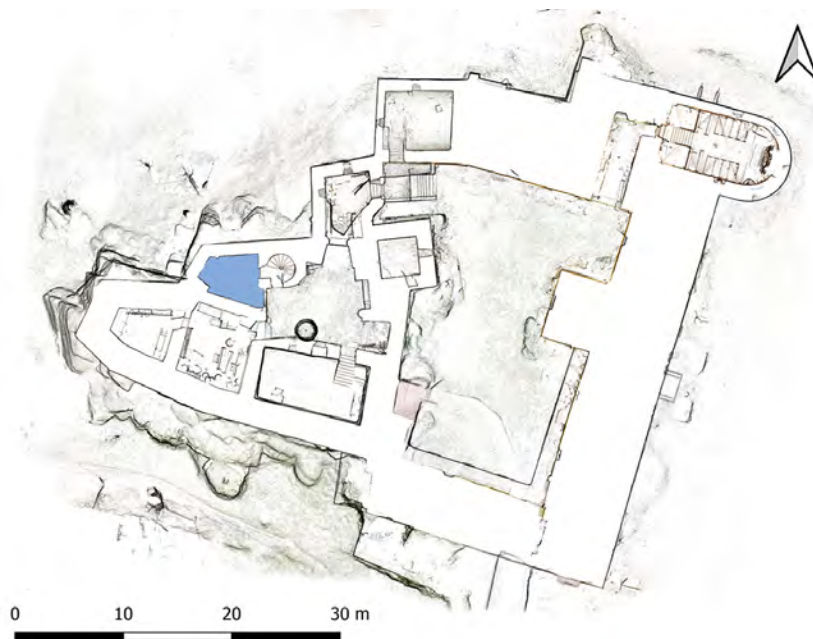
Der Raum ist intakt. Sowohl Verputz als auch Boden sind vorhanden. Die eisernen Verankerungen sind nur teilweise erhalten.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.11.: Ansichten des westlichen Kellerraums: Ostseite mit Eingang (A); Westseite (B); Südseite mit Fenster (C).

A.7. Küche



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	4,90 m
Breite	3,70 m
Höhe	2,91 m
Fläche	18,45 m ²
Besonderheiten	Ofen Eingang mit Werksteinfassung und Holzrahmen Fenster hofseitig Ziegelboden Kreuzgewölbe
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer Renaissance (16. Jh.): Ofen

Beschreibung

Die Küche besitzt einen annähernd rechteckigen Grundriss, zu dem man über das Stiegenhaus im Erdgeschoss Zugang erhält (siehe Abb. A.12). Der Raum besitzt einen Ziegelboden und Kreuzgratgewölbe, ein Fenster zum inneren Burghof mit hölzernem Fensterrahmen. Die Eingangstür hängt in einem schwarzen Holzrahmen, darunter ist ein massiver behauener Steinrahmen sichtbar. Eine kleine Nische ist rechtsseitig vom Fenster in der Wand eingebracht.

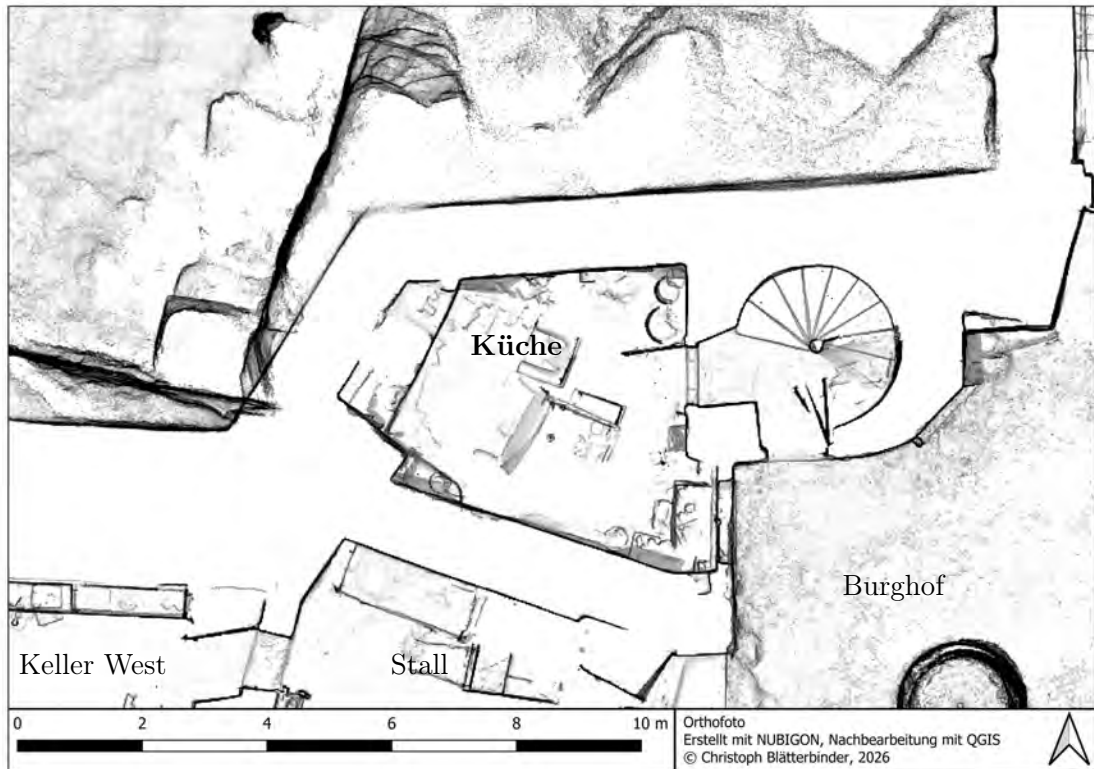


Abbildung A.12.: Plan der Küche, EG.

Der Boden ist mit roten Ziegeln ausgelegt. Der Küchenofen ist in die Wand eingelassen, ebenso gibt es eine separate Öffnung zur Feuerung. Das Mauerwerk ist aus groben Steinen und Ziegeln gefertigt und durch Abplatzungen an Verputz teilweise sichtbar.

Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr vorhanden. Die aktuelle Einrichtung umfasst einen Holztisch, zwei Couchsessel, diverses Geschirr, einen Kerzenständer, sowie eine Holzbank (siehe Abb. A.13). Am Scheitelpunkt des Kreuzgratgewölbes hängt ein Lampenschirm. Es ist von einer Datierung des Raums in das 13. Jh. auszugehen, wobei der Ofen an der Westseite renaissancezeitlich sein dürfte (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Das Gewölbe und die Wände weisen starke Rußverfärbungen auf. Der Putz ist an vielen Stellen abgeplatzt. Die Einrichtung des Ofens ist nicht mehr erhalten.

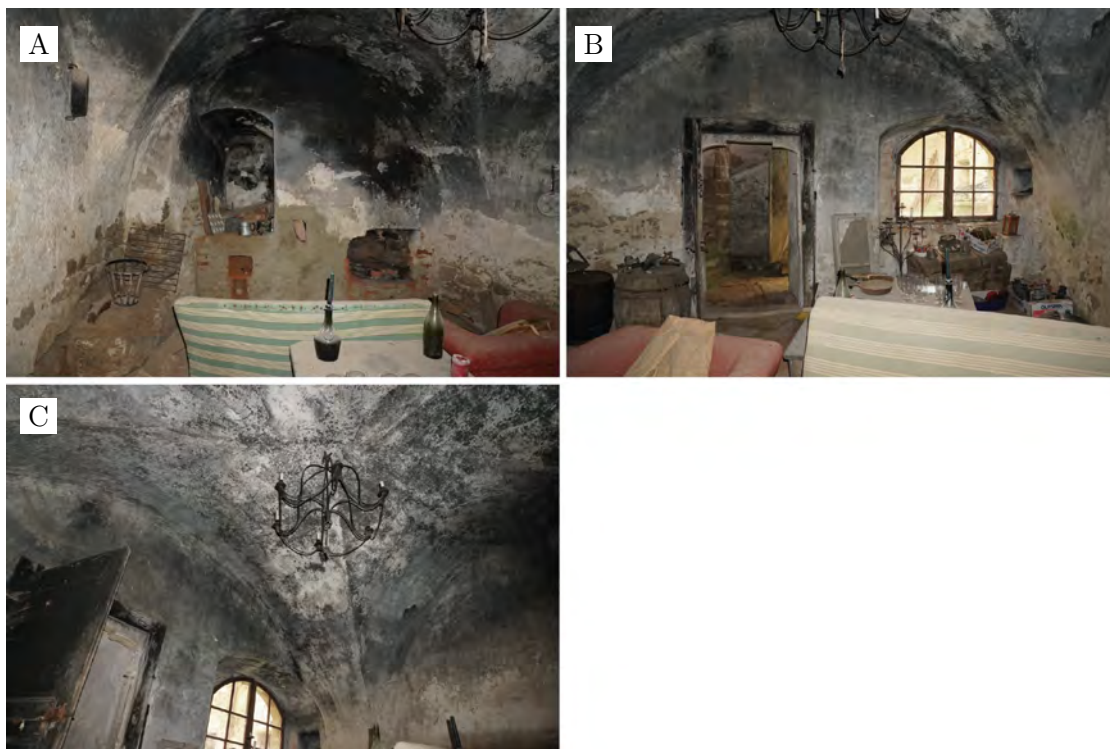
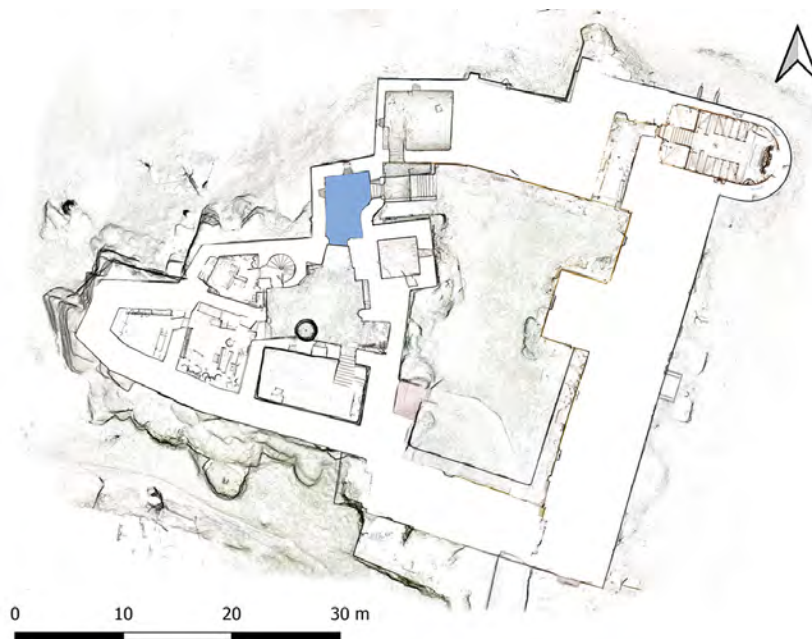


Abbildung A.13.: Ansichten der Küche: Westseite (A); Ostseite (B); Gewölbe (C).

A.8. Torbau



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	5,46 m
Breite	4,2 m
Höhe	3,51 m
Fläche	21,63 m ²
Besonderheiten	Gotischer Torbogen Scharte (ehemalige Zugbrücke) Ziegelboden bemaltes Kreuzgewölbe
Datierung	Spätmittelalter (13./14. Jh.): Gemäuer Renaissance (16. Jh.): Fresken am Gewölbe

Beschreibung

Über eine steinerne Stiege, welche auf einer Brückenkonstruktion ruht, erhält man Zutritt zum äußeren Burgtor und schließlich zum Torbau. Das äußere Burgtor ist in einen gotischen Spitzbogen eingefasst. Der Raum dient als Verbindung zwischen inneren Burghof und Schlosshof und ist an beiden Enden mit Holztüren ausgestattet. Er weist einen Ziegelboden mit quadratischen Ziegeln auf, sowie ein Kreuzgewölbe (Abb. A.15).

Der Raum besitzt einen sechseckigen Grundriss und schließt nördlich an die mittelalterliche

Kernburg an (siehe Abb. A.14) Das Gewölbe besitzt eine Bemalung aus stilisierten geometrischen Ornamenten in grüner Farbe, die den Verlauf der Gewölbekanten unterstreicht. Ein weiteres Holztor mit Eisenschloss und massivem Mechanismus zur Verriegelung gewährt zur Linken schließlich Zutritt zum innerem Burghof.

Oberhalb des gotischen steingefassten Torbogens an der Außenseite ist linksseitig eine Scharte zu sehen, die ehemals als Durchlass für die Kette einer ehemaligen Zugbrücke gedeutet werden kann. Das Torhaus datiert in die spätmittelalterliche Ausbauphase der Hauptburg (Klaar, 1979). Es ist anzunehmen, dass sich an Stelle der Steinernen Stiege ehemals ein Graben mit Zugbrücke befand. Die Fresken am Gewölbe datieren nochmals später, vermutlich in das 16. Jahrhundert².

Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr erhalten. Die aktuelle Einrichtung umfasst ein Holzregal mit gelagerten Dachziegeln.

Erhaltungszustand

Das äußere Burgtor ist nur teilweise beweglich, nicht mehr versperrbar und in einem schlechtem Zustand. Der Ziegelboden ist teils stark beschädigt und unregelmäßig eingetieft. Die Wände und das Gewölbe sind teils stark verfärbt. Das innere Burgtor ist funktionstüchtig aber ebenfalls beschädigt und stark verwittert. Der Ziegelboden zeigt starke Abnutzung auf und ist an der Oberfläche teils stark beschädigt. Die Innenwände zeigen starke Spuren von Feuchtigkeit in Form von dunklen Verfärbungen.

² Private Chronik der Burg Engelstein, verfasst von Peter Rath, Durchsicht am 25.11.2025.

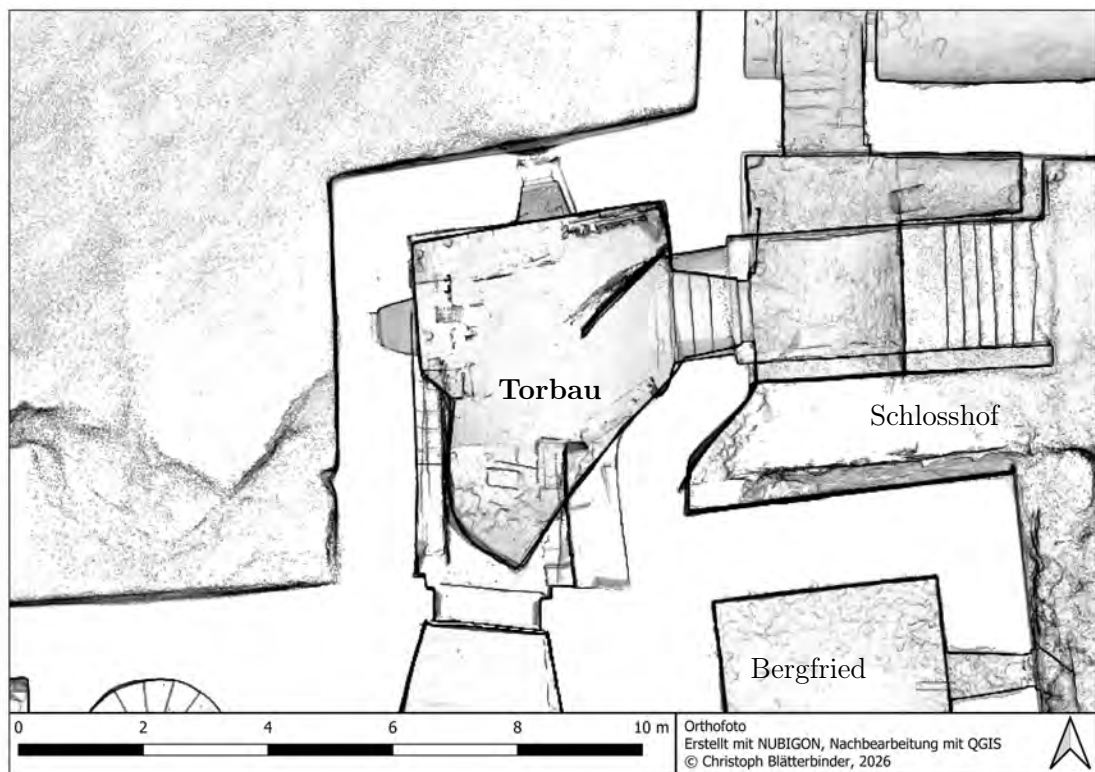


Abbildung A.14.: Plan des Torhauses, EG.

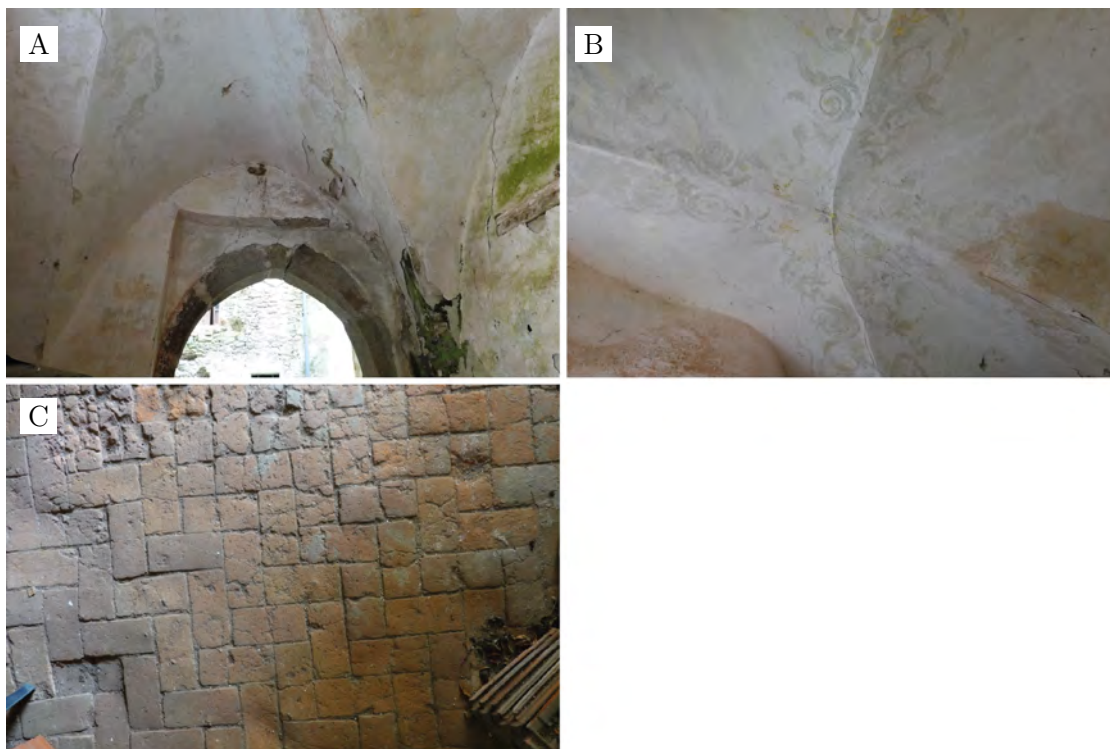
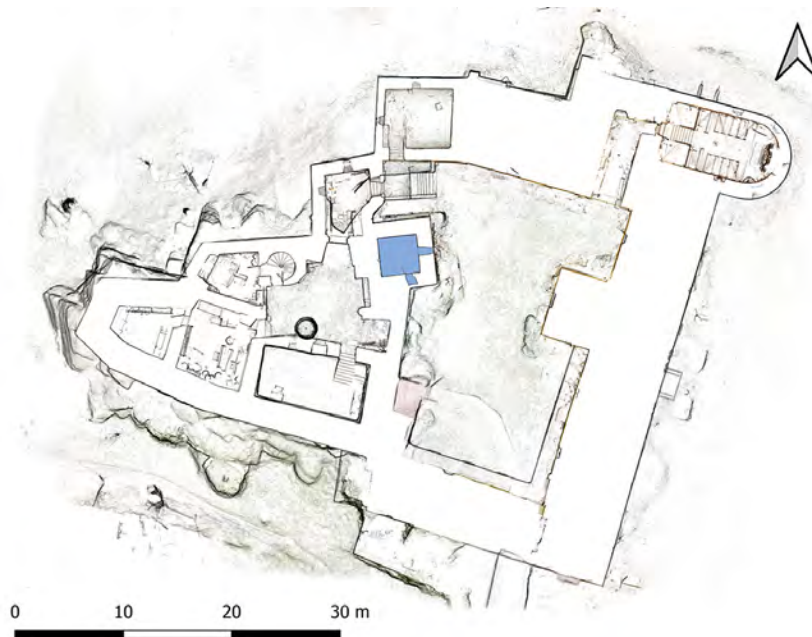


Abbildung A.15.: Ansichten des Torbaus, Erdgeschoss: Südseitiger Torbogen (A); bemaltes Kreuzgewölbe (B); Ziegelboden (C).

A.9. Bergfried, Erdgeschoss



Stockwerk	Erdgeschoss
Länge	3,53 m
Breite	3,49 m
Höhe	4,09 m
Fläche	12,44 m ²
Besonderheiten	ehemaliger Kamin mit Eisenluke südseitig verputztes Kreuzgewölbe unverputzte Bruchsteinmauer
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man nur über eine hüfthoch gelegene Eisentür im äußeren Burghof, welche von starkem Bewuchs verdeckt ist. Der Raum besitzt einen quadratischen Grundriss (Abb. A.16) und ein vollständig verputztes Kreuzgewölbe (Abb. A.17). Es ist keine Möblierung oder Beleuchtung vorhanden. An der Südwestseite des Raums ist ein Ofen mit eiserner Ofentür eingelassen. Der Ofen korrespondiert in seiner Position mit dem nicht mehr vorhandenen Schornstein an der äußeren Südostecke des Bergfrieds, welcher nur noch anhand des Verputzes sichtbar ist.

Es könnte sich aufgrund der Lage des Raumes (vor dem ehemaligen Burggraben) um

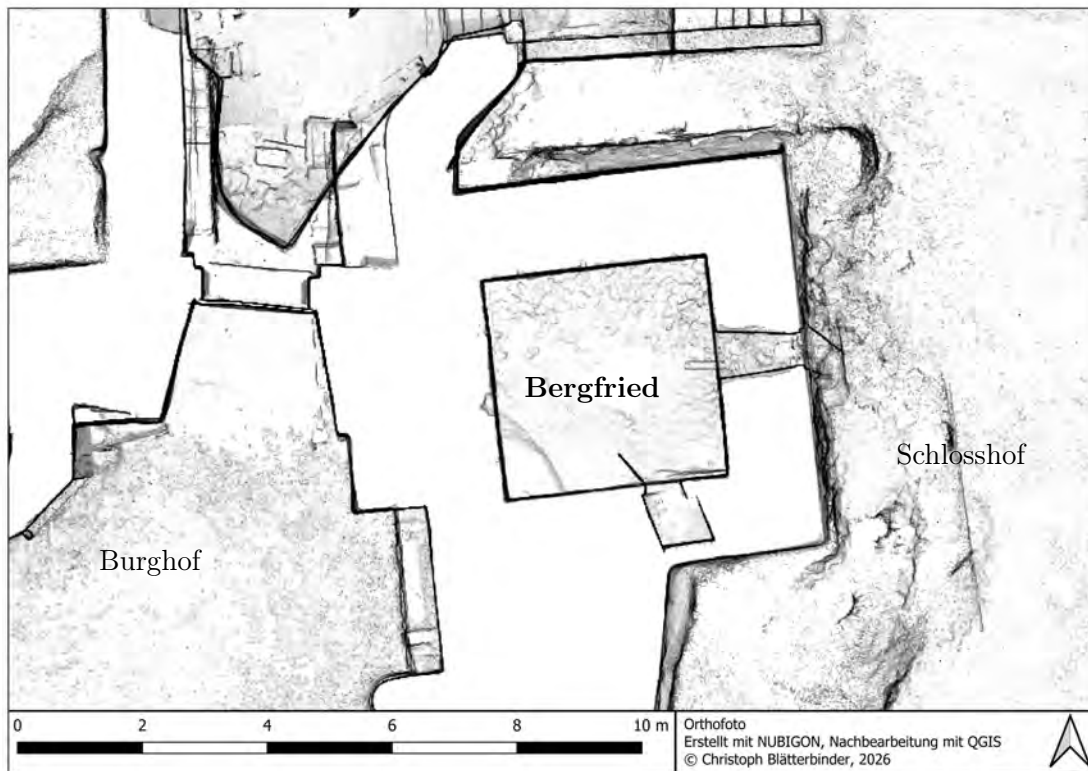


Abbildung A.16.: Plan des Bergfrieds, EG.

einen Kerker handeln. Das gesamte Mauerwerk ist unverputzt und liegt frei. Es handelt sich um einen Verband aus unregelmäßig großen Bruchsteinen. Der Raum datiert in das 13. Jh. (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Zustand des Raumes ist eher schlecht. Der Boden ist von zahlreichen Ziegelbruchstücken bedeckt. Die Wände sind teils stark schwarz verfärbt. Die Eingangstür und die Tür des Ofens sind stark korrodiert und lassen sich nicht mehr schließen. Der Eingang zum Raum ist stark von Bewuchs überdeckt.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.17.: Ansichten des Bergfrieds, Erdgeschoss (Kerker): Südseite mit eingelassenem Ofen und Eisenluke (A); Ostseite mit Eingang vom Schlosshof (B); verputztes Kreuzgewölbe (C).

A.10. Westraum, 1. Stock



Stockwerk	II
Länge	7,34 m
Breite	4,01 m
Höhe	3,20 m
Fläche	20,16 m ²
Besonderheiten	Gemälde Hl. Maria
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Außenmauern Renaissance (16. Jh.): Ostwand 20. Jh.: Eisentür

Beschreibung

Über einen Korridor von vom Südraum erhält man Zugang zum Westraum, welcher einen nahezu sechseckigen Grundriss und ein Kreuzgewölbe aufweist (Abb. A.18). Sowohl an der Nord, als auch Südwestseite befindet sich eine Bogennische mit Fenster. An der Westwand befindet sich ein Gemälde, das die heilige Mutter Maria mit Jesuskind abbildet. Die Tür des Raums ist aus Eisen gefertigt. Das gesamte Gewölbe und die Wände sind vollständig verputzt (Abb. A.19).

Es ist von einer Datierung des Raums in das Hochmittelalter (13. Jh.) auszugehen, während die etwas dünnere Ostwand (vgl. siehe Westraum 2. Stock) ein renaissancezeitlicher Umbau sein dürfte und frühestens in das 16. Jh. zu datieren ist (Klaar, 1979). Die Eisentür besteht aus rezenten, geschweißten Eisenkomponenten und dürfte in das frühe 20. Jahrhundert datieren.

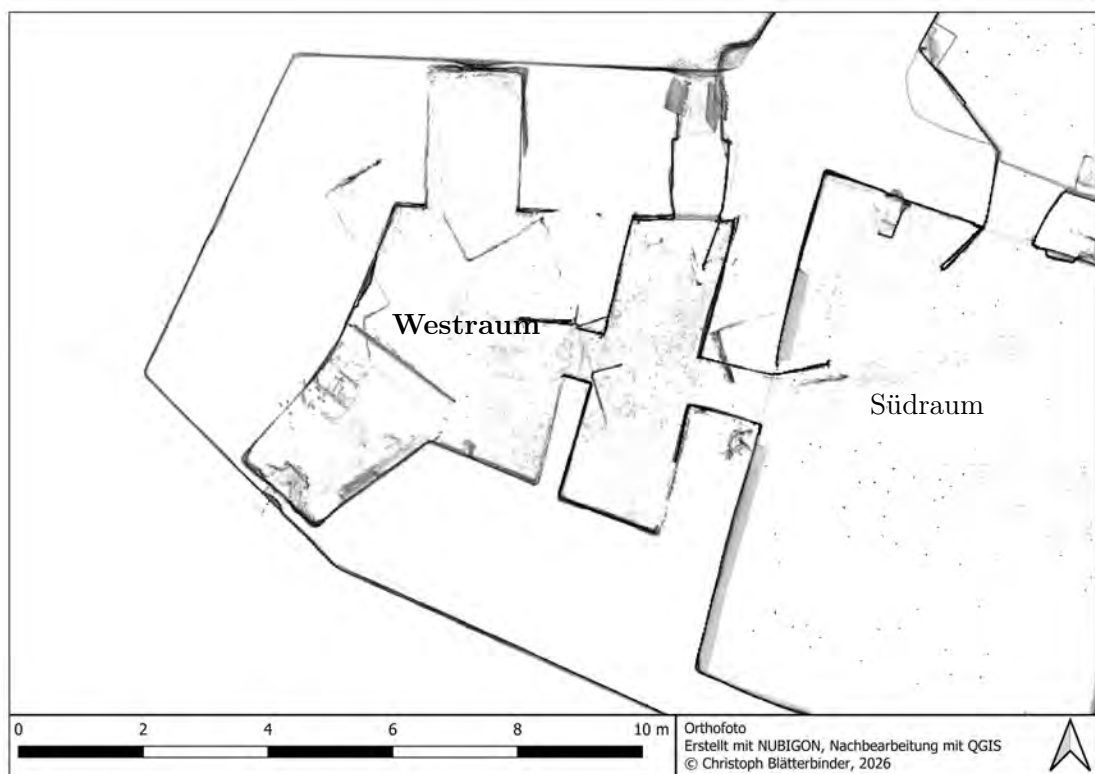


Abbildung A.18.: Plan des Westraums, 1. OG.

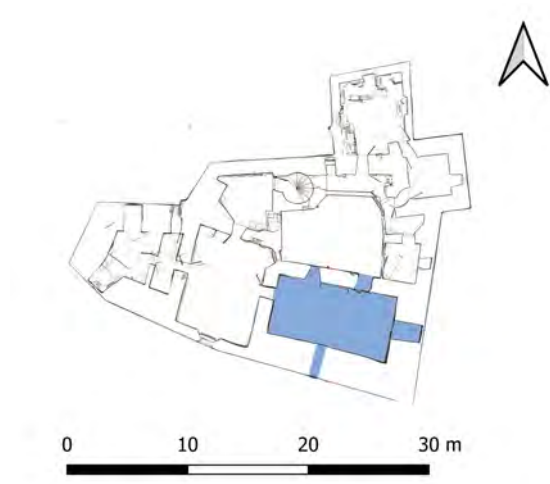


Abbildung A.19.: Ansichten des Westraums, 1. Obergeschoss: Nordseite mit Fenster und rezenter Eisentür (A); Südwestseite mit Südfenster und Mariengemälde (B); Gewölbe (C).

Erhaltungszustand

Der Raum ist intakt. Das Gemälde weist Schäden durch Feuchtigkeit auf und ist aufgewölbt.

A.11. Theatersaal



Stockwerk	I
Länge	9,90 m
Breite	5,46 m
Höhe	3,25 m
Fläche	51,86 m ²
Besonderheiten	Wandbemalungen umlaufend Tonnengewölbe mehrere ehemalige Zugänge: Schlosshof, Burghof, Südseite
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer 19. Jh.: Wandmalereien

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.2.

Erhaltungszustand

Die Wandmalereien sind an allen vier Seiten größtenteils erhalten. Die Bemalung in den Fensternischen hebt sich farblich von der restlichen Bemalung ab. Besonders zwischen den Fensternischen sind Abplatzungen an der Wandbemalung festzustellen. Die Tür zum ehemaligen Balkon an der Südseite ist stark beschädigt (Abb. A.20).



Abbildung A.20.: Ansichten des Theatersaals: Westseite (A); Ostseite (B); ehemaliger Durchgang Ostseite (C); ehemaliger Durchgang Südseite (D).

A.12. Bergfried, 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	3,41 m
Breite	3,40 m
Höhe	3,31 m
Fläche	12,67 m ²
Besonderheiten	blaue Wandbemalung Fenster ostseitig Zugang nord- und südseitig
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Es handelt sich um einen Raum mit quadratischen Grundriss, Holzboden und weiß verputzter Flachdecke mit zwei graugrünen hölzernen Türen und hölzernen Türrahmen. Der Raum besitzt zudem ein Fenster zum Schlosshof (ostseitig), welches in eine Nische mit Segmentbogen in die Wand eingelassen ist. Zugang zum Raum erhält man über den Torwart im 2. Stock über einen schmalen Korridor an dessen Südostseite, sowie über die Galerie (Abb. A.21).

Der Raum verfügt über eine polychrome Ausgestaltung (Abb. A.22). Die Deckenbemalung umfasst rote und orange horizontal umlaufende Streifen, flächiges weiß, sowie ein mittig rundes florales Ornament. Die ursprüngliche Einrichtung ist nicht mehr erhalten.

Die Tapete umfasst ein gelb-grünes florales Muster, am unteren Rand einen horizontal umlaufend braunen Streifen. Unter der floralen Tapete sind teilweise ältere Tapetenmuster

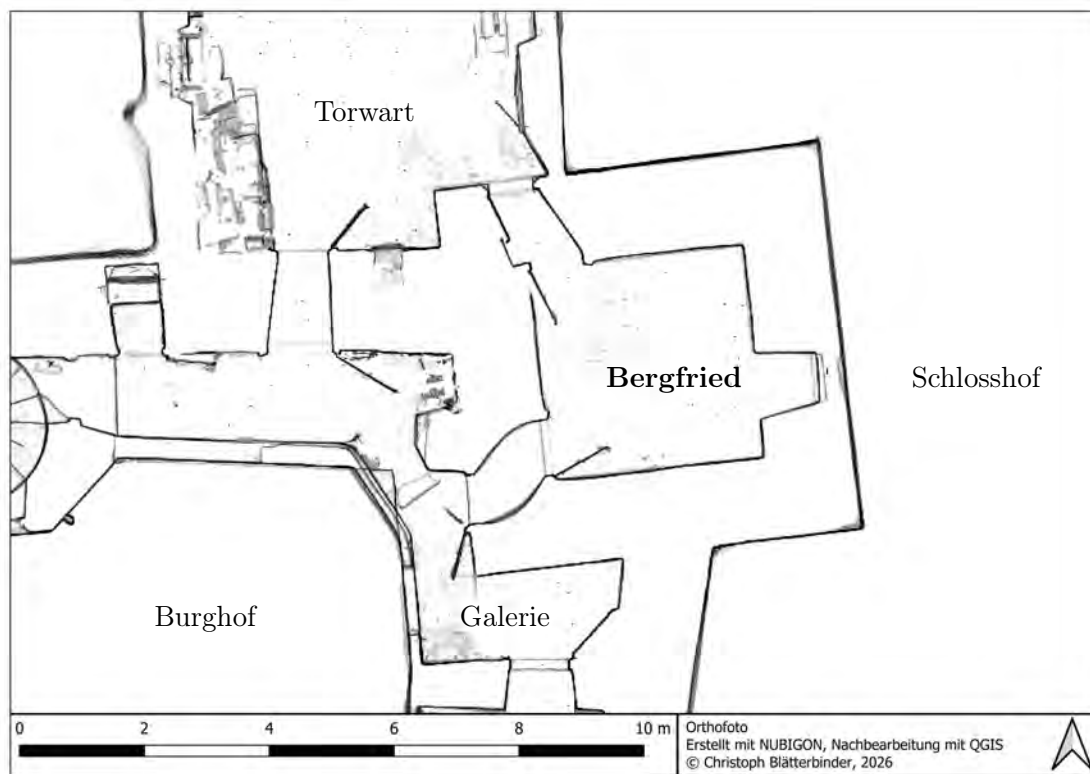


Abbildung A.21.: Plan des Bergfrieds, 1. Obergeschoss.

in Form kariierter Linien zu sehen. Die aktuelle Einrichtung umfasst zwei ausgestopfte Vögel an Wand. Der Korridor zwischen Torwart und Turm besitzt einen gelblich-orangen Anstrich und entspricht der farblichen Ausgestaltung des Turmraums.

Es ist von einer Datierung des Gemäuers in das Hochmittelalter (13. Jh.) auszugehen, während die Ausgestaltung wesentlich jünger (19. Jh.) zu datieren ist (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Zustand des Raums ist gut. Boden, Wände und Türen weisen starke Benutzungsspuren auf, sind aber vollständig vorhanden. Die Türen sind nicht mehr vollständig funktionsfähig. Der Raum besitzt keinerlei Einrichtung, steht aktuell leer und wird nicht genutzt.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.22.: Ansichten des ersten Turmgeschosses: Westseite (A); Flachdecke (B); Nordseite (C).

A.13. Südraum, 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	8,45 m bis 8,6 m
Breite	6,25 m bis 6,65 m
Höhe	3,04 m
Fläche	52,59 m ²
Besonderheiten	blaue Wandbemalung Luster Einbauschränk nordseitig
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer Ost- und Westseite Renaissance (16. Jh.): Ofen, Süd- und Nordseite

Beschreibung

Zugang zum Südraum erhält man über den Heizraum über der ehemaligen Küche. Der Raum verfügt zudem über einen Eingang in den Westraum 1. Stock und den Theatersaal, sowie ein Fenster in den inneren Burghof und ein Fenster in Südrichtung (siehe Abb. A.23). Außerdem besitzt er einen rechteckigen Grundriss, ein Tonnengewölbe und einen einfachen Holzboden (siehe Abb. A.24).

Der Platz des ehemaligen Kachelofens in der Nordwestecke des Raums ist noch eindeutig sichtbar. Die Wandmalereien sind in mindestens zwei Schichten feststellbar. An der Nordseite befindet sich ein hölzerner Einbauschränk mit rezenter Keramik.

Die Wände und der untere Abschnitt des Gewölbes sind polychrom ausgestaltet. Die umlaufend weiß-blaue Wandbemalung mit floralem geometrischem Dekor ist weitgehend

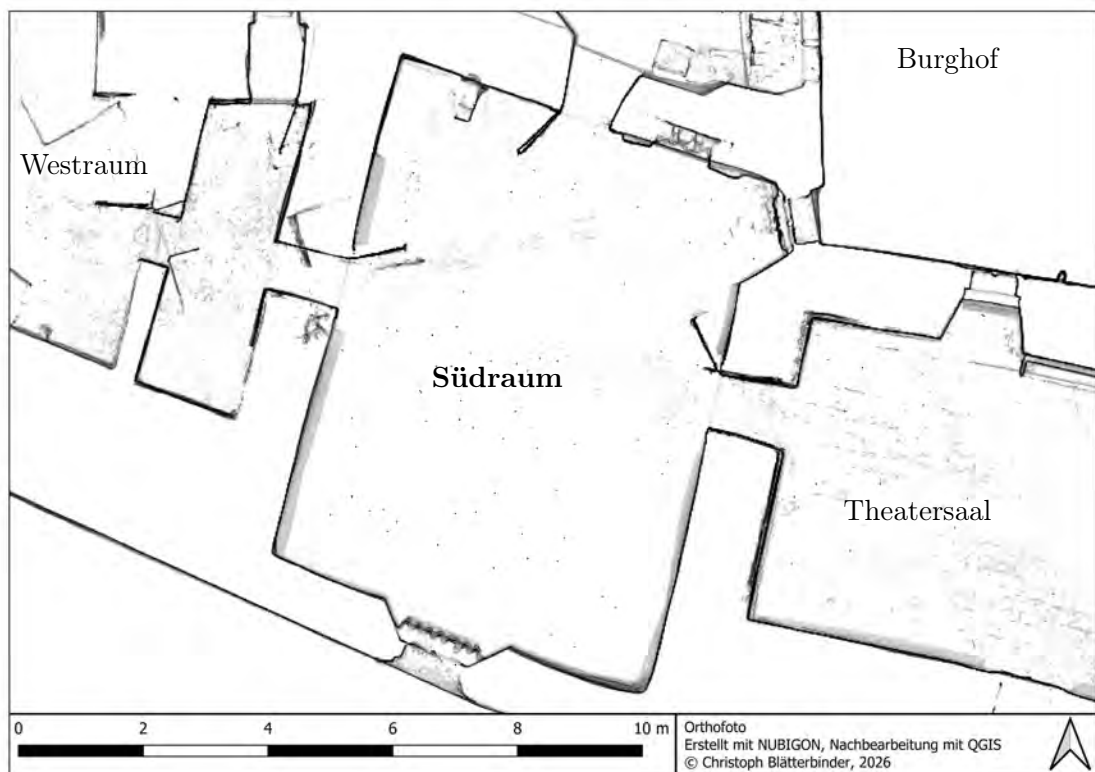


Abbildung A.23.: Plan des Südraums, 1. OG.

erhalten aber an der Nordseite teils abgeplatzt. Darunter ist eine vormalige, weiß-gelbe Bemalung mit ebenfalls floralen Mustern erkennbar.

Der Raum datiert zum Großteil in das Hochmittelalter (13. Jh.), wobei die Süd- und Nordwand, sowie der Ofen in der Nordwestecke in die Renaissance (16. Jh.) datieren (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Raum ist intakt. Der Kachelofen an der Nordseite ist nicht mehr vorhanden, die Wandmalereien sind jedoch großflächig sichtbar und intakt. Die Türen sind vorhanden und verschließbar.



Abbildung A.24.: Ansichten des Südraums, 1. Stock: Südseite (A); Nordseite mit hölzernem Einbauschrank (B); Position des ehemaligen Kachelofens in der Nordwest-Ecke (C).

A.14. Ostraum, 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	3,34 m
Breite	2,73 m bis 2,93 m
Höhe	3,17 m
Fläche	9,59 m
Besonderheiten	Tür zum inneren Burghof (ungenutzt) zugemauerter Durchgang ostseitig Ziegelboden
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Mauer Ost-, Südseite Barock (18. Jh.): Mauer hofseitig

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man über die Galerie im 1. Stock und den Turm 1. Stock (siehe Abb. A.25). Es handelt sich um einen Raum mit nahezu rechteckigem Grundriss, Ziegelboden und Tonnengewölbe (siehe Abb. A.26). Sowohl Wand als auch Gewölbe sind weiß verputzt. Eine hölzerne Tür führt zur Galerie im 1. Stock. Der Raum besitzt einen inzwischen zugemauerten Durchgang an der Ostseite, an der das kleinteilige Ziegelmauerwerk frei ist. Es handelt sich hierbei um einen ehemaligen Ausgang zum Schlosshof an der Ostseite, der mit dem ehemaligen Wehrgang in Verbindung stehen könnte. An der rechten Seite dieses Zugangs sind zudem zwei Auslassungen sichtbar, die die ehemalige Position der Scharniere einer ehemals vorhandenen massiven Tür zeigen. Der Raum ist nicht möbliert.

Es ist eine Datierung des Raums in das Hochmittelalter (13. Jh.) anzunehmen, wobei

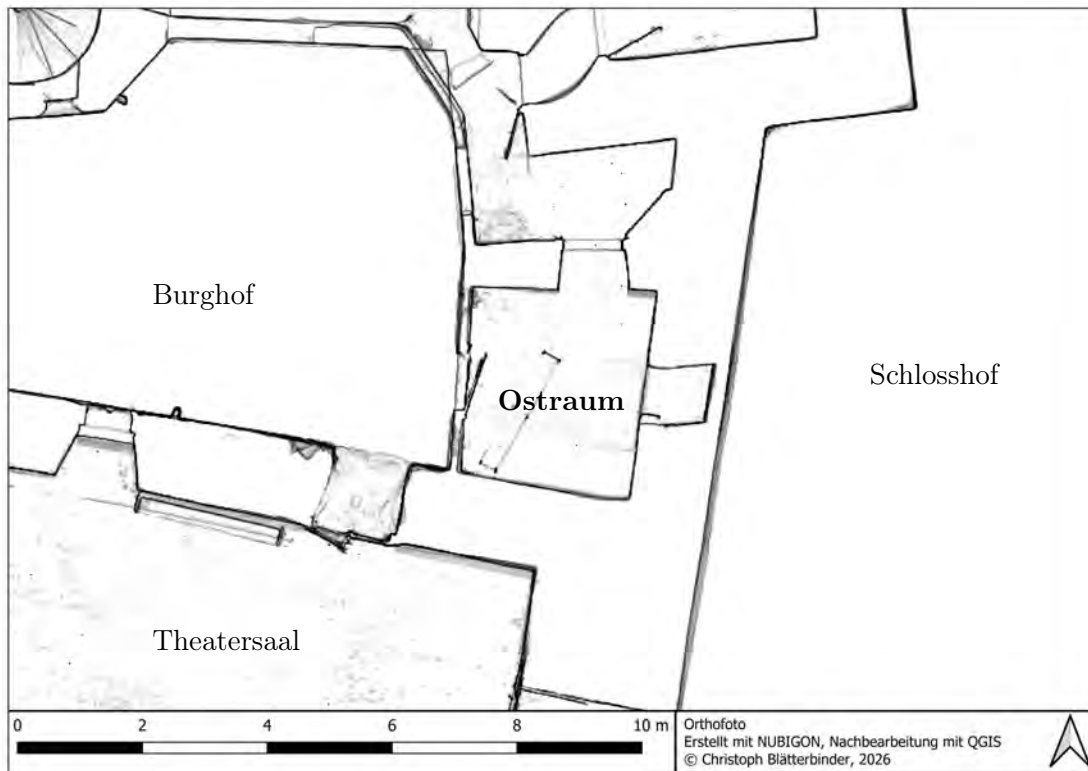


Abbildung A.25.: Plan des Ostraums (Galerie), 1. OG.

die Nordwand, welche den Raum von der Galerie trennt, ein barockzeitlicher (18. Jh.) Umbau ist (Klaar, 1979). Somit wurde der Raum erst durch eine räumliche Trennung zur Galerie an der Südostseite geschaffen.

Erhaltungszustand

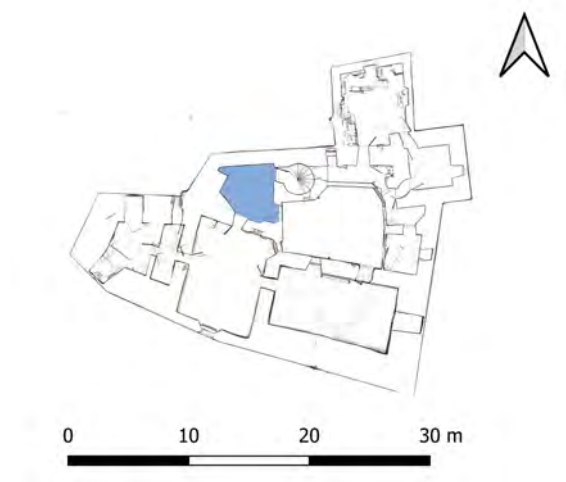
Der Raum ist intakt. Der Verputz ist teils abgeplatzt und verfärbt, Die hofseitige Tür lässt sich nicht verschließen, der Verbindungstrakt in den Theatersaal ist nicht mehr erhalten. Der Ziegelboden weist starke Abnutzungsspuren auf.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.26.: Ansichten des Ostraums, 1. Obergeschoss: Ostseite mit zugemauertem Durchgang zum Schlosshof (A); Westseite mit Eingang zur Galerie (B); verputztes Tonnengewölbe (C).

A.15. Heizraum, 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	4,90 m
Breite	4,51 m
Höhe	2,96 m
Fläche	18,17 m ²
Besonderheiten	blau-weiße Wandbemalung renaissancezeitlicher Hinterladerofen Kreuzgewölbe (bemalt)
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer Renaissance (16. Jh.): Ofen

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.3.

Erhaltungszustand

Der Raum ist intakt. Die Bemalung und der Holzboden sind vollständig erhalten und in weitgehend gutem Zustand. Lediglich kleine Abschnitte der Wandfarbe sind ausgeblichen. Der Raum dient gelegentlich als Ausstellungsraum (siehe Abb. A.27).

A. Raumbeschreibungen

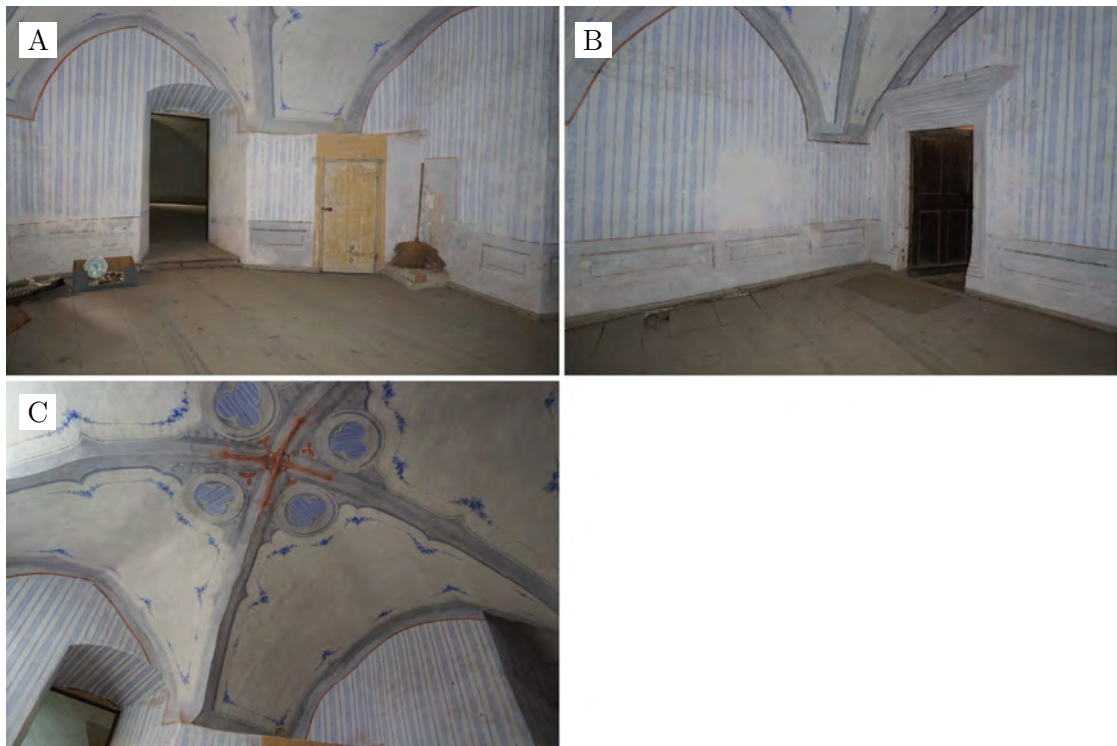
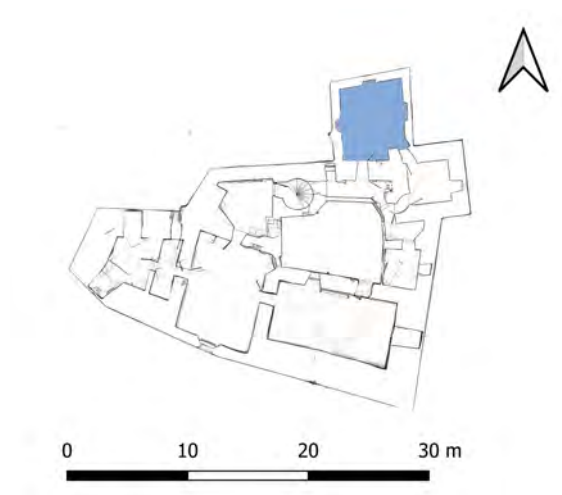


Abbildung A.27.: Ansichten des Heizraums: Südseite (A); Nordseite (B); Gewölbe (C).

A.16. Torwart, 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	5,70 m bis 5,96 m
Breite	5,18 m
Höhe	2,84 m
Fläche	21,76 m ²
Besonderheiten	Wandbemalung (polychrom) Einbauschränke
Datierung	Spätmittelalter (13./14. Jh.): Gemäuer Neuzeit (19. Jh.): Wandgestaltung

Beschreibung

Es handelt sich um einen Raum mit annähernd rechteckigem Grundriss. Zugang erhält man über die Galerie im 2. Stock (siehe Abb. A.28). An der Südostseite gelangt man über eine hölzerne Tür in den Bergfried. Die Tür zum Bergfried besitzt eine massive, behauene Steinfassung. An zwei Wänden sind Einbauschränke eingelassen. Zudem verfügt der Raum ostseitig über einen Kamin, ein Fenster ostseitig und ein Fenster nordseitig. Beide Fenster sind in Form von Nischen mit Segmentbögen in die massive Wand eingetieft.

Der Raum verfügt über eine polychrome Ausgestaltung an den Wänden und der Decke (siehe Abb. A.29). Die Fensterrahmen sind aus weiß bestrichenem Holz gefertigt und besitzen intaktes Fensterglas. Der Raum besitzt eine Holzboden und Flachdecke und polychrome Wandbemalung mit horizontaler Zoneneinteilung. Die ursprüngliche Einrichtung ist nicht mehr erhalten. Die aktuelle Einrichtung umfasst einen Einbauschränk aus Holz in braun, zwei Schaukelpferde und Dachziegel.

A. Raumbeschreibungen

In den Wänden sind zudem mehrere Eisenhaken angebracht, deren Funktion nicht eindeutig erkennbar ist. Die Wandbemalung besteht oben aus einem horizontal umlaufend grünen floralen Band und einem karierten orangen Muster. Auch eine ältere Bemalung in rot und weiß ist darunter sichtbar.

Die Decke ist verputzt und schlicht ausgestaltet. Die Deckenbemalung umfasst einen rot umlaufenden Streifen und flächiges In der Raummitte hängt ein dekorativer Leuchter (rezent).

Für die Datierung des Raums ist das Spätmittelalter anzunehmen, da hier der Anbau des gesamten Torhauses erfolgte (Klaar, 1979). Die Ausgestaltung ist weit jünger anzunehmen, möglicherweise in das späte 19. Jh..

Erhaltungszustand

Der Raum ist intakt. Die Bemalung an Decke und Wand ist teilweise erhalten, der Putz an der Decke ist an der Nordostecke abgefallen und gibt die hölzerne Zwischendecke frei. Der Raum ist inzwischen als Lagerraum genutzt. Der Raum dient gegenwärtig als Abstellfläche. Verschiedene Möbelteile, Bauholz, Leitern sowie mehrere hölzerne Schaukelpferde sind im Raum untergebracht.

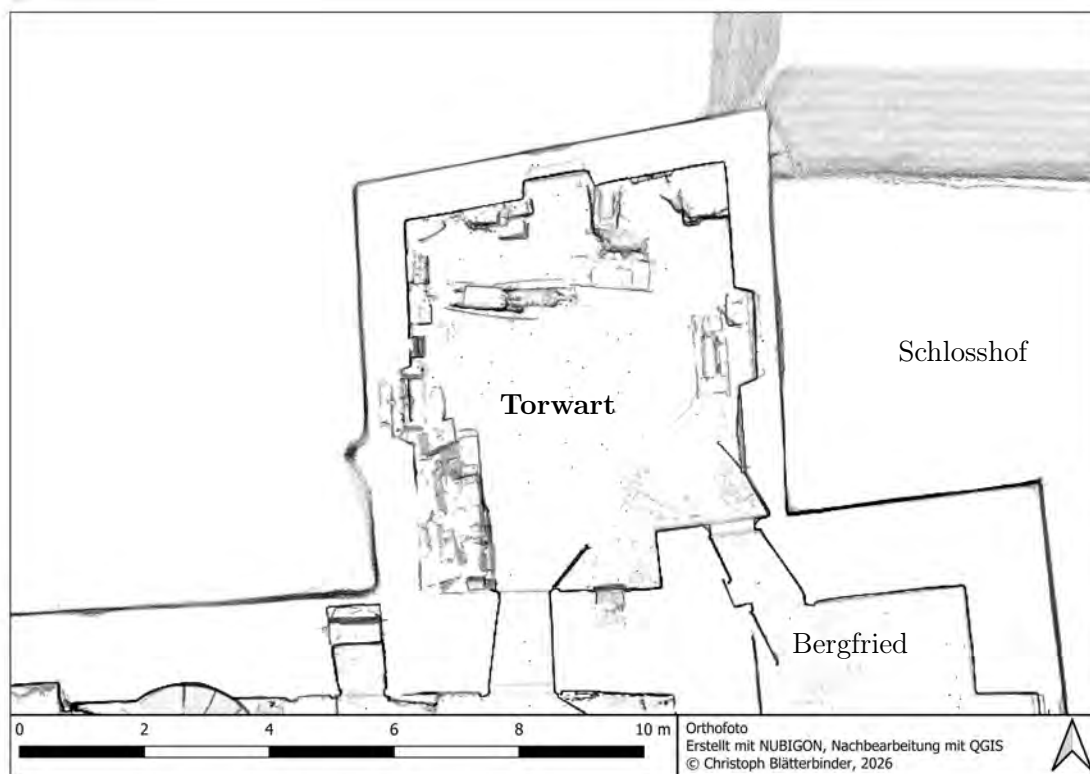


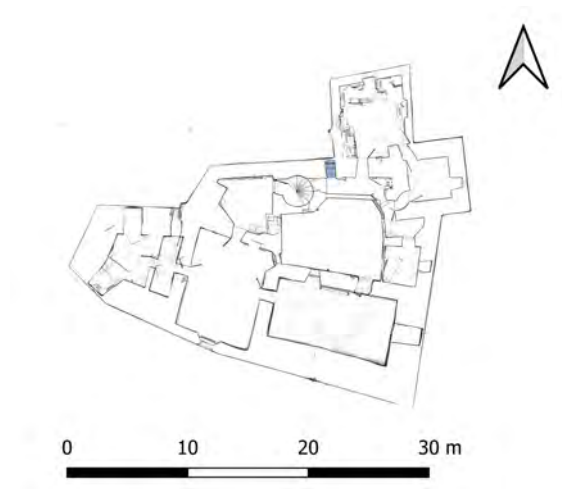
Abbildung A.28.: Plan des Torhauses, 1. OG.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.29.: Ansichten des Torwarts: Nordseite mit Fenster und rezenter Einrichtung (A); Südseite mit Eingängen zur Galerie und Bergfried (B); hölzerne Flachdecke mit abgeplatzttem Verputz (C).

A.17. Abort 1. Stock



Stockwerk	I
Länge	1,36 m
Breite	0,85 m
Höhe	2,05 m
Fläche	1,07 m ²
Besonderheiten	Wandverkleidung Spülkasten
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer 20. Jh.: Verkleidung

Beschreibung

Zutritt zum Abort im 1. OG erhält man über direkt das Stiegenhaus (A.30). Eine Holzverkleidung verkleidet einen Spülkasten für die Toilette (siehe Abb. A.31). Neben dem Toilettensitz ist ein Metalldeckel mit Behälter angebracht. Die Seitenwände sind ebenfalls mit Holz ausgekleidet. Der Raum verfügt über eine Holztür mit hölzernem Türrahmen. Die Wände und Flachdecke sind weiß verputzt. An der Nordseite im Fensterbereich ist das Ziegelmauerwerk sichtbar. Westseitig ist eine rechteckige Nische in die Wand eingelassen.

Erhaltungszustand

Die Holzverkleidung des Aborts ist stark beschädigt und nur teilweise erhalten, der Spülkasten ist nicht mehr funktionsfähig. Besonders die Wand an der Nordseite ist beschädigt, die Decke weist starke grünliche Verfärbungen auf.

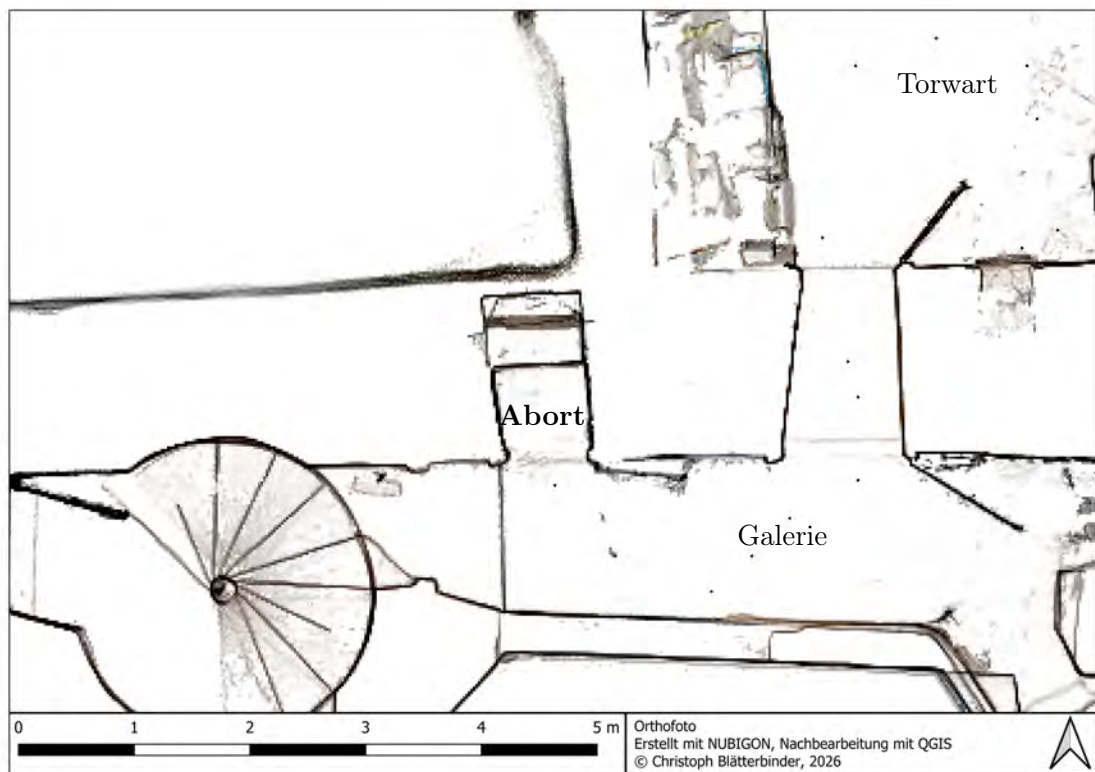


Abbildung A.30.: Plan des Aborts, 1. Obergeschoss.



Abbildung A.31.: Ansichten des Aborts, 1. Stock.

A.18. Rittersaal



Stockwerk	II
Länge	9,99 m bis 12,54 m
Breite	6,27 m bis 7,14 m
Höhe	4,30 m
Fläche	78,64 m ²
Besonderheiten	Wandmalereien (polychrom) Erker ostseitig Lage der ehemaligen Holzvertäfelung (jetzt in Enzesfeld) Zugang zur Kemenate
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer Renaissance (16. Jh.): Vertäfelung und Erker

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.6.

Erhaltungszustand

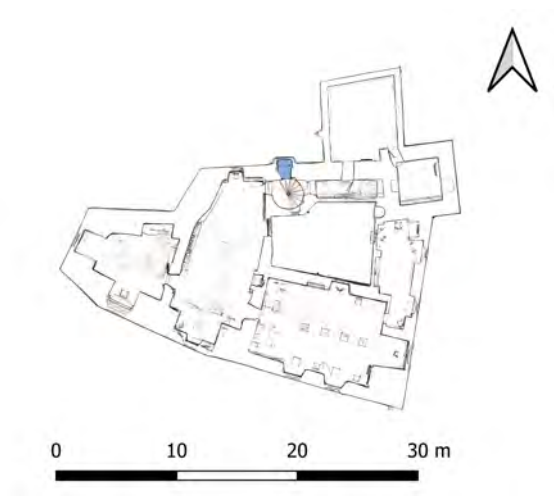
Der Raum ist intakt, zeigt jedoch umlaufende Bereiche, die unterschiedlich gut erhalten sind (siehe Abb. A.32). Ein horizontal umlaufender Abschnitt des Mauerwerks liegt frei und ist eingetieft, wodurch das Mauerwerk aus Ziegeln und Stein sichtbar ist. Die Kassettendecke und Wandverkleidung war ehemals in dieser Zone verankert. An der floralen gelb-blauen Wandbemalung sind partielle Schäden festzustellen, jedoch ist sie weitgehend erhalten. Die hölzerne Zwischendecke liegt frei, da die darunter fixierte



Abbildung A.32.: Ansichten des Rittersaals: Westseite (A); Ostseite mit Erker (B); Westseite mit Negativ des ehemaligen Portals (C).

Kassettendecke entfernt wurde. umlaufend ist am obersten Mauerabschnitt ein horizontaler Spalt erkennbar, welcher das darunter liegende Mauerwerk freigibt und die Verankerungen der Kassettendecke zeigt. An den ehemaligen Positionen der hölzernen Türportale sind entsprechende Negative an der Wandbemalung festzustellen.

A.19. Abort, 2. Stock



Stockwerk	II
Länge	1,47 m
Breite	1,15 m
Höhe	1,99 m
Fläche	1,47 m ²
Besonderheiten	Bogennische Mauerwerk sichtbar
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Es handelt sich um einen kleinen Raum mit funeckigem Grundriss (siehe Abb. A.33) mit Zugang über eine Holztür in der Galerie 2. Stock, mit einem nordseitig ausgerichteten Fenster und einer Holzbank mit kreisförmigen Öffnung in Sitzhöhe zum Verrichten der Notdurft (siehe Abb. A.34). Der Abort ist in den Plänen von A. Klaar nicht eingezeichnet (Klaar, 1979), sondern nur im hier vorgestellten 3D-Modell und daraus generierten Lageplan sichtbar.

Eine Bogennische ist westseitig in die Wand eingetieft. An den beiden Breitseiten findet sich weißer Wandverputz, nordseitig ist das Mauerwerk aus groben Rundsteinen vollständig sichtbar. Das umgebende Mauerwerk datiert sowohl in das Hochmittelalter (13. Jh.), als auch in die Renaissance (16. Jh.), weshalb nur eine grobe Datierung in diese Zeitspanne angenommen werden kann (Klaar, 1979).

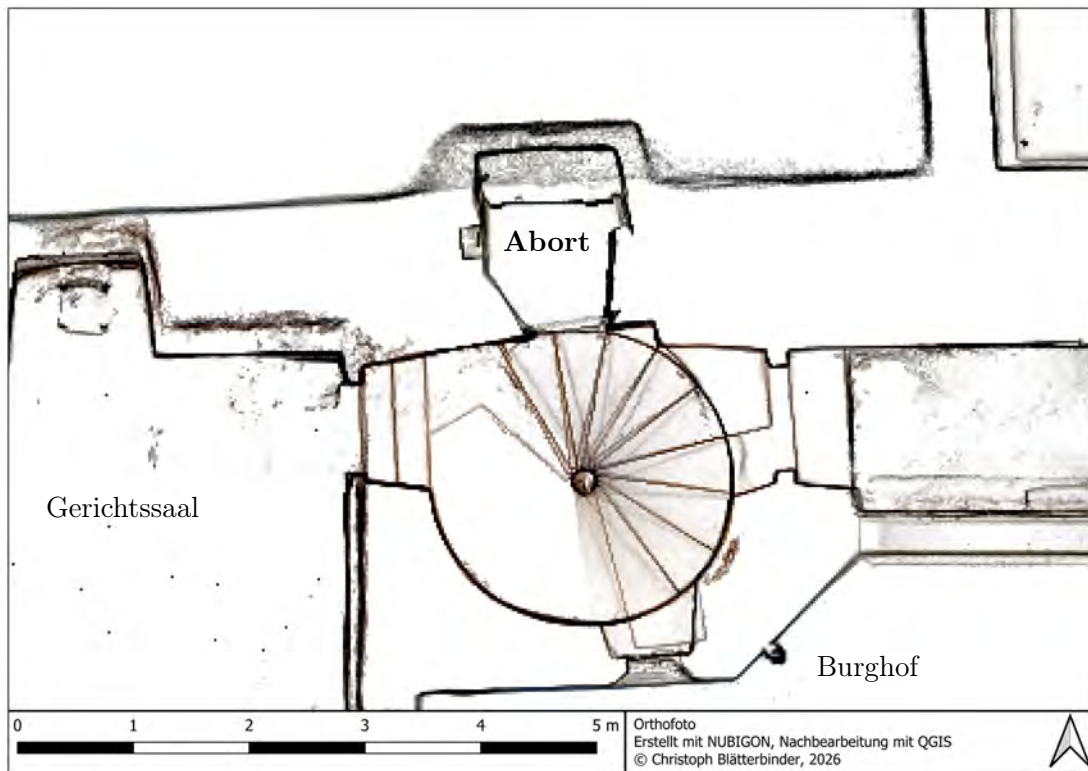


Abbildung A.33.: Plan des Aborts, 2. Obergeschoss.

Erhaltungszustand

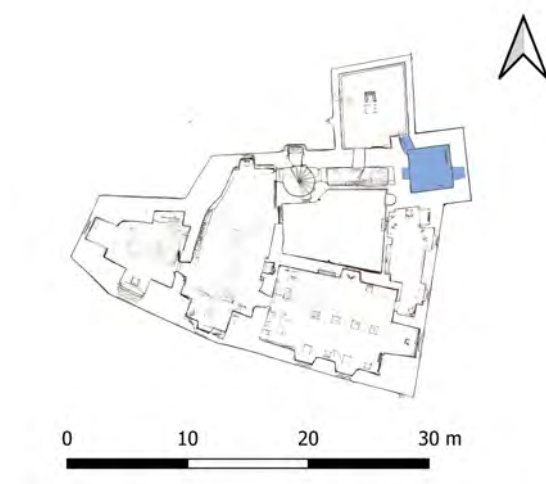
Die Sitzbank und Holzverkleidung sind intakt. Der Verputz an der Nordwand fehlt fast vollständig. Die nordseitige Mauer ist von starkem Moosbewuchs betroffen.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.34.: Ansichten des Aborts, 2. OG: Nordseite (A); Westseite mit Nische (B); Südseite mit Stiegenhaus (C).

A.20. Bergfried, 2. Stock



Stockwerk	I
Länge	3,60 m
Breite	3,61 m
Höhe	3,12 m
Fläche	12,39 m ²
Besonderheiten	Fenster ostseitig zugemauerter Durchgang westseitig blaue Wandbemalung Flachdecke
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Außenmauern Renaissance (16. Jh.): Nische Westseite

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man über eine südostseitige Tür im Torwart im 2. Obergeschoss (siehe Abb. A.35). Der Raum besitzt einen quadratischen Grundriss und verputzte Flachdecke und Holzboden (siehe Abb. A.36). Die hölzerne Eingangstür sitzt in einem weißen hölzernen Türrahmen mit Zierleiste am oberen Rand und springt schräg aus der Nordwestecke des Raums hervor.

Die Wände sind blau gestrichen. Zusätzlich verläuft oben und unten jeweils ein horizontaler roter Streifen. Die Flachdecke ist durchgehend weiß gestrichen. Der Raum besitzt an der Westseite eine weiß ausgemalte Nische. Hierbei dürfte es sich um einen ehemaligen Durchgang zum Burghof handeln, da dieser im Grundriss exakt mit der Nordostecke der

A. Raumbeschreibungen

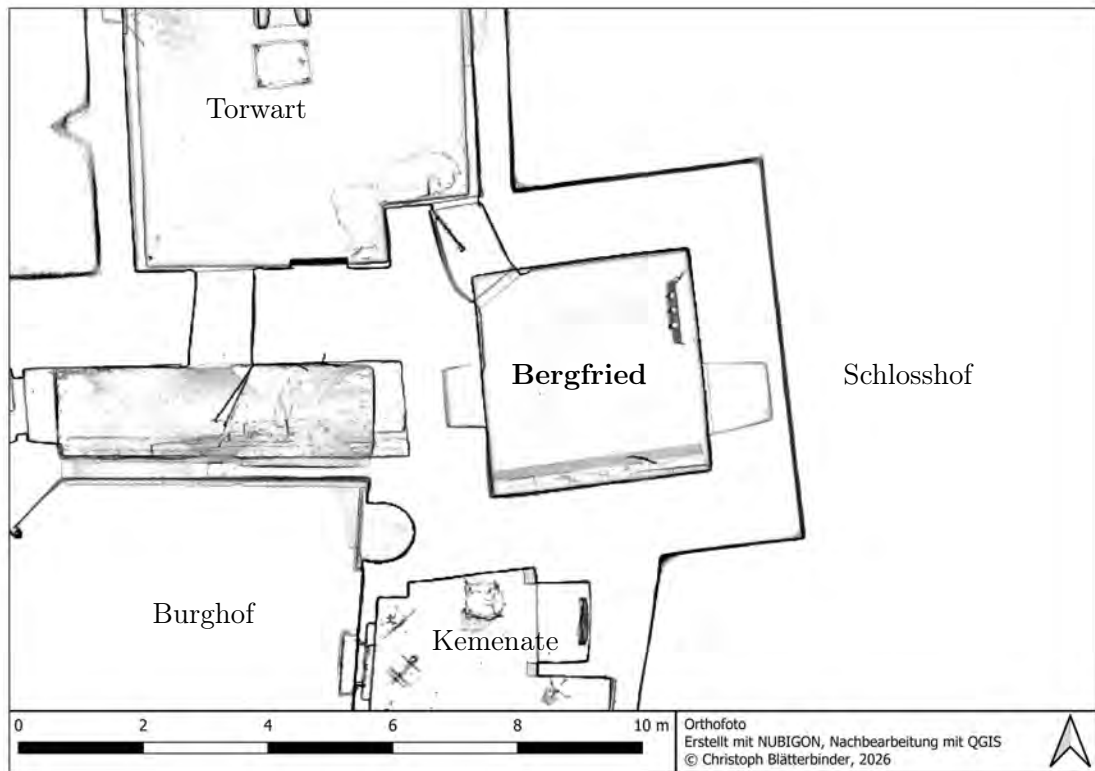


Abbildung A.35.: Plan des Bergfrieds, 2. OG.

Galerie übereinstimmt. Anders als im ersten und dritten Obergeschoss des Bergfrieds gibt es hier keinen Durchgang zur Südseite.

Es ist von einer Datierung des Raums in das Hochmittelalter (13. Jh.) auszugehen, wobei der Eingang an der Westseite in der Renaissance zugemauert worden sein dürfte (Klaar, 1979).

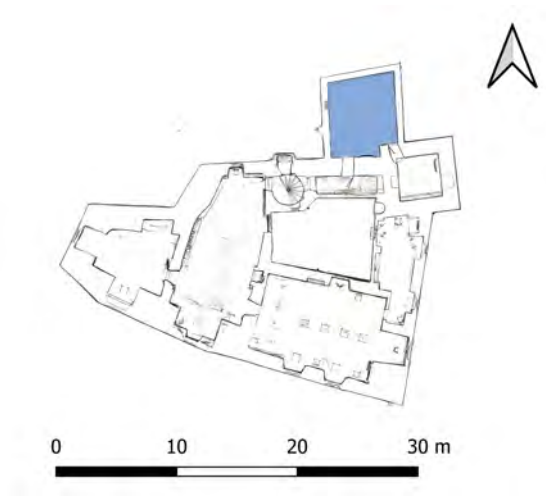
Erhaltungszustand

Der Raum ist intakt. Die Wandbemalung ist größtenteils erhalten. Zahlreiche Verfärbungen und oberflächliche Schäden sind an den Wänden zu beobachten. Die Tür ist erhalten und funktionstüchtig. Vereinzelt sind kleinere Schäden am Putz festzustellen.



Abbildung A.36.: Ansichten des zweiten Turmgeschosses: Ostseite (A), Westseite (B), Flachdecke (C).

A.21. Torwart, 2. Stock



Stockwerk	II
Länge	6,30 m
Breite	5,65 m
Höhe	3,73 m
Fläche	34,58 m ²
Besonderheiten	Polychrome Wand- und Deckenbemalung Einbauschränke Kamin südseitig
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Zugang zum Torwart im 2. Obergeschoss erhält man über die Galerie und den Bergfried (siehe Abb. A.37). Es handelt sich um einen Raum mit rechteckigem Grundriss, Holzboden und hölzerner Flachdecke (siehe Abb. A.38). Der Raum besitzt zwei Türen mit weißem Türrahmen, ein Fenster in den inneren Burghof, sowie ein Fenster nord- und ein Fenster westseitig. Zugang zum Raum erhält man über den Turm und die Galerie im 1. Stock.

Der Raum verfügt über eine mehrfarbige Wandbemalung. Diese ist zum Großteil erhalten. Oben sind horizontal umlaufend Bänder mit graublauem Rankenmuster zu finden, in der Mitte ein flächiges Stempelmuster (eine Verwendung von Schablonen ist naheliegend) mit oranger Blume auf gelbem Hintergrund. Die ursprüngliche Möblierung ist nicht mehr erhalten. Die aktuelle Einrichtung umfasst einen Couchsessel in blau, einen weißen Holztisch, sowie einen Einbauschränk aus Holz in weiß.

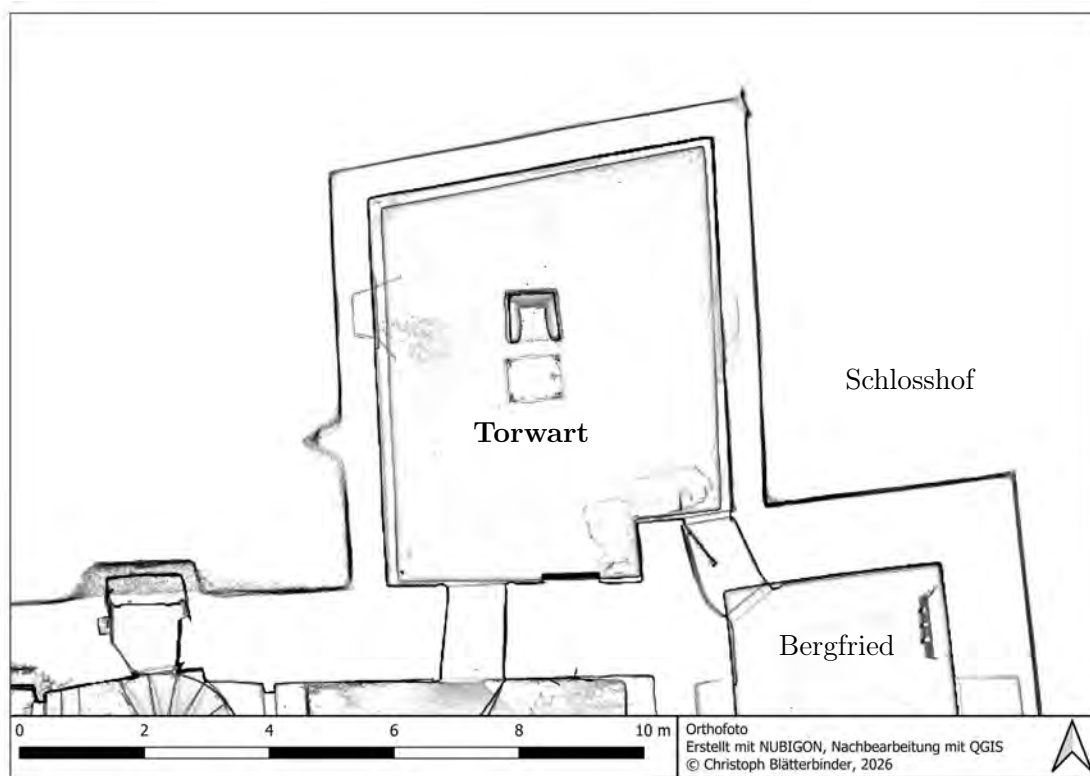


Abbildung A.37.: Plan des Torwarts, 2. OG.

Es ist von einer Datierung des Raums in das zweite Drittel des 16. Jh. auszugehen, wobei die Wandgestaltung deutlich jünger datieren dürfte (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Putz teils abgeplatzt, die Bemalung nicht komplett erhalten. Die Wände weisen grüne Verfärbungen auf.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.38.: Ansichten des Torwarts, 2. OG: Südostseite (A); Südwestseite (B); Flachdecke (C).

A.22. Galerie, 2. Stock (Kemenate)



Stockwerk	II
Länge	7,61 m
Breite	1,90 m
Höhe	3,07 m
Fläche	35,8 m ²
Besonderheiten	Rote und weiße Wandbemalung hölzerne Innenausstattung polychromer Fliesenboden Kamin ostseitig mit Werksteinfassung
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.5

Erhaltungszustand

Zustand des Raums ist gut, Wandbemalung und Boden sind vollständig erhalten und intakt (siehe Abb. A.39). Die Wandbemalung weist Abnutzungsspuren auf, ist jedoch großflächig erhalten und lesbar. Die rautenförmigen Bodenfliesen weisen Abriebsspuren und gelegentlich Farbverlust und Abplatzungen der Glasur auf. Die Eingangstür zum Raum ist nicht mehr vorhanden. Die umlaufende, hölzerne Profilleiste auf Höhe des Türbalkens ist an der Nordseite des Raums nicht mehr erhalten.

A. Raumbeschreibungen

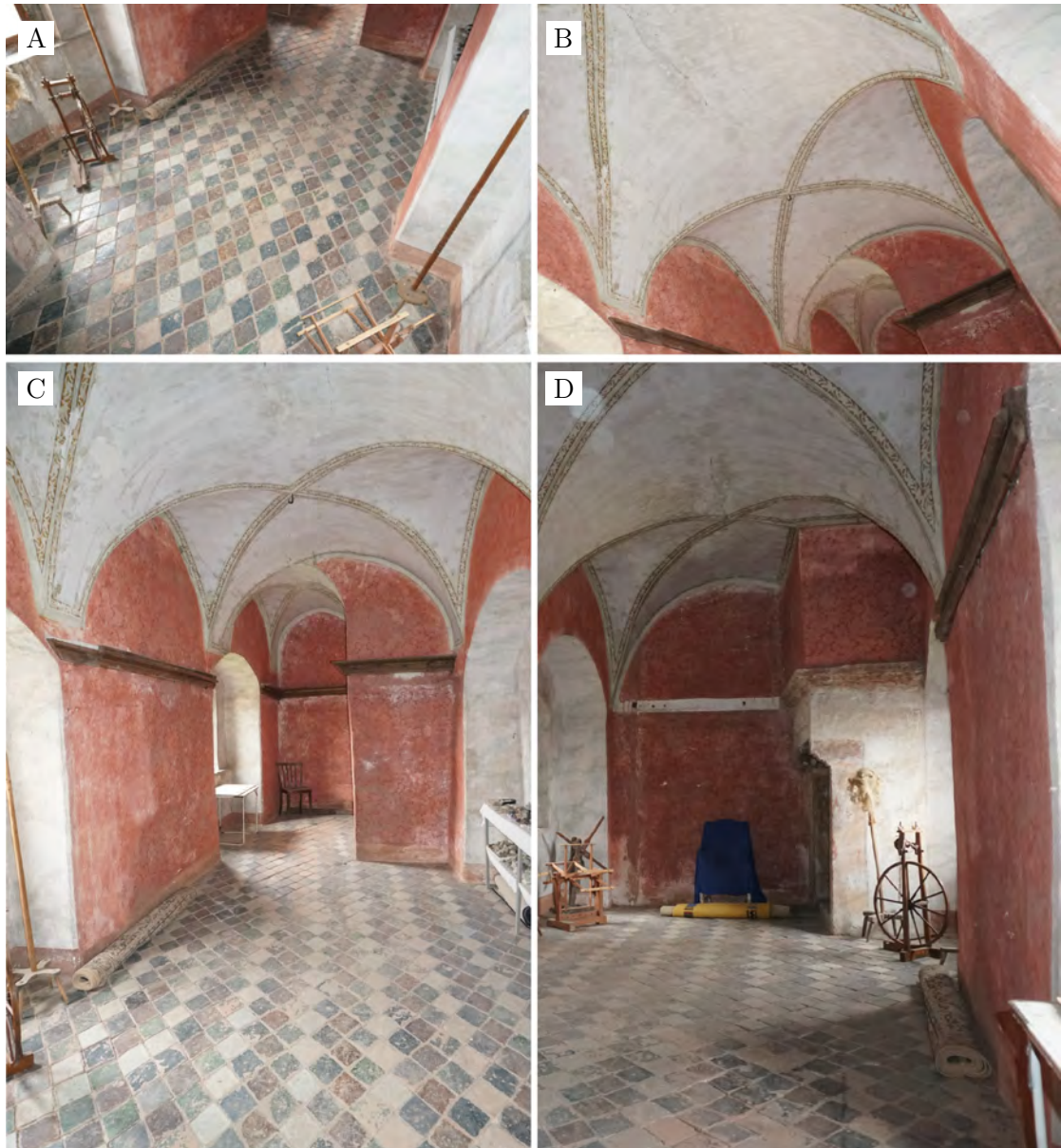
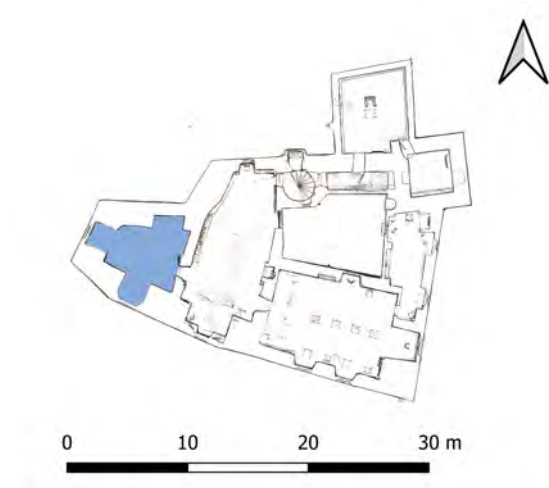


Abbildung A.39.: Ansichten der Kemenate: Fliesenboden (A); bemaltes Kreuzgewölbe (B); Südseite (C); Nordseite mit Kamin (D).

A.23. Westraum, 2. Stock



Stockwerk	II
Länge	8,48 m
Breite	7,79 m
Höhe	3,24 m
Fläche	36,77 m ²
Besonderheiten	polychromer Fliesenboden hölzerner Türrahmen
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): Gemäuer Renaissance (16. Jh.): Ostmauer, nördliche Nische

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man über den Gerichtssaal im 2. Stock. Er verfügt über einen nahezu quadratischen Grundriss und ein Fenster westseitig, sowie ein Fenster südostseitig (siehe Abb. A.42). An der Nordseite befindet sich eine Nische, welche eine ehemalige Fensterposition andeutet. Die Eingangstür des Raums ist mit einem massiven, profilierten Türrahmen ausgestattet, dessen oberes Ende mit einer hölzernen Konsole abschließt.

Der gesamte Boden des Raums ist mit polychrom bemalten, rautenförmigen Bodenfliesen ausgelegt (vgl. siehe: 3.5.5). Die West-, Nord-, und Südseite des Gemäuers dürfte in das Hochmittelalter (13. Jh.) datieren, während die ostseitige Mauer, die nordseitig zugemauerte Nische, sowie der polychrome Fliesenboden renaissancezeitliche Umbauten sein dürften (Klaar, 1979).

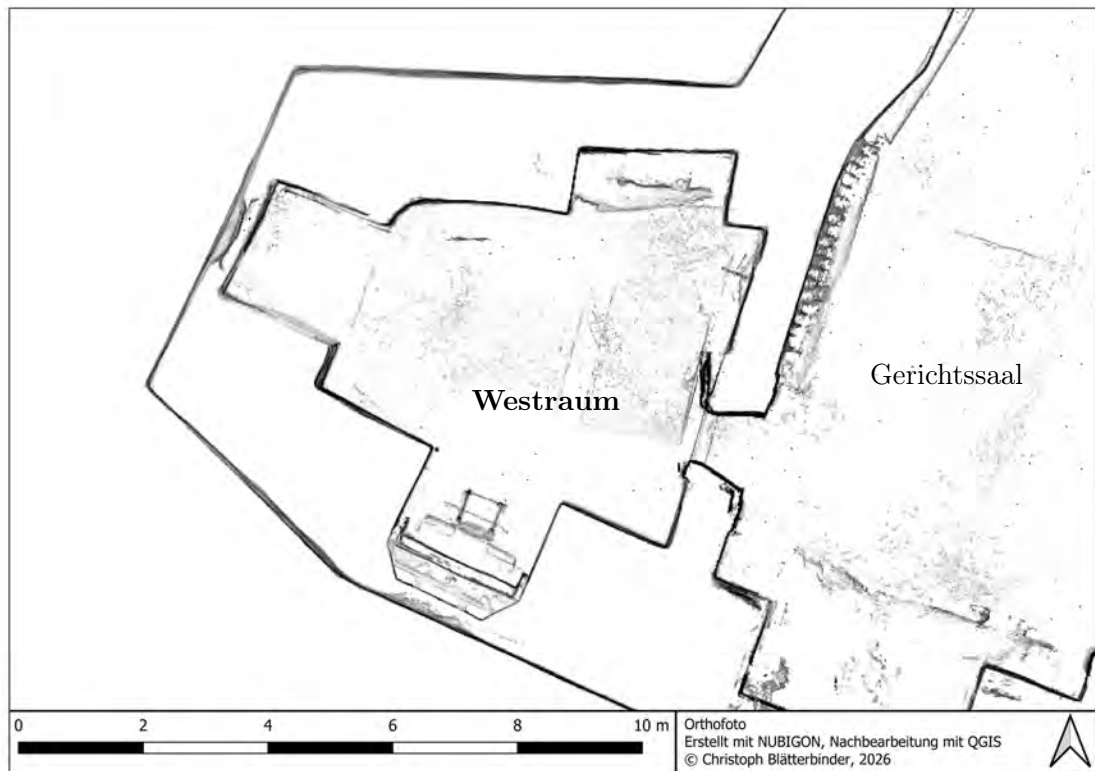


Abbildung A.40.: Plan des Westraums, 2. OG.

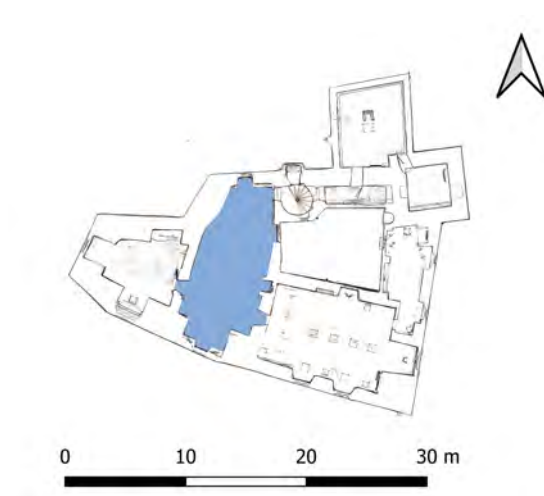
Erhaltungszustand

Der gesamte Boden ist erhalten, die Fliesen weisen allerdings Spuren von Abrieb und Farbverlust auf.



Abbildung A.41.: Ansichten des Westraums, 2. Obergeschoss: Westseite mit Fenster (A); Ostseite mit hölzernem Türrahmen (B); polychromer Fliesenboden (C).

A.24. Gerichtssaal, 2. Stock



Stockwerk	II
Länge	12,73 m bis 15,10 m
Breite	3,27 m bis 6,09 m
Höhe	3,50 m
Fläche	91,68 m ²
Besonderheiten	polychromer Fliesenboden ostseitiger Kamin hölzerne Portale mit Schnitzarbeiten
Datierung	Hoch- bis Spätmittelalter (13./14. Jh.): Mauerwerk Renaissance (16. Jh.): Kamin, Westmauer

Beschreibung

Zugang zum Raum erhält man über die Wendeltreppe. Der annähernd rechteckige Raum besitzt eine flache Holzdecke, Fliesenboden und einen Kamin ostseitig. Über zwei Türen mit massiven, dekorativen Holzrahmen erhält man Zugang zum westseitigen Nebenraum und den ostseitigen Rittersaal. Der Raum besitzt zudem zwei Fenster (eines nordseitig, eines südseitig). Der polychrome Fliesenboden, bestehend aus rautenförmigen Bodenfliesen (vgl. siehe: Kemenate, Kapitel 3.5.5) erstreckt sich durch die Tür an der Westseite bis in den Nebenraum hindurch.

Die Portale an der Ost- und Westseite des Raums sind mit hölzernen Türrahmen ausgestattet, die profilierte, eingeschnittene Verzierungen aufweisen.

An den Wänden sind im oberen Bereich eiserne Haken und horizontale hölzerne Latten festzustellen, welche die ehemalige Position einer umlaufenden Wandverkleidung (vgl.

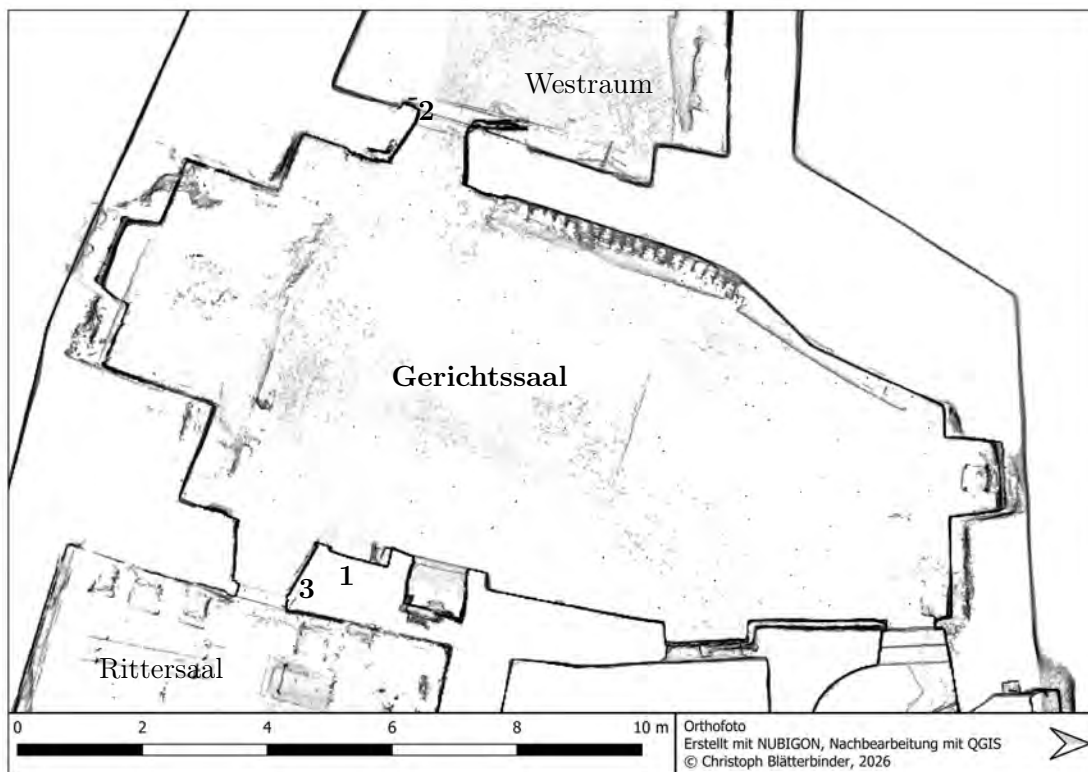


Abbildung A.42.: Plan des Gerichtssaals: Kamin (1); Eingänge mit hölzernen Portalen (2 und 3).

A. Raumbeschreibungen

siehe: Rittersaal, Kapitel 3.5.6) oder einer profilierten Zierleiste (vgl. siehe: Kemenate, Kapitel 3.5.5) andeuten.

Der Fliesenboden besteht aus rechteckigen polychrom bemalten Fliesen, welche in einem diagonalen Muster verlegt sind. Die Fliesen weisen kein deutliches Muster auf und sind unregelmäßig verlegt. Vereinzelt Fliesen weisen Inschriften in Form von Wappen und Buchstaben auf. Die Fliesen sind unterschiedlich gefärbt, jedoch dominieren Grün- Rot und Brauntöne.

Die hölzerne Zwischendecke liegt frei. Anhand eines horizontalen Spalts knapp unterhalb der Decke kann angenommen werden, dass sich ehemals eine dekorative Decke im Raum befand (vgl. Rittersaal, Kapitel 3.5.6). Zudem sind zwei Luster der Firma Lobmeyr an der Decke angebracht. Die Einrichtung umfasst lediglich Teppiche und einen Stoffstuhl. Der Raum steht derzeit leer.

Es ist von einer Datierung des Raums in das Hoch- bis Spätmittelalter auszugehen, wobei es sich beim leicht vorspringenden Kamin und der vergleichsweise dünneren Westmauer und der ebenfalls dünneren Mauer im südlichen Fensterbereich um renaissancezeitliche Umbauten handeln dürfte (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Zustand des Raums ist weitgehend gut. Der Fliesenboden ist vollständig erhalten, allerdings sind Schäden in Form von Abplatzungen der Glasur und Farbverluste festzustellen. Die ursprüngliche Decke (und möglicherweise Wandverkleidung) ist nicht mehr erhalten. Besonders an der Ostseite, unweit des Kamins, sind grobe Ablösungen des Putzes festzustellen.



Abbildung A.43.: Engelstein: Ansichten des Gerichtssaals: Südseite mit Zugängen zu Westraum und Rittersaal (A); hölzerne Flachdecke mit Querbalken und Lustern (B); Nordseite mit Kamin rechtsseitig (C).

A.25. Obere Galerie



Stockwerk	III
Länge	4,5 m bis 5,1 m
Breite	2,45 m bis 3 m
Höhe	3,24 m
Fläche	18,11 m ²
Besonderheiten	zwei Fenster ostseitig, zwei westseitig ostseitiger Kamin Zugang zum Freskensaal Ost hölzerne Flachdecke
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Der Raum weist einen nahezu gleichen Grundriss wie die darunterliegende Kemenate (2. OG) auf. Es handelt sich ebenfalls um einen Raum mit länglichem, rechteckigem Grundriss und Kamin (siehe Abb. A.44). Der Raum besitzt eine hölzerne Flachdecke, welche nicht verputzt ist, zwei hofseitige Fenster, welche allerdings zugemauert wurden (siehe Abb. A.45) und dient als Durchgang zwischen der nördlichen Galerie und dem Freskensaal Ost. Die offenen Mauerstellen in Deckennähe vermitteln den Eindruck eines rasch aufgesetzten Dachs zur Sicherung des ausgebrannten Dachgeschosses. Es ist – wie beim restlichen Dachgeschoss – von einer Datierung des Raums in das zweite Drittel des 16. Jh. auszugehen (Klaar, 1979).

Der untere Mauerabschnitt ist bis auf eine Höhe von 30 cm nicht verputzt und offenbart einen Abschnitt aus groben Rundsteinen, die sich vom restlichen Ziegelmauerwerk deutlich

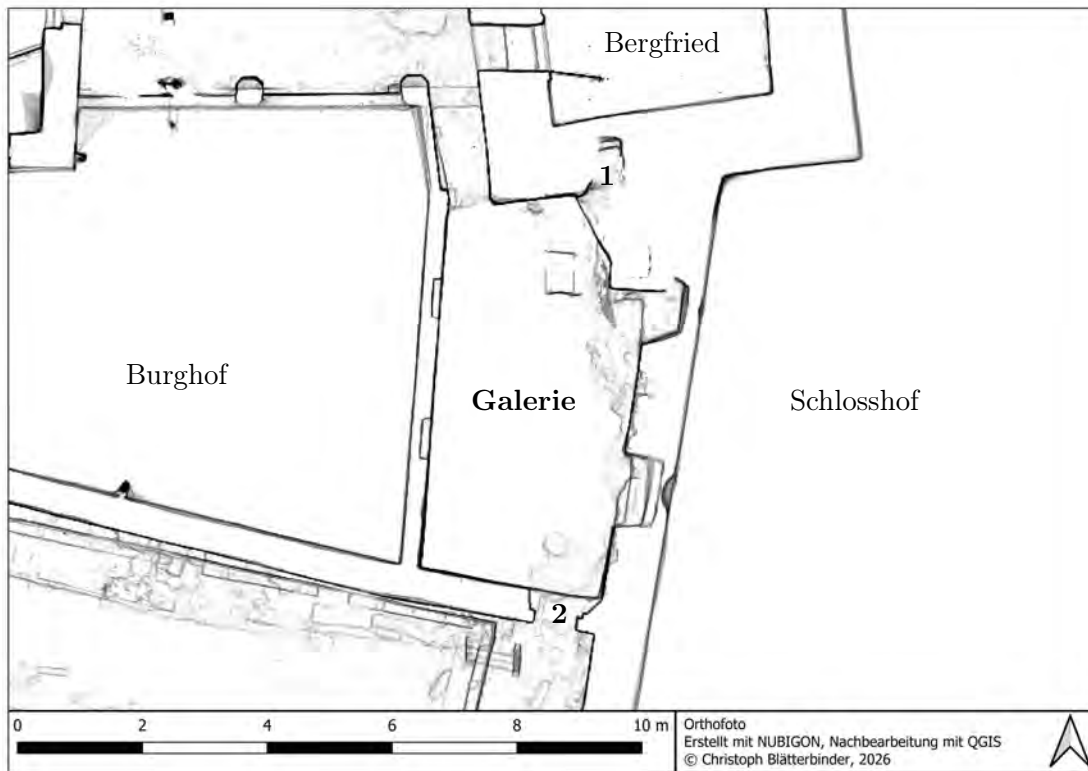


Abbildung A.44.: Plan der Galerie, 3. OG: Kamin (1); Stiege und Aufgang zum Freskensaal Ost (2).

unterscheiden. Es ist anzunehmen, dass der unterste Mauerbereich in das Hochmittelalter (13. Jh.), der Rest in das 16. Jh. datiert (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Raum ist in einem schlechten Zustand. Der Boden ist mit Schutt bedeckt, der Putz ist stark beschädigt. Die oberen Mauerabschnitte weisen Schäden auf (Bereich zwischen Deckenbalken und Mauern ist nicht geschlossen).

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.45.: Ansichten der oberen Galerie: Nordseite mit Aufgang zum Freskensaal und Kamin rechtsseitig (A); Südseite mit Zugang zur Galerie (B); Hölzerne Flachdecke mit Querbalken (C).

A.26. Freskensaal West



Stockwerk	III (Dachgeschoss)
Länge	15,75 m
Breite	5,6 m bis 9,03 m
Höhe	2,75 m
Fläche	106,01 m ²
Besonderheiten	2 Kamine (ost- und westseitig) Wandmalereien (Sgraffittotechnik) diverse Einritzungen mit Jahreszahlen, Namen und Botschaften
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Zugang zum westlichen Freskensaal erhält man über die Wendeltreppe und den Freskensaal Ost (siehe Abb. A.46). In der Mitte ist eine abgetragene Wand sichtbar, die den Raum einst teilte. Eine Stiege führt in den leicht erhöht liegenden Freskensaal Ost (siehe Abb. A.47).

Der Raum besitzt zwei Fenster südseitig, ein kleines Fenster hofseitig, zwei Fenster nordseitig, sowie einen Ofen mit eiserner Tür. Der gesamte Raum ist mit flächigen Wandmalereien ausgestattet. Die Wände zeigen umlaufend ein mehrfarbiges Renaissancemotiv in Form von großen schwarzen Flächen in Sgraffito-Technik, welche von orangefarbenen Architekturmotiven eingerahmt werden. Die Formsprache ist angelehnt an antikisierende Motive und erinnert teils an römische Terra Sigillata-Keramik und ist ebenfalls im anliegenden Freskensaal Ost vorhanden (siehe Kapitel 3.5.10).

A. Raumbeschreibungen

Hervorzuheben sind die zahlreichen Inschriften und Einritzungen, welche sich hauptsächlich in den schwarzen Feldern der Wandmalereien befinden. Die Felder sind bedeckt von Inschriften, Autogrammen und Jahreszahlen, sowie verschiedenen Botschaften. Anhand der Jahreszahlen ist eine Datierung der Einritzungen mindestens bis in das frühe 19. Jh. möglich. Eine Beschädigung des Raums durch Vandalismus ist eindeutig erkennbar. Die Inschriften bieten jedoch eine große Grundlage für weitere Untersuchungen, etwa zur Nachnutzung des Dachgeschosses durch Unbefugte als *Lost Place*. Es ist basierend auf der Ausgestaltung und der vergleichsweise dünnen Wandstärke – wie beim restlichen Dachgeschoss – von einer Datierung des Raums in das zweite Drittel des 16. Jh. auszugehen (Klaar, 1979).

Erhaltungszustand

Der Zustand des Raums ist schlecht. Der Boden ist großflächig mit Schutt bedeckt. Die hölzerne Decke nicht mehr erhalten und gibt den Blick in den Dachstuhl frei. Die Wände weisen zahlreiche moderne Graffiti auf, welche teils mit Namen und Jahreszahl versehen sind. Der Putz ist teils abgeplatzt.

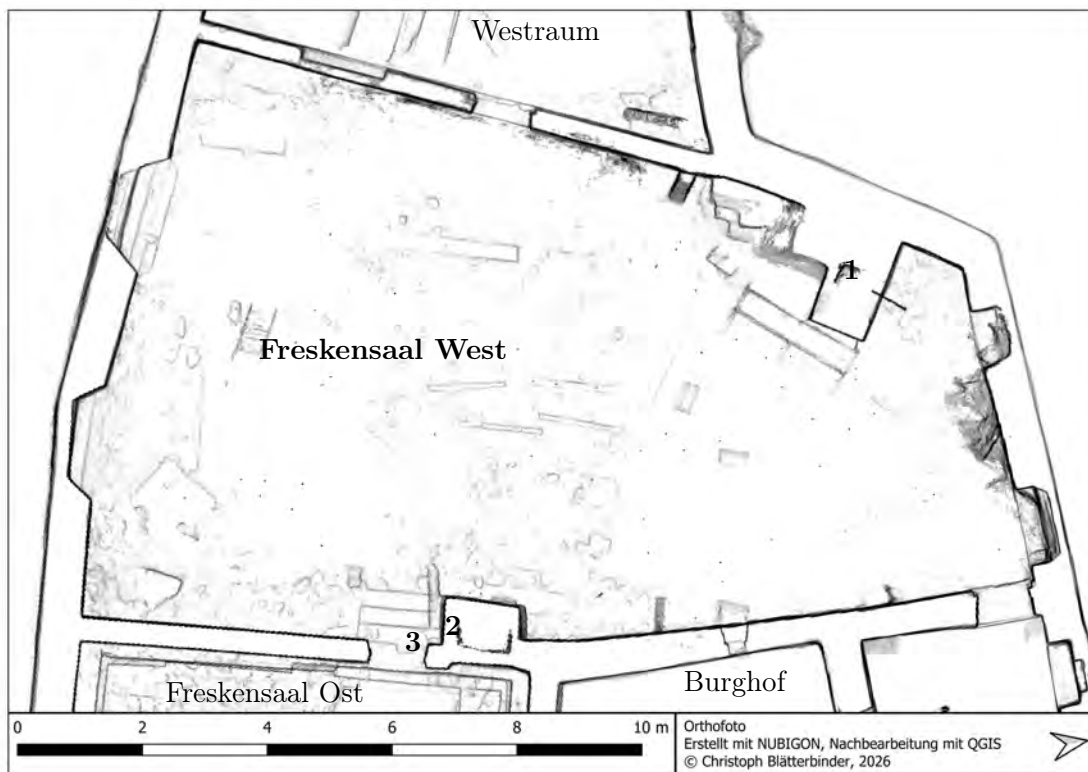


Abbildung A.46.: Plan des Freskensaals West: Ofen nordseitig (1); Ofen südseitig (2); Stiege zum Freskensaal Ost (3).

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.47.: Ansichten des Freskensaal West: Ostseite (A); Westseite (B); Durchgang zum Freskensaal Ost (C); Ofen an der Westseite, Blick von Norden (D).

A.27. Freskensaal Ost



Stockwerk	III (Dachgeschoss)
Länge	12,2 bis 13,0 m
Breite	7,5 bis 8,12 m
Höhe	2,75 m
Besonderheiten	Wandmalereien (Sgraffittotechnik) Einritzungen mit Jahreszahlen, Namen und Botschaften leicht erhöhte Position (Zugang über Stiege)
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.10.

Erhaltungszustand

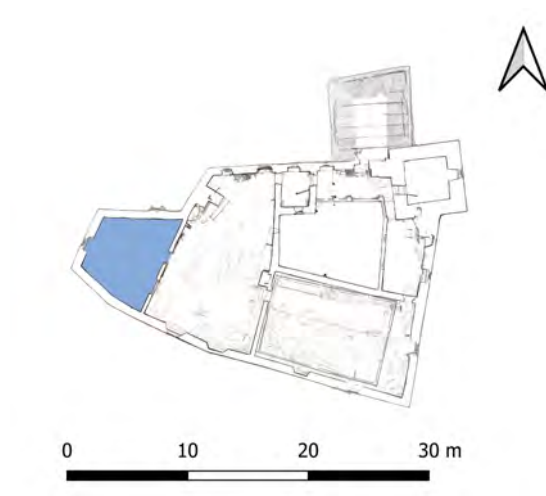
Der Zustand des Raums ist intakt, weist aber einen hohen Restaurationsbedarf auf. Der Boden ist vollständig mit Schutt bedeckt. Die Decke ist nicht mehr erhalten und gibt den Blick in den Dachstuhl vollständig frei. Der Putz ist teils abgeplatzt, die Bemalung ist größtenteils sichtbar, aber beschädigt und verblasst (siehe Abb. A.48). Besonders im Übergangsbereich zwischen den hölzernen Querbalken des Dachstuhls und der oberen Mauerkannte sind Schäden festzustellen. Der Dachstuhl selbst ist vollständig intakt.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.48.: Ansichten des Freskensaals Ost: Westseite (A); Ostseite (B); Dachstuhl (C); Aufgang zum Bergfried Nordseite (D).

A.28. Dachgeschoss, Raum West



Stockwerk	III (Dachgeschoss)
Länge	5,4 bis 8,65 m
Breite	6,35 bis 6,72 m
Höhe	2,75 m
Besonderheiten	Flachdecke Zugemauerter Durchgang ostseitig
Datierung	Renaissance (16. Jh.)

Beschreibung

Der Westraum des Dachgeschosses verfügt über einen nahezu fünfeckigen Grundriss und hölzerner Flachdecke sowie zwei Fenster. Zugang zum Raum erhält über den Freskensaal West (siehe Abb. A.49). Das Mauerwerk an der Ostseite weist eine mit Ziegeln zugemauerte Öffnung auf, welche vermutlich einen ehemaligen Eingang zum Freskensaal West darstellt (siehe Abb. A.50). Die Wand an der Ostseite ist wesentlich dünner (etwa halb so stark) als die Außenwand und nicht tragend. Insgesamt ist im Vergleich zum darunterliegenden Westraum (3. Obergeschoss) ein großer Unterschied in der Wandstärke festzustellen.

An der Nordostseite befindet sich ein ebenfalls ein rezent zugemauerter Mauerbereich, der die ehemalige Position eines Durchgangs oder Fensters zur Nordseite des Raums darstellt. Der Mauerabschnitt zwischen dem Eingang und zugemauerten Durchgang an der Ostseite zeigt das offene, unverputzte Mauerwerk und lässt auf die Konstruktionsweise der Zwischenmauer schließen: demnach handelt es sich um ein Mauerwerk aus kleinen Rundsteinen, welches an den Kanten mit Ziegeln begrenzt wird. Es ist – wie beim

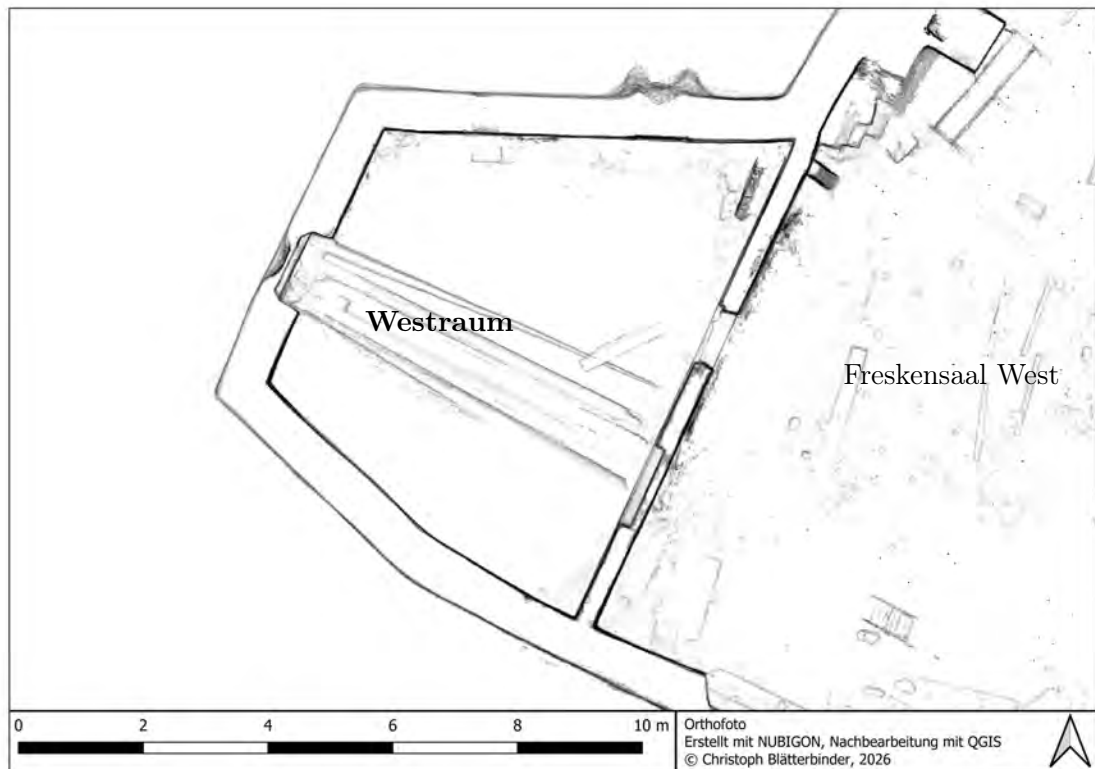


Abbildung A.49.: Plan des Westraums, OG 3.

restlichen Dachgeschoss – von einer Datierung des Raums in das zweite Drittel des 16. Jh. auszugehen (Klaar, 1979).

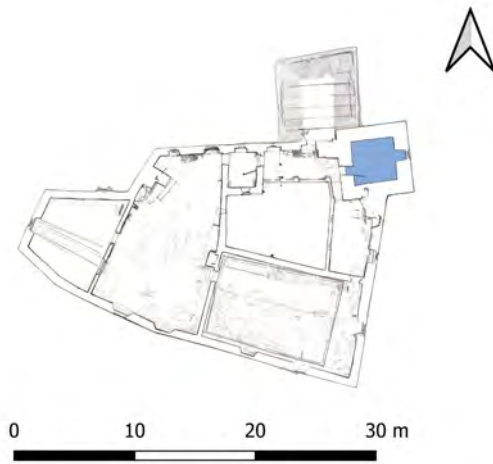
Erhaltungszustand

Der Verputz ist teils abgeplatzt, das Mauerwerk ist an mehreren Stellen sichtbar und zeugt rundliche Steine. Der Boden ist vollständig mit Schutt bedeckt. Die Holzdecke ist erhalten, aber beschädigt. Es sind keine Tür oder Türrahmen mehr erhalten.



Abbildung A.50.: Ansichten des Westraums im Dachgeschoss: Westseite (A); Ostseite mit Mauerwerk aus Rundsteinen und Ziegeln, sowie zugemauerter Öffnung an der Nordostseite (B); Hölzerne Flachdecke (C).

A.29. Bergfried, Dachgeschoss



Stockwerk	III (Dachgeschoss)
Länge	3,49 m
Breite	3,48 m
Höhe	3,75 m
Fläche	13,27 m ²
Besonderheiten	Fenster ostseitig
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.)

Beschreibung

Zutritt zum dritten Turmgeschoss erhält man über die oberste Galerie (siehe Abb. A.51). Der Raum besitzt einen quadratischen Grundriss, einen schlichten Holzboden, ein Kreuzgewölbe und ein Fenster ostseitig (siehe Abb. A.52). Die Wände und das Gewölbe sind vollständig weiß verputzt. Am Gewölbe ist in Türrnähe ein eiserner Haken angebracht. Die Tür des Raums ist in einen hölzernen, weiß gestrichenen Türrahmen eingehängt.

Anders als in den darunterliegenden Geschossen des Bergfrieds wurden hier keine weiteren Zugänge zu anliegenden Räumen geschaffen. Da der Raum selbst früher datiert (13. Jh.) als der Rest des Dachgeschosses (16. Jh.) (Klaar, 1979), ist davon auszugehen, dass diese Etage bis zum renaissancezeitlichen Bau des Dachgeschosses allein stand. Es ist also anzunehmen, dass im Hochmittelalter eine andere Zugangssituation zum Raum existierte (eventuell eine Leiter im inneren des Bergfrieds).

Die Wände weisen in dieser Etage des Turms keinerlei Malereien auf. An der Südseite des Raums ist eine horizontale Holzleiste mit Haken angebracht.

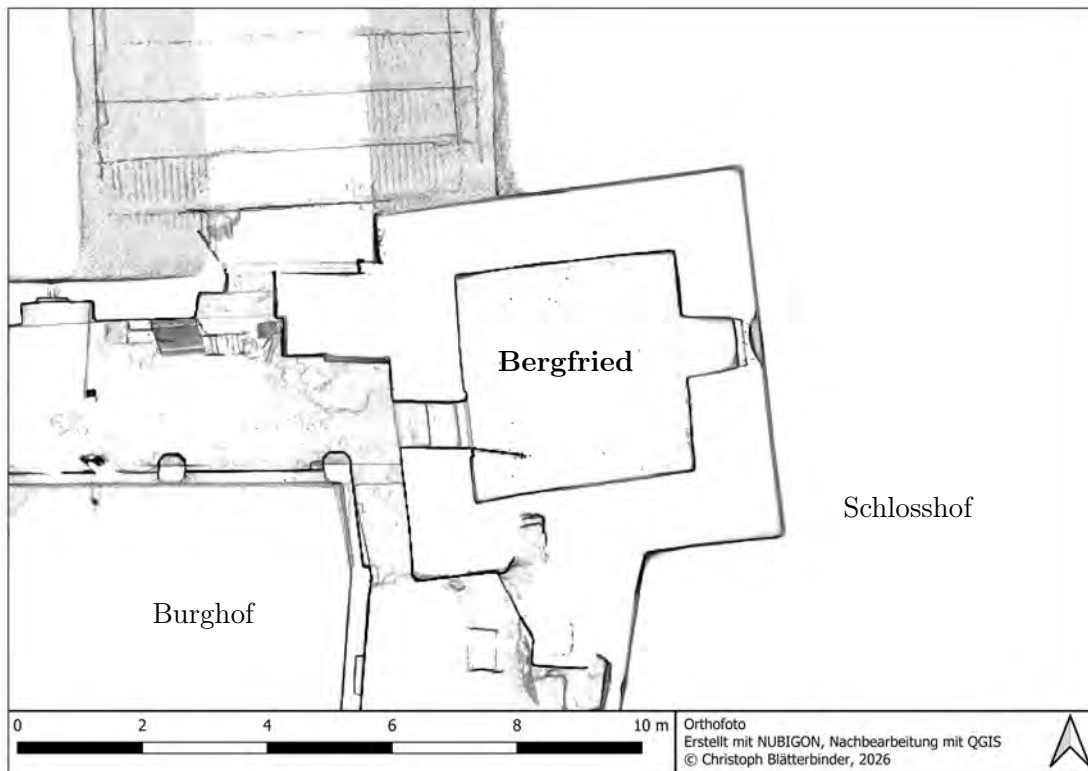


Abbildung A.51.: Plan des Bergfrieds, 3. Obergeschoss.

Erhaltungszustand

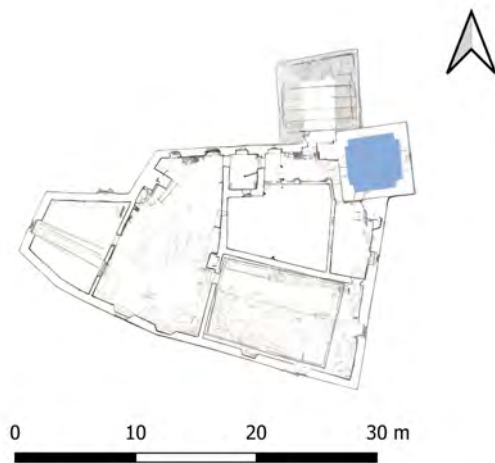
Der Raum ist intakt. Die weiße Farbe ist besonders an der Westseite abgeplatzt, wodurch der graue Wandverputz sichtbar ist. Die Wände weisen teils grüne Verfärbungen auf, die mit Feuchtigkeit in Verbindung stehen. Besonders am Türrahmen sind Abriebspuren und Abplatzungen der Farbe festzustellen.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.52.: Ansichten des Turms, 3. Obergeschoss: Westseite (A); Ostseite (B); Gewölbe (C).

A.30. Oberstes Turmgeschoss



Stockwerk	IV
Länge	3,36 m
Breite	3,37 m
Höhe	2,44 m
Fläche	11,29 m ²
Besonderheiten	Kreuzgewölbe Schlüsselscharten, Fenster ehemalige Zinnen sichtbar
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.): unteres Mauerwerk Renaissance (16. Jh.): Gewölbe

Beschreibung

Der Raum weist einen quadratischen Grundriss auf und besitzt ein Kreuzgratgewölbe. Wände und Gewölbe sind vollständig weiß verputzt. Zugang zum Raum erhält man über eine Leiter im Dachgeschoss und einen Durchgang im Dachstuhl oberhalb der Galerie im 3. Obergeschoss.

Alle vier Seitenwände mit Schlüsselscharten und Fenstern versehen. Auf Fensterhöhe nimmt die Wandstärke ab, wodurch eine horizontal umlaufende Stufe entsteht, ehe die Mauer in ein Gewölbe übergeht. Das Gewölbe wirkt somit sekundär aufgesetzt und erscheint als Teil einer späteren Bauphase – vermutlich Renaissance, 16. Jh. (Klaar, 1979). Auf Fensterhöhe sind anhand der Anordnung der Fenster und Scharten die Umrisse ehemaligen Zinnen des hochmittelalterlichen Bergfrieds zu erahnen. (Ausführlichere Beschreibungen: siehe Kapitel Bergfried 3.5.7).

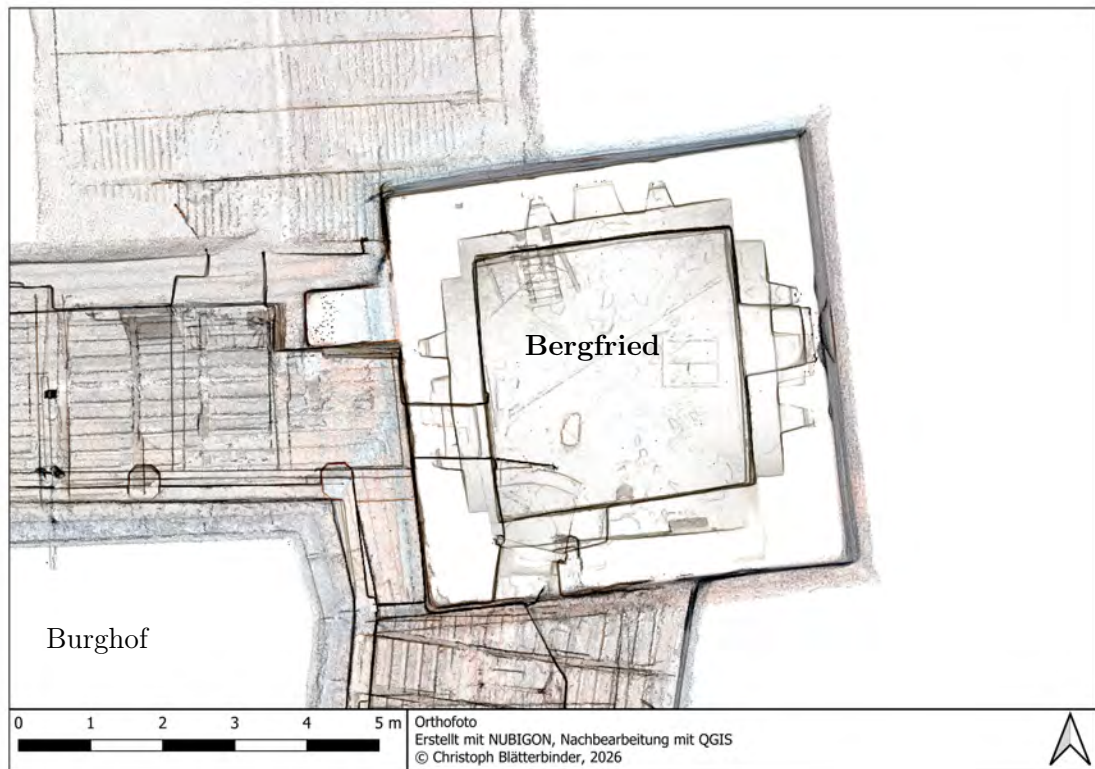


Abbildung A.53.: Plan des obersten Turmgeschosses.

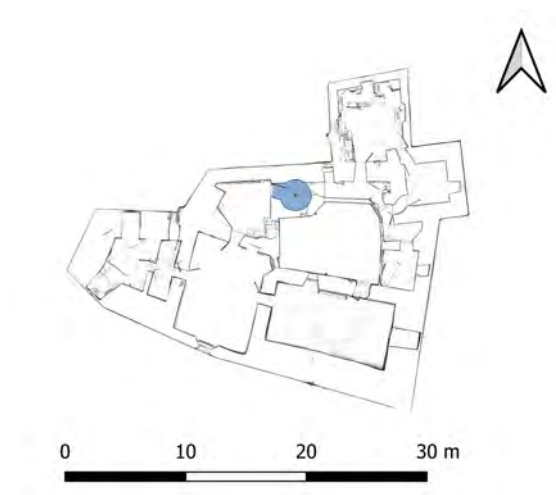
Erhaltungszustand

Der Raum ist beschädigt aber intakt. Die Eingangstür fehlt, der Boden ist mit Schutt bedeckt. Der Putz ist teils abgeplatzt. Putzabplatzungen am Gewölbe geben den Blick auf das Ziegelmauerwerk frei. Nahe des Mittelpunkts des Gewölbes befindet sich ein Loch, wodurch der Dachstuhl sichtbar ist. Auch durch den dünnen Verputz zeichnet sich großflächig das Ziegelmuster des Gewölbes ab.



Abbildung A.54.: Ansichten des obersten Turmgeschosses: Südostseite (A); Nordostseite (B); Gewölbe (C); Aufgang zum Dachstuhl (D).

A.31. Wendeltreppe



Stockwerk	Erdgeschoss bis III
Durchmesser	2,57 m
Höhe	13,74 m
Fläche	6,41 m ² (EG)
Besonderheiten	einziges Stiegenhaus der Hauptburg Kreuzgewölbe
Datierung	Spätgotik/Renaissance (frühes 16. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.8 und Abb. A.55.

Erhaltungszustand

Der Zustand des Treppenhauses ist sehr gut. Die Stiege ist intakt und vollständig erhalten. Der Verputz an den Wänden ist bis auf wenige Abplatzungen vollständig flächig vorhanden. Lediglich am Gewölbe sind Putzabplatzungen festzustellen. An den einzelnen Treppenstufen sind teils Verfärbungen festzustellen (siehe Abb. A.56).

Die kleinen Fenster, welche zum Burghof ausgerichtet sind, weisen noch intaktes Glas und Holzrahmen. Einzelne Wandbemalungen weisen Verblassungen auf, lassen jedoch noch klare Muster und Farben erkennen – beispielsweise in der obersten Etage unterhalb des Gewölbes. Besonders die Unterseite der Stufen besitzt noch ihren klaren, weißen Farbanstrich und Verputz.

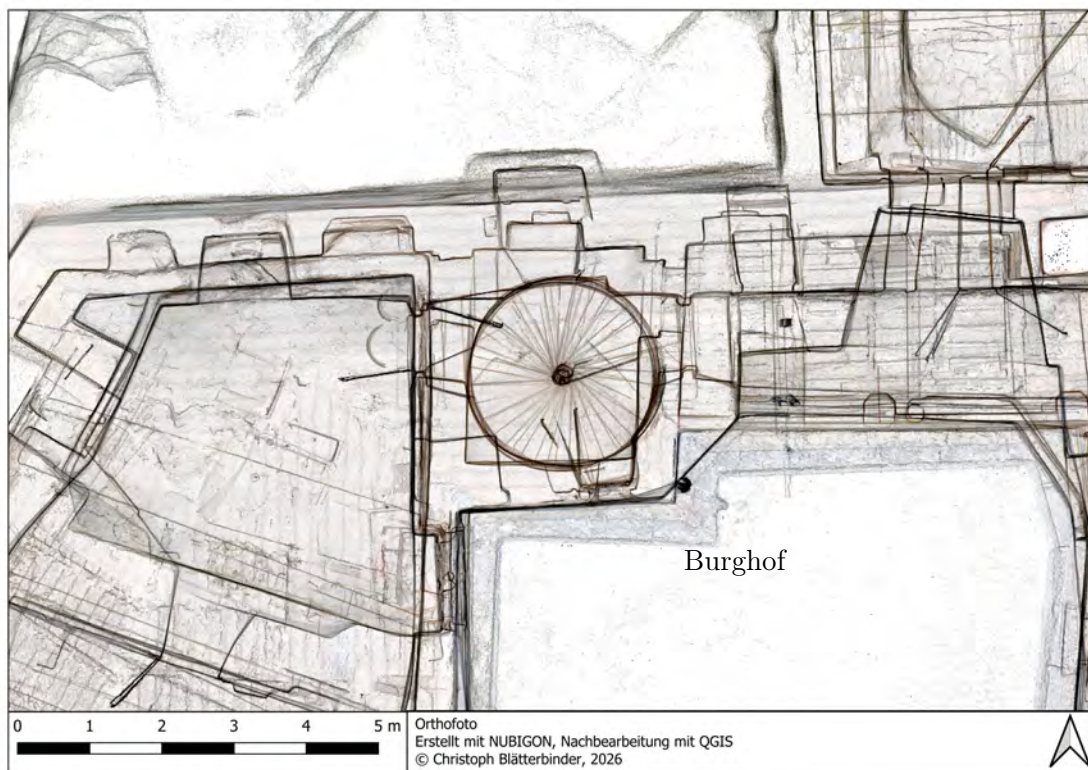


Abbildung A.55.: Plan der Wendeltreppe.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.56.: Ansichten der Wendeltreppe: Aufgang Erdgeschoss (A); Gewölbe (B); Blick von unten, Erdgeschoss (C).

A.32. Burghof



Stockwerk	Erdgeschoss bis III
Länge	11,31 m
Breite	9,19 m
Fläche	66,86 m
Besonderheiten	Brunnen mit Eisengitter Wandmalereien Nische für Statue Arkadengänge Zahlreiche Um- und Zubauten (Wandöffnungen)
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.) bis Barock (17. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.9.

Erhaltungszustand

Insgesamt zeigt der Innenhof ein Schadensbild, das aus baulichen Alterungsprozessen (Rissen und Brüchen im Mauerwerk, Verputz und in Werksteinfassungen) und Witterungseinflüssen (allem voran Feuchtigkeit) resultiert (siehe Abb. A.57). Der unterste

A. Raumbeschreibungen

Mauerabschnitt des Hofes weist teils starke dunkle (schwarze bis dunkelgrüne) Verfärbungen im Zuge von Feuchtigkeit auf. Die bewachsene Umgebung zeigt, dass dieser ehemals funktionale Hof heute keiner regelmäßigen Nutzung mehr unterliegt.

Das Mauerwerk ist teils mit Moos bewachsen. Zudem sind weitreichende Putzablösungen, Schäden am Mauerwerk und Verfärbungen festzustellen. Der gemauerte Rundbrunnen an der Südseite des Hofes ist baulich intakt, jedoch an der Innenseite stark von Bewuchs befallen. Der Putz im Eingangsbereich des Kellerraums (Palasbau) hat sich großflächig abgelöst, wodurch das Mauerwerk (ein Gemisch aus großen behauenen und kleinteiligen Bruchsteinen) sichtbar ist.

Die Wandbemalungen sind an mehreren Stellen verblasst und nur zum Teil erhalten, jedoch in ihrem gesamten Umfang zu erahnen. Besonders der Eingang zum Stiegenhaus im Erdgeschoss weist Risse im Putz und Mauerwerk auf. Der massive Werkstein des Türrahmens weist zudem einen vertikalen Bruch auf. Besonders die Nordwest-Ecke im ersten Obergeschoss ist von Putzablösungen betroffen. Hier liegen große Teile des Mauerwerks frei.

Eine ehemals vorhandene Überdachung über der Nische in der Nordost-Ecke ist anhand einer hölzernen Konstruktion in der Form von vertikalen Latten zu erahnen, ist jedoch nicht mehr erhalten.

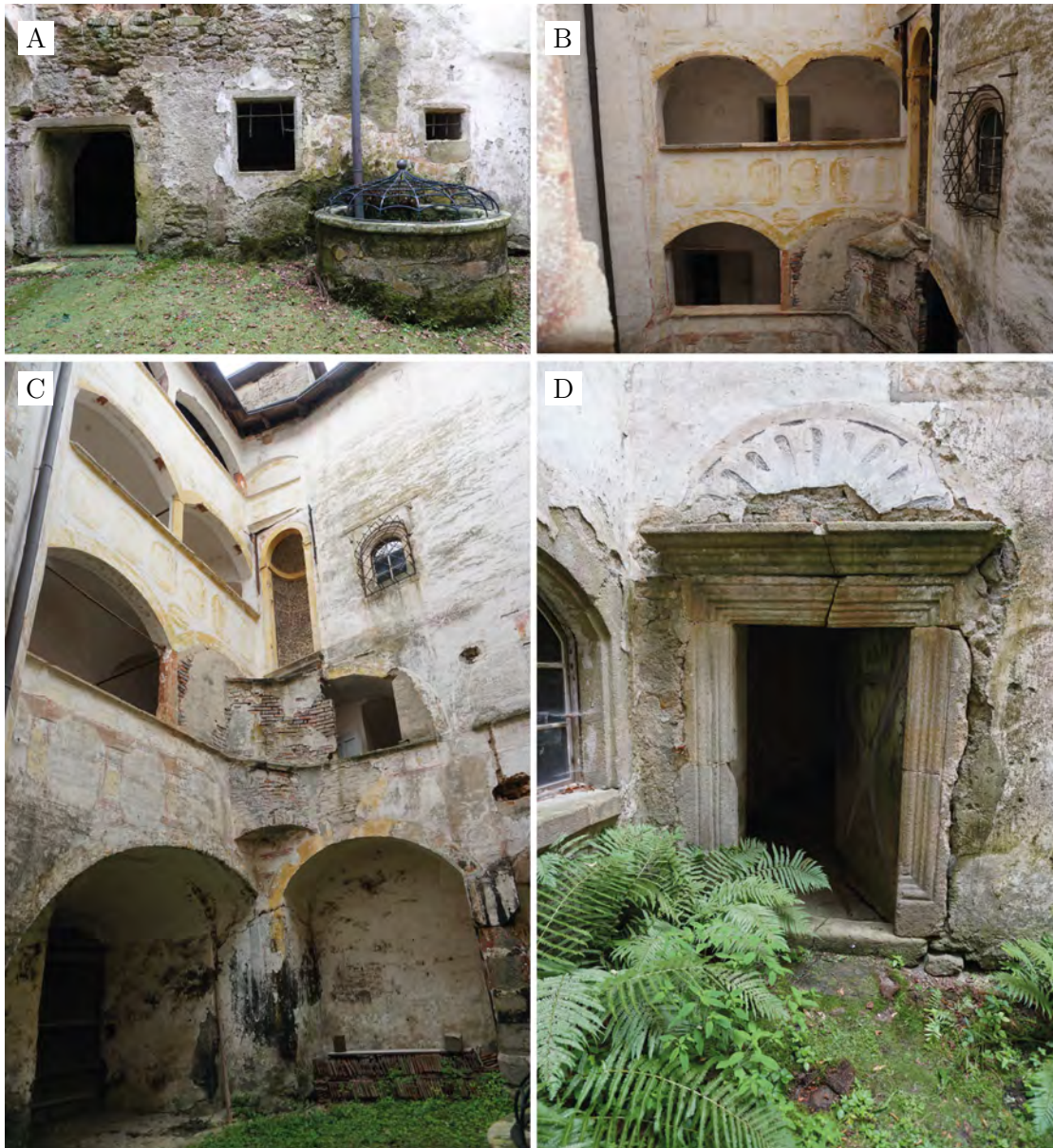
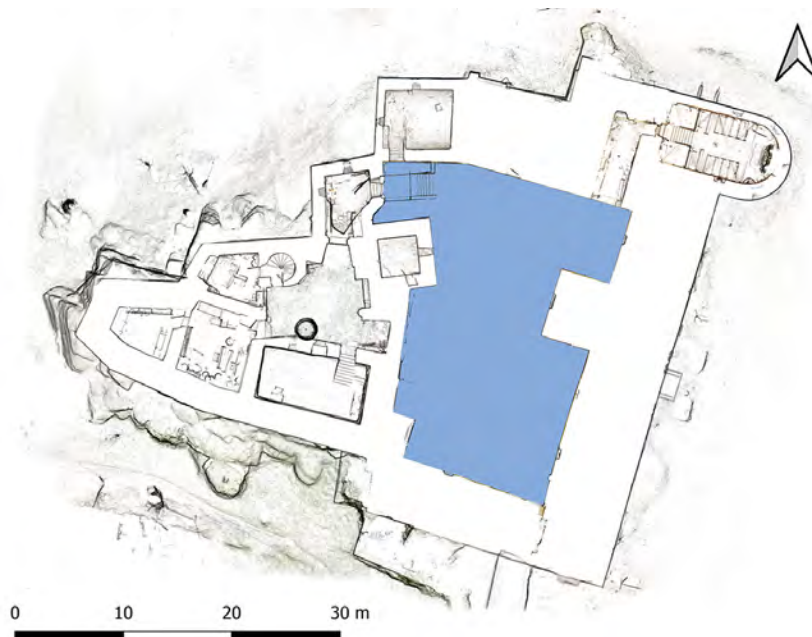


Abbildung A.57.: Ansichten des Burghofs: Südseite mit Brunnen (A); Arkadengang Nordseite (B); Nordwest-Ecke (C); Eingang zur Wendeltreppe, Nordostseite (D).

A.33. Schlosshof



Stockwerk	Erdgeschoss bis III
Länge	28,33 m
Breite	13,36 m bis 18,52 m
Fläche	426,77 m ²
Besonderheiten	Zugang Hauptburg (ehem. Zugbrücke) Zugang Kerker, Kapelle und Kellergeschoss Merphasigkeit
Datierung	Hochmittelalter (13. Jh.) bis Barock (17. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.11.

Erhaltungszustand

Im Erhaltungszustand unterscheiden sich Ost- und Westseite grundlegend (siehe Abb. A.58). Die hofseitigen Fassaden der Wohntrakte an der Ostseite befinden sich durch den einheitlichen modernen Putz in einem konsolidierten Zustand, verdecken jedoch weitgehend das historische Erscheinungsbild und erschweren somit die stratigraphische

Lesbarkeit des Mauerwerks. Die gesamte Ostseite stellt heute einen genutzten Wohnbereich dar und ist umfassend saniert und teilweise rezent umgebaut.

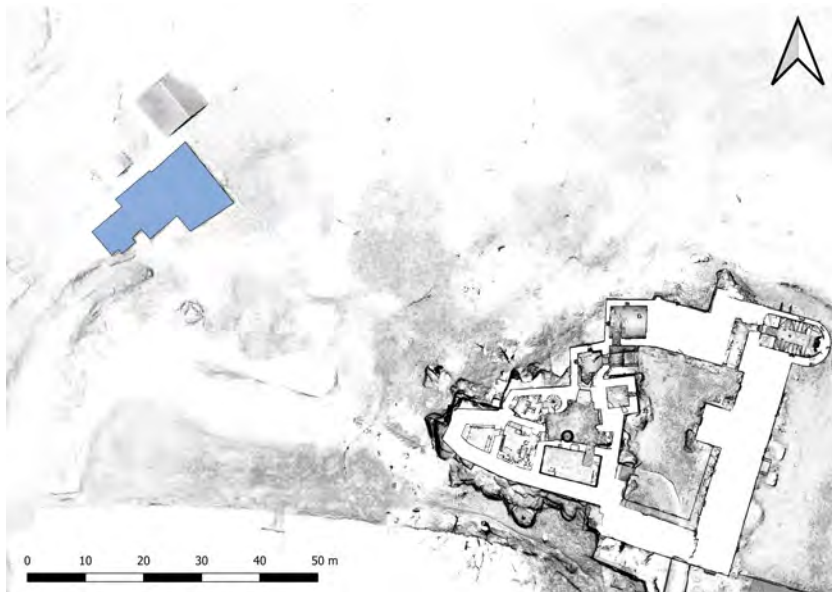
Schäden sind an der Westseite festzustellen, welche die Front der Hauptburg mit Bergfried und Torhaus bildet. Der Bergfried weist an der Oberfläche der Wand deutliche Spuren von Ausbesserungen und Ablösungen des Verputzes auf. Der Schlosshof wird gegenwärtig als Garten genutzt.

A. Raumbeschreibungen



Abbildung A.58.: Engelstein: Ansichten des Schlosshofs: Nordseite (A); Südseite (B); Vogelperspektive von der Südseite (C); Eingangstor zum Schlosshof an der Südseite, Innenansicht (D). Ausgang und Burgtor an der Westseite (E).

A.34. Hammerschmiede



Länge	22,39 m
Breite	13,37 m
Höhe	13,37 m
Fläche	205,46 m ²

Besonderheiten	aktuell bewohnt und saniert urkundlich erwähnt
Datierung	ab Spätmittelalter (15. Jh.): urkundliche Erwähnung Neuzeit (18./19. Jh.): Aufstockung, Wirtschaftsgebäude

Beschreibung

Die Hammerschmiede befindet sich nordwestlich der Hauptburg und ist etwas tiefer gelegen. Von der Hauptburg gelangt man über einen Weg an der Nordseite des Südteichs zu einer kleinen Steinbrücke, welche über den Bach führt. Das Gebäude besitzt einen rechteckigen Grundriss und zwei Etagen (siehe Abb. A.59).

Die Schmiede wird im Jahr 1480 erstmals urkundlich erwähnt, war mit Unterbrechungen bis im Jahr 1959 im Betrieb und erlebte mehrere Um- und Zubauten. Mit dem Ausbau des Gebäudes in den Jahren 1710 und nochmals 1887 entstand schließlich schrittweise ein mehrteiliger Gebäudekomplex, der neben einer Wohneinheit auch ein Wirtschaftsgebäude erhielt.³ Die Hammerschmiede wurde durch Peter Rath saniert und wohnlich umgestaltet.

³Private Chronik der Burg Engelstein, niedergeschrieben von Peter Rath, Durchsicht am 25.11.2025.

A. Raumbeschreibungen



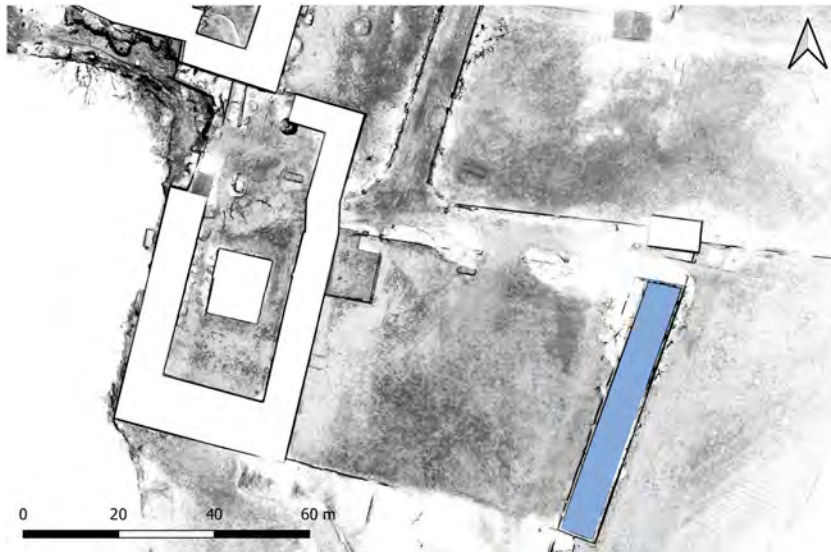
Abbildung A.59.: Ansichten der Hammerschiede: Blick von Süden (A); Blick von Norden (B).

Direkt nordöstlich der Schmiede befindet sich ein weiteres Wirtschaftsgebäude und kleines Gartenhaus, auch als *Teehaus* bezeichnet.

Erhaltungszustand

Der Zustand der Schmiede ist gut. Das Gebäude wurde umgestaltet und saniert und ist heute bewohnt. Im Raum des Hammerwerkes sind Glaserzeugnisse der Firma Lobmeyr-Rath ausgestellt. Teile des ursprünglich verwendeten Werkzeuginventars sind noch erhalten.

A.35. Schüttkasten



Länge	61,8 m
Breite	8,5 m
Höhe	7,38 m
Fläche	566,82 m ²
Besonderheiten	drei Geschosse Balkenlagen sichtbar
Datierung	Neuzeit (16. bis 18. Jh.)

Beschreibung

Siehe Kapitel 3.5.14.

Erhaltungszustand

Der Zustand des Schüttkastens ist schlecht. Der Bau ist durchwegs von starkem Bewuchs betroffen, besonders in der frei liegenden Innenfläche. Die ehemaligen Zwischendecken und das Dach, sowie ein Großteil der Fenster und Türen sind nicht mehr oder nur teilweise erhalten. Die Außenmauer ist auf der Ostseite aufgebrochen, welche die Höhe des ersten und zweiten Obergeschosses einnimmt (siehe Abb. A.60).

Der Putz ist sowohl an der Außen- als auch Innenseite des Gebäudes großflächig abgelöst, wodurch das gesamte Mauerwerk – ein gemischte Mauerwerk aus Rundsteinen und Ziegeln –

A. Raumbeschreibungen

frei sichtbar ist. Ebenso liegt der Blick auf die Maueröffnungen für die ehemals vorhandenen Horizontalbalken der Zwischendecken frei. Das nördliche Ende des Innenraums wird heute als Garten genutzt. Das ehemalige Eingangstor an der Südwestseite ist nicht mehr erhalten.

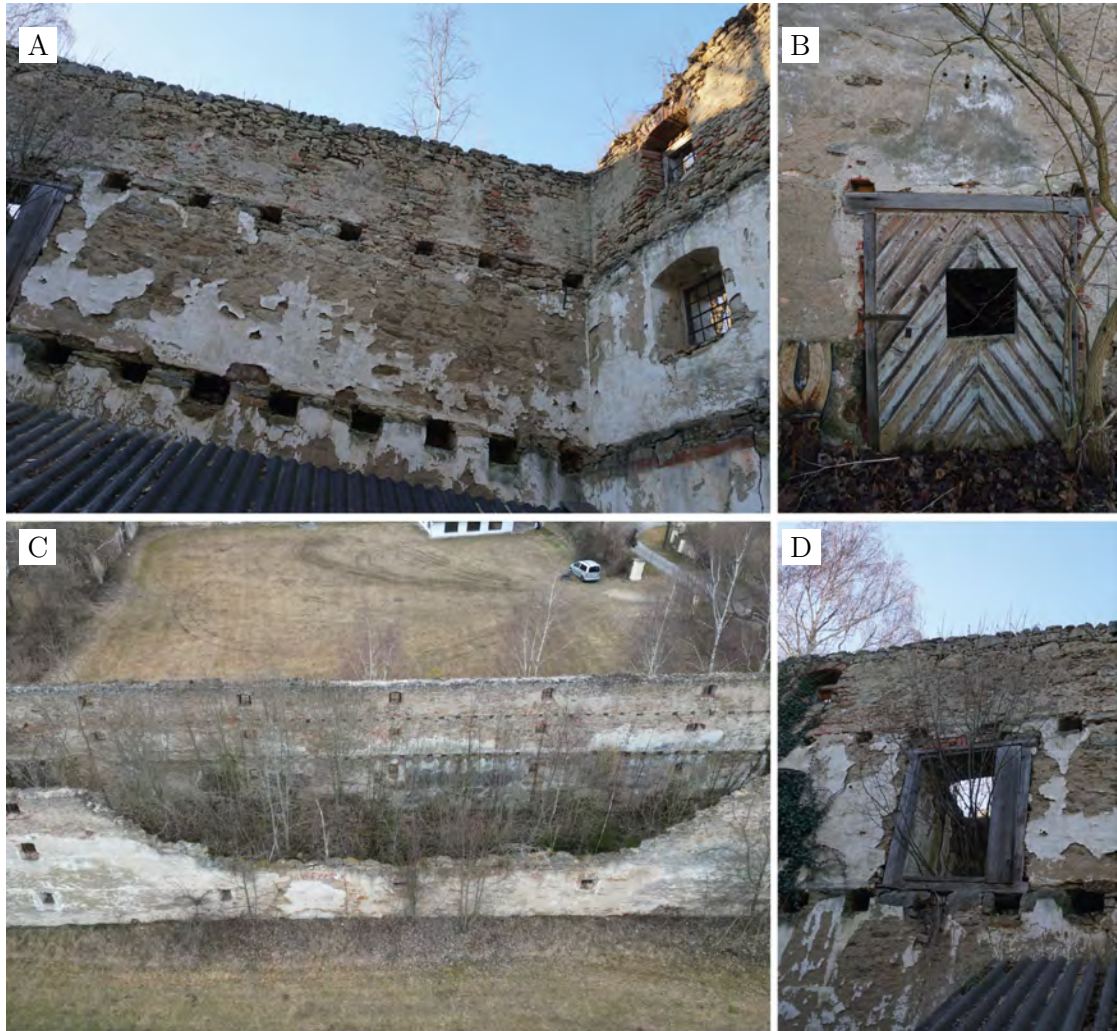


Abbildung A.60.: Ansichten des Schüttkastens: Nordost-Ecke (A); Eingang an der Nordseite (B); Blick von Osten (C); Tür an der Westseite (D).

B. Geräteausstattung

B.1. Kameras und Hardware

Für die Außenaufnahmen der Burganlage wurde eine *DJI Mini 3* Drohne verwendet. Für detailliertere Außen- sowie Innenaufnahmen wurden eine Systemkamera vom Typ *Sony rx100 iv* mit integriertem Zoomobjektiv (Brennweite von 28 bis 100 mm) verwendet. Für den Großteil der Innenräume wurde eine Systemkamera vom Typ *Sony Alpha 6300* mit einem Sony Zoomobjektiv (Brennweite 16 bis 50 mm) verwendet. Zudem wurden die Kameras auf einem Monopod der Marke *K&F Concept* montiert eingesetzt. Als Fernauslöser diente die *Shutter* App für das Iphone, verknüpft mit einem *Apple iPhone SE (2020)*. Zur Stromversorgung wurde ein Akku des Modells *Jackery 2000* verwendet.

Für die Generierung des 3D-Modells wurden sowohl der private Rechner des Autors¹ sowie ein Hochleistungs-Computer des Vienna Institute of Archaeological Science (VIAS)² verwendet.

B.2. Software und KI

Diese Masterarbeit wurde mit dem Online-LaTeX Editor *Overleaf* erstellt. Zur Literaturverwaltung wurde *Citavi* (Version 6.19.3) verwendet. Für die Erstellung des 3D-Modells wurde *Agisoft Metashape Professional* (Version 2.2.1) verwendet. Die Erstellung der Karten und Lagepläne wurden erfolgte mit *Adobe Illustrator*, *Adobe Photoshop* und *QGis Desktop* (Version 3.34.12). Für die Visualisierung der Punktwolke wurde *Nubigon* (Version 7.3.) verwendet.

Zur Unterstützung bei der Gliederung der Arbeit und zur Formatierung der Literaturverweise, sowie zur Korrektur von Rechtschreibfehlern wurden *ChatGPT* und *Google Gemini* verwendet. Für den Inhalt und die korrekte wissenschaftliche Arbeitsweise ist der Autor verantwortlich.

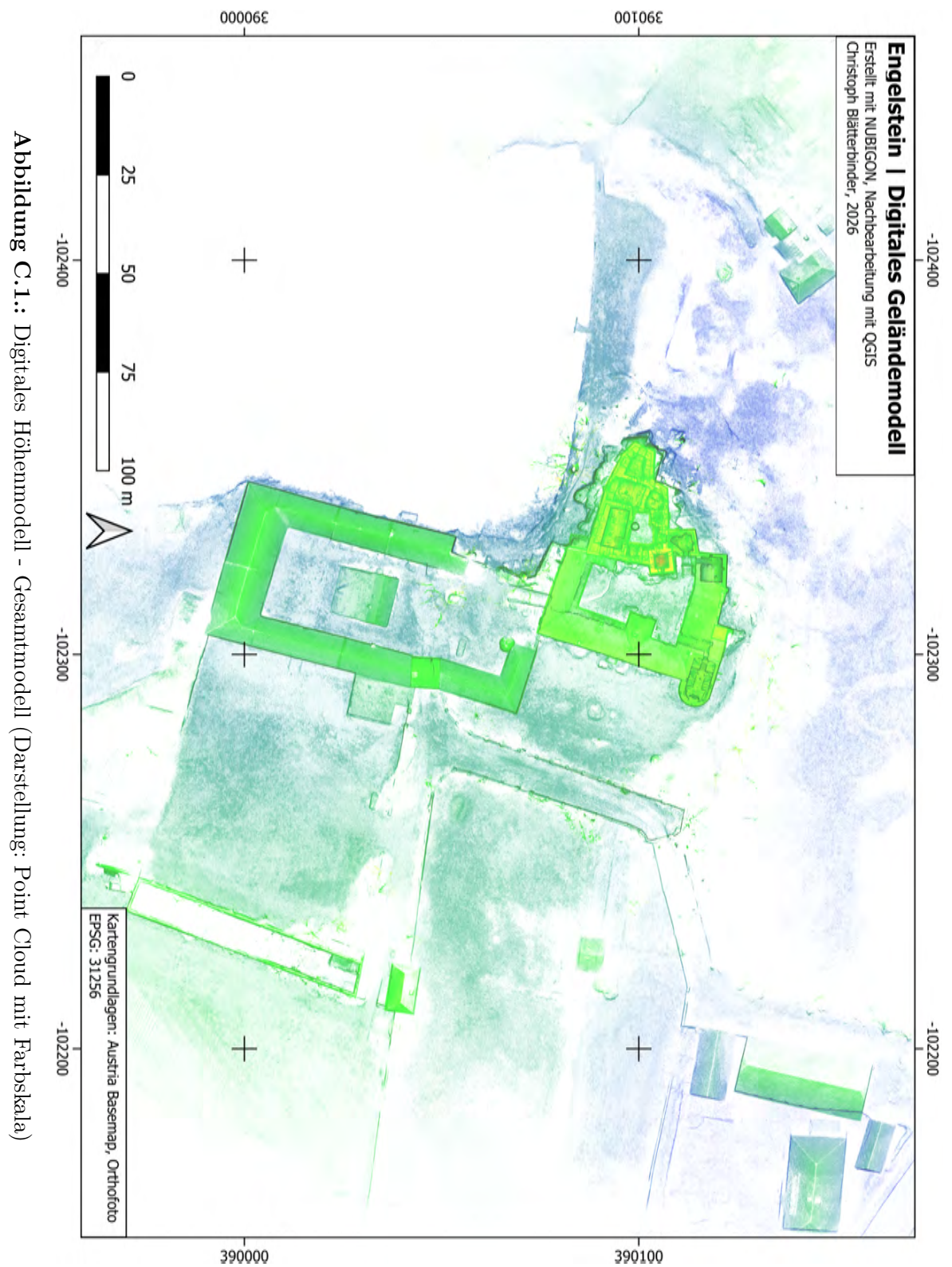
¹ ThinkPad P14s: Intel Core Ultra Series 1, NVIDIA RTX-500 Ada 4 GB, 32 GB DDR5, 1 TB SSD

² Dell Aurora 13 PC: Intel 12th Gen Core, NVIDIA GeForce RTX 3090 24 GB, 128 GB DDR5, 2 TB SSD

C. Digitale Geländemodelle

Nr.	Feature	Visualisierung	Farbe	Software
1	Gesamtmodell	Farbskala	Blau-Grün-Rot	NUBIGON
2	Hauptburg	Farbskala	Blau-Grün-Rot	NUBIGON
3	Gesamtmodell	Schummerung	Graustufen	Metashape
4	Gesamtmodell	Farbskala	Blau-Grün-Rot	Metashape

Tabelle C.1.: Auflistung der erstellten digitalen Geländemodelle (DEM).



Engelstein | digitales Geländemodell

Orthofoto

Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS

© Christoph Blätterbinder, 2026

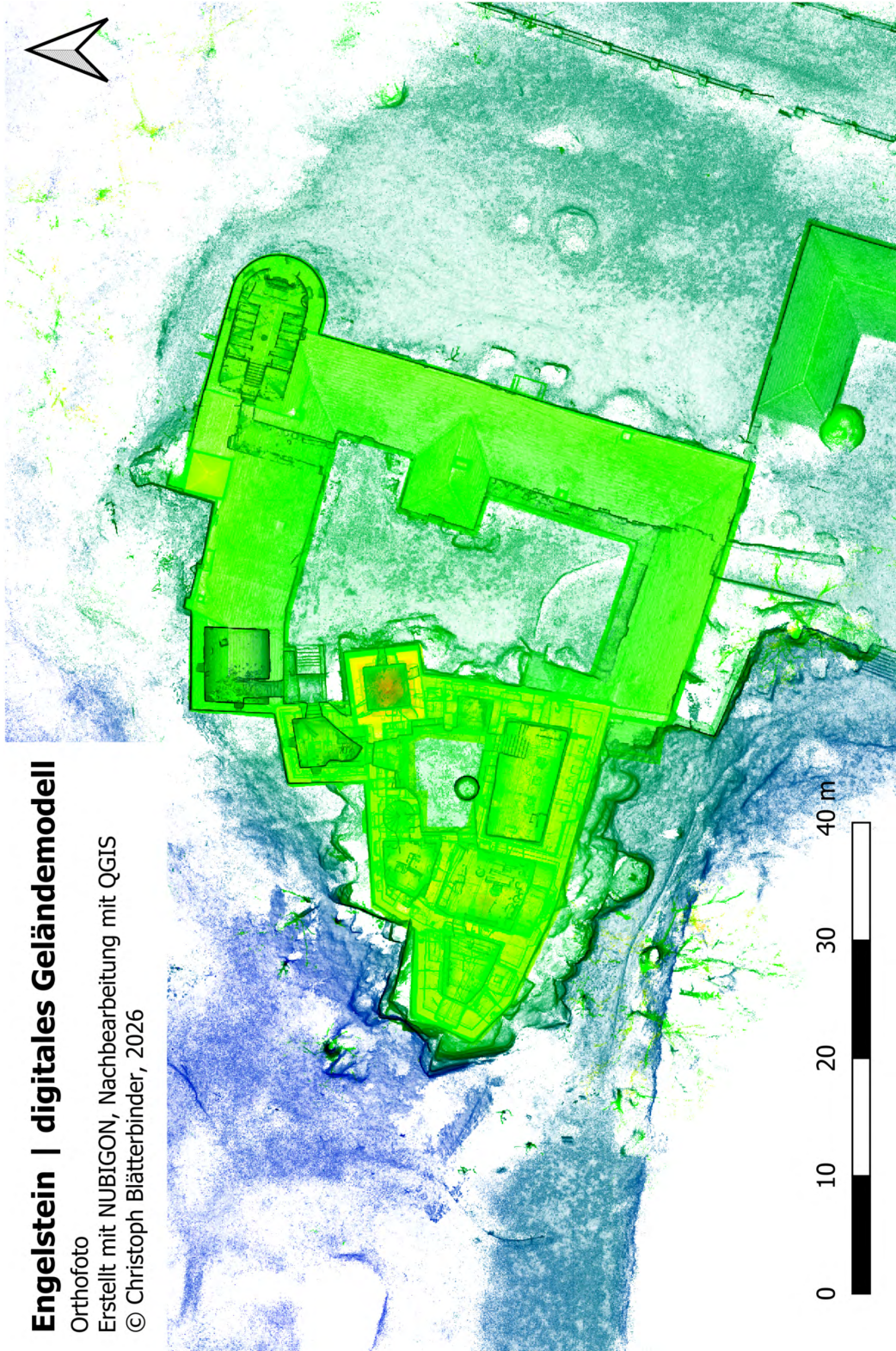


Abbildung C.2.: Digitales Höhenmodell der Hauptburg (Darstellung: Point Cloud mit Farbskala).

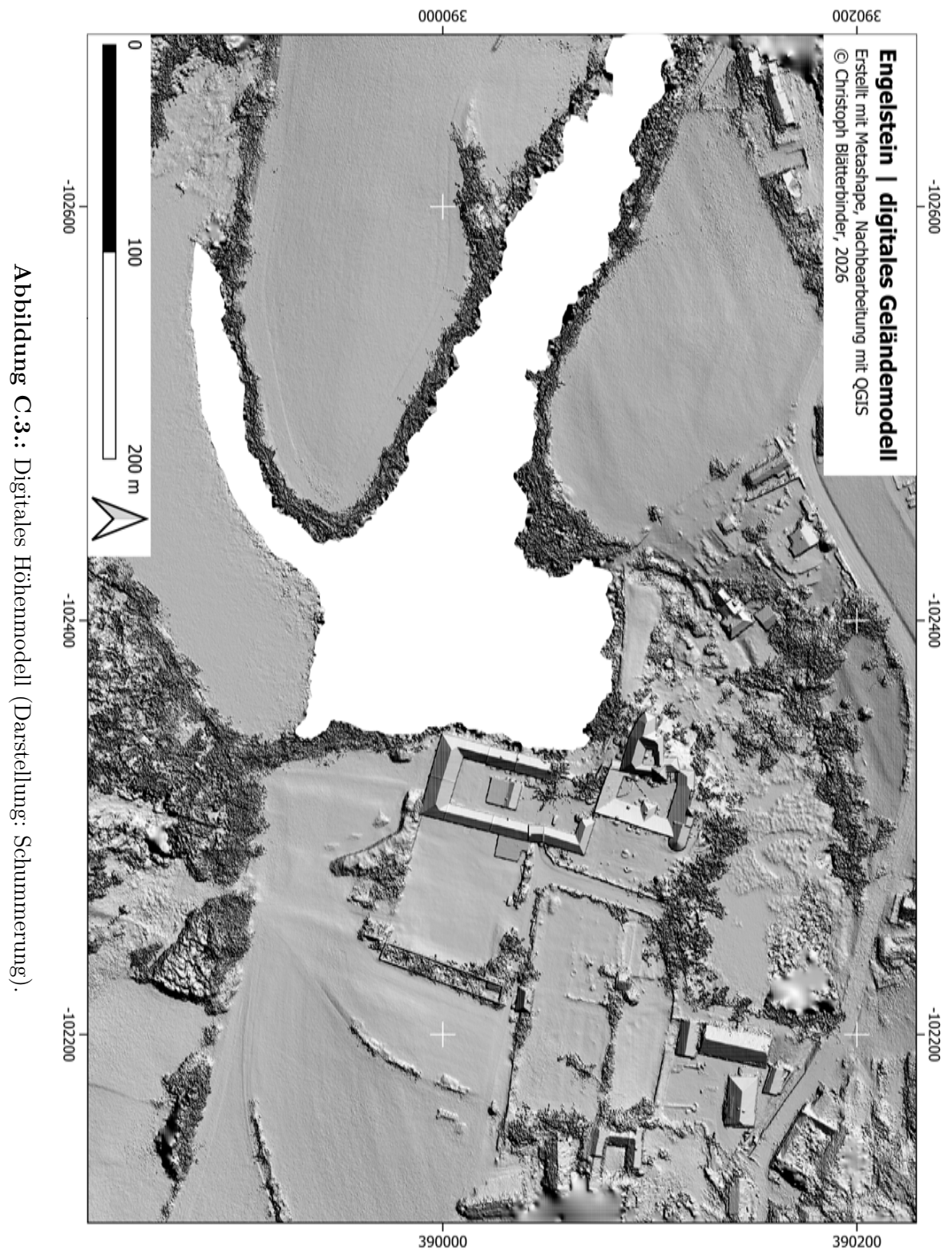


Abbildung C.3.: Digitales Höhenmodell (Darstellung: Schummerung).

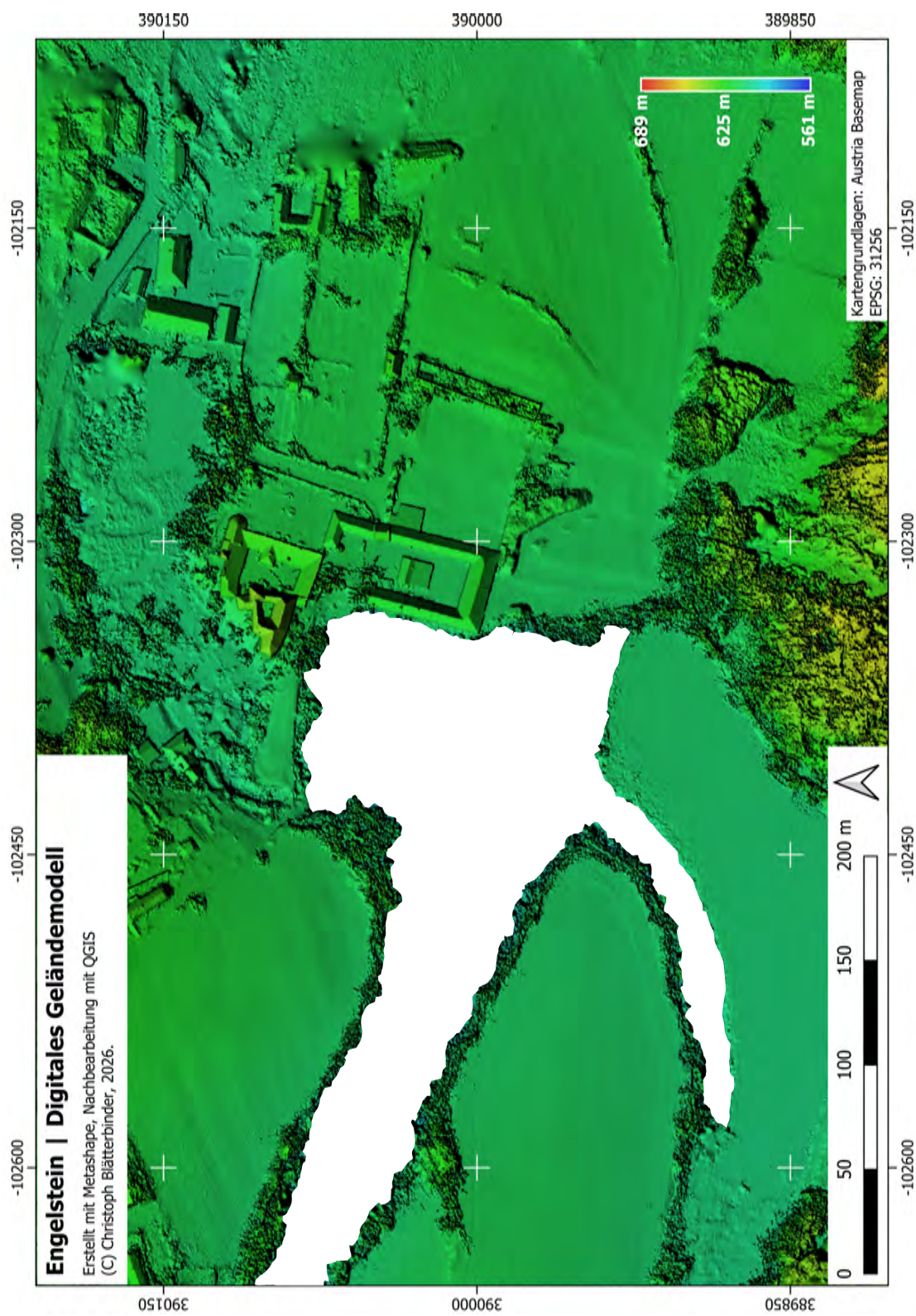


Abbildung C.4.: Digitales Höhenmodell (Darstellung: Farbskala).

D. Orthofotos

Nr.	Feature	Ansicht	Auflösung
1	Gesamtmodell	Draufsicht	5,6 cm/px
2	Burg- und Schlossanlage	Draufsicht	1,60 cm/px
3	Heizraum	Gewölbe	1,59 mm/px
4	Heizraum	Wand, Ostseite	1,59 mm/px
5	Heizraum	Wand, Südseite	1,59 mm/px
6	Heizraum	Wand, Westseite	1,59 mm/px
7	Heizraum	Wand, Nordseite	1,59 mm/px
8	Enzesfeld, Speisesaal	Kassettendecke	1,59 mm/px
9	Enzesfeld, Speisesaal	Wand, Portal	1,59 mm/px
10	Kemenate	Gewölbe	1,59 mm/px
11	Kemenate	Fliesenboden	0,91 mm/px
12	Kemenate	Wand, Ostseite	0,91 mm/px
13	Theatersaal	Wand, Südostseite	1,58 mm/px
14	Theatersaal	Wand, Südwestseite	1,58 mm/px
15	Theatersaal	Wand, Nordwestseite	1,58 mm/px
16	Theatersaal	Wand, Nordostseite	1,58 mm/px
17	Rittersaal	Wand, Westseite	0,90 mm/px
18	Schlosskapelle	Wand, Ostseite	1,34 mm/px
19	Schlosskapelle	Wand, Südseite	1,34 mm/px
20	Freskensaal Ost	Wand, Ostseite	0,16 mm/px
21	Freskensaal Ost	Wand, Nordseite	0,16 mm/px

Tabelle D.1.: Auflistung der erstellten Orthofotos.

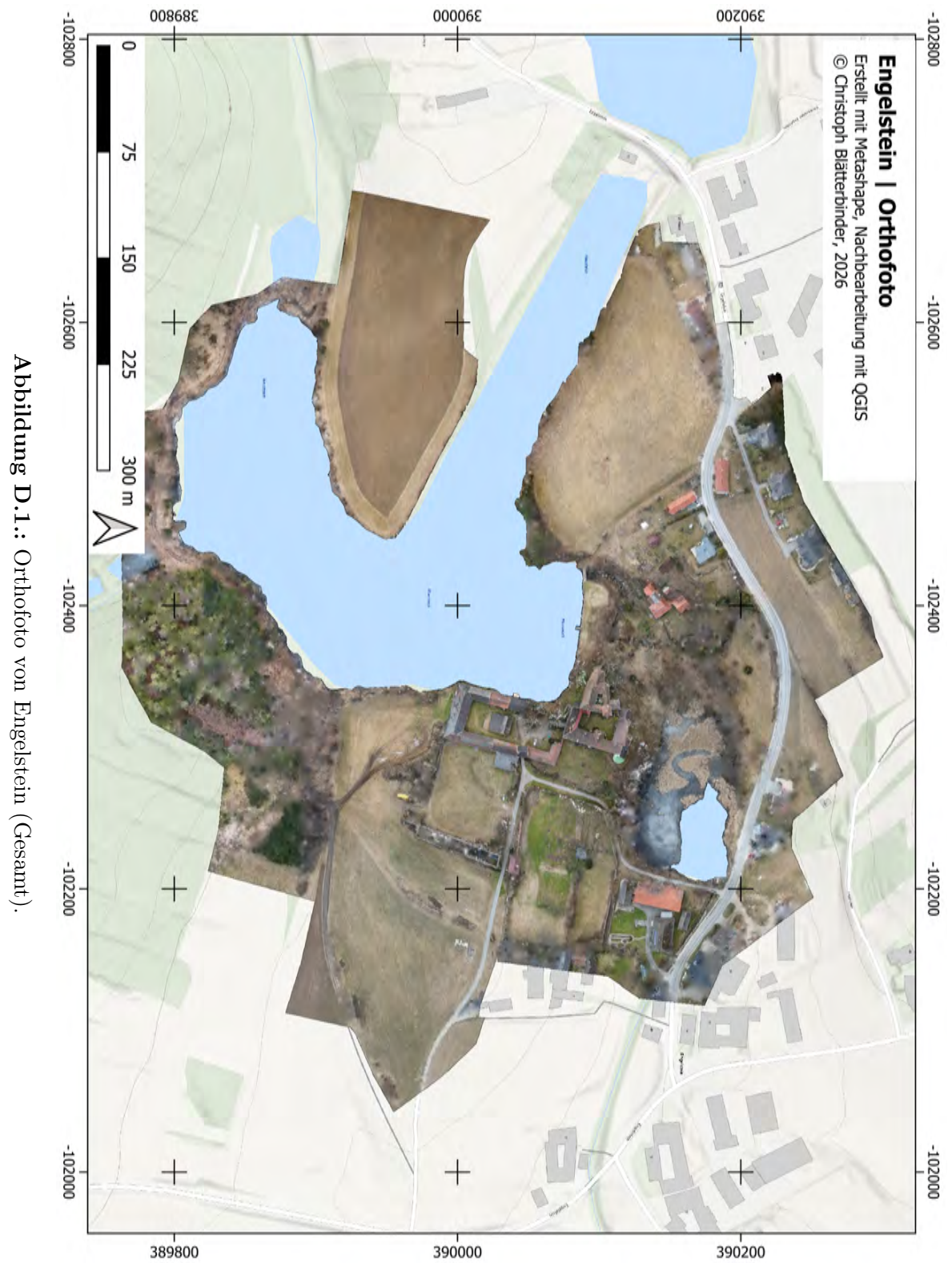


Abbildung D.1.: Orthofoto von Engelstein (Gesamt).



Abbildung D.2.: Orthofoto von Engelstein (Hauptburg und Wirtschaftsgebäude).

Engelstein | Kemenate (1/2)

Orthografische Ansicht: Innenraum
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026

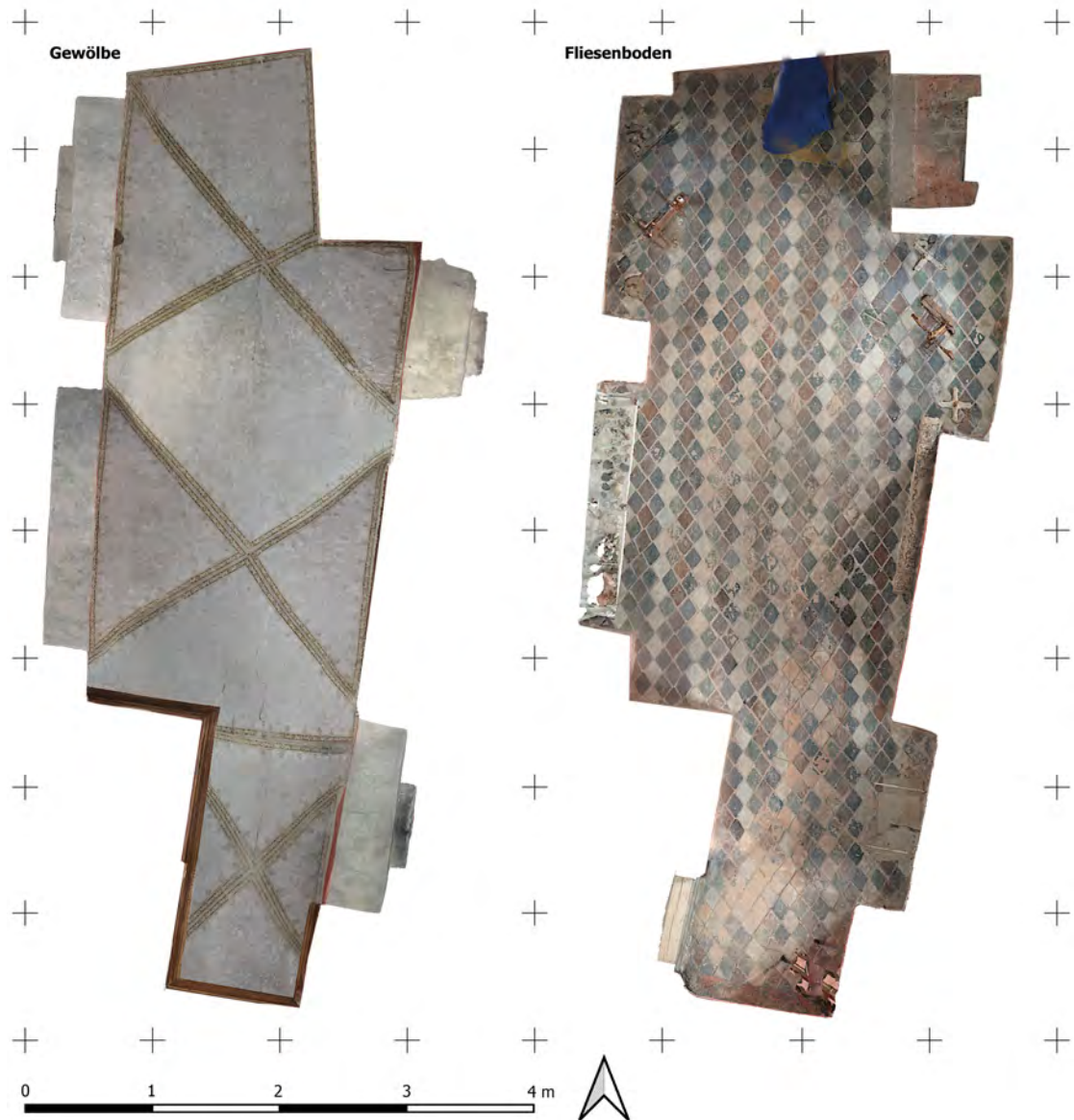


Abbildung D.3.: Orthografische Ansichten der Kemenate (Decke und Boden).

Engelstein | Kemenate (2/2)

Orthografische Ansicht: Innenmauer
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.4.: Orthografische Ansichten der Kemenate (Ost- und Westseite).

Engelstein | Theatersaal (1/2)

Orthografische Ansicht: Wandmalereien
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026

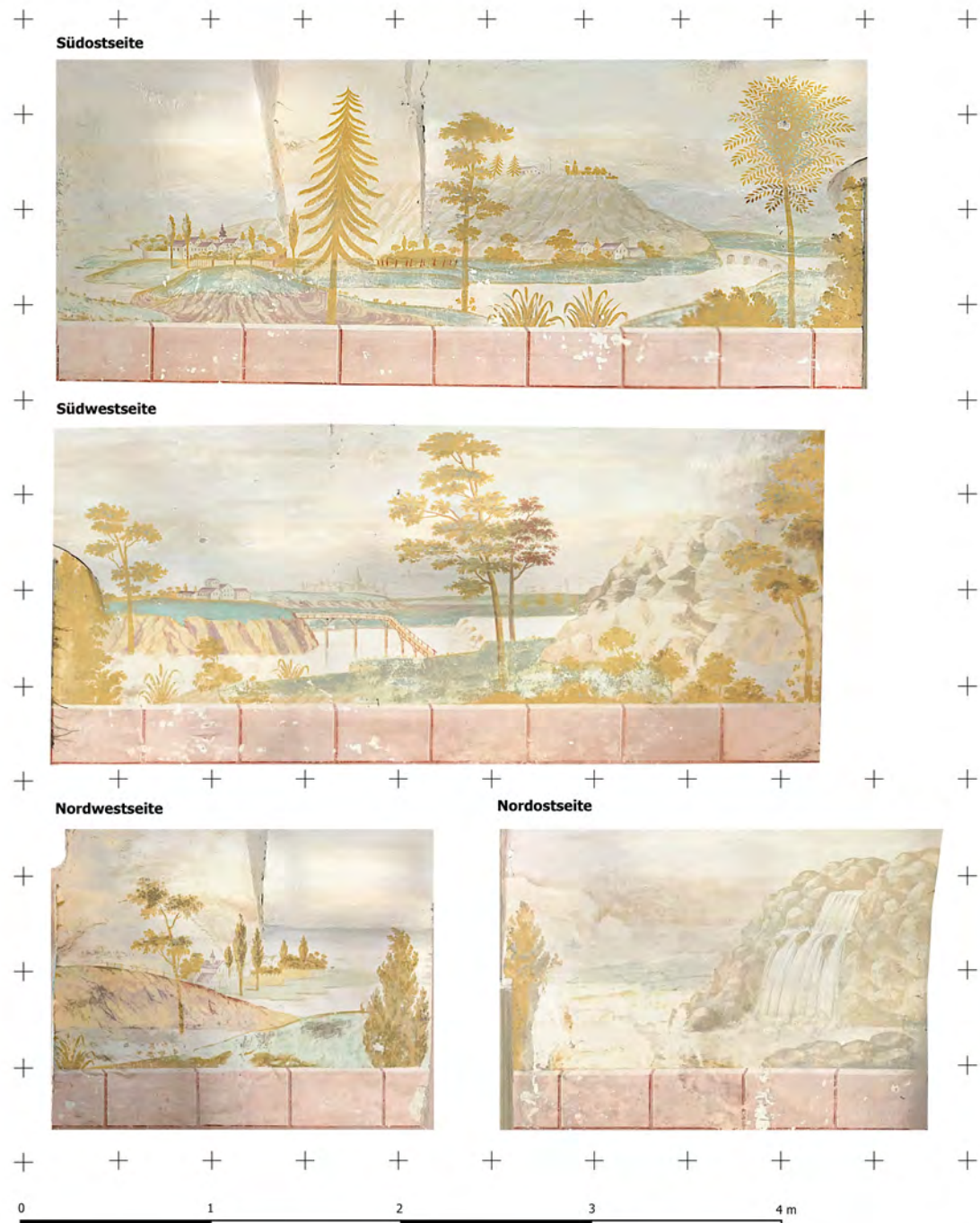


Abbildung D.5.: Orthografische Ansichten des Theatersaals (1/2).

Engelstein | Theatersaal (2/2)

Orthografische Ansicht: Wandmalereien
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026

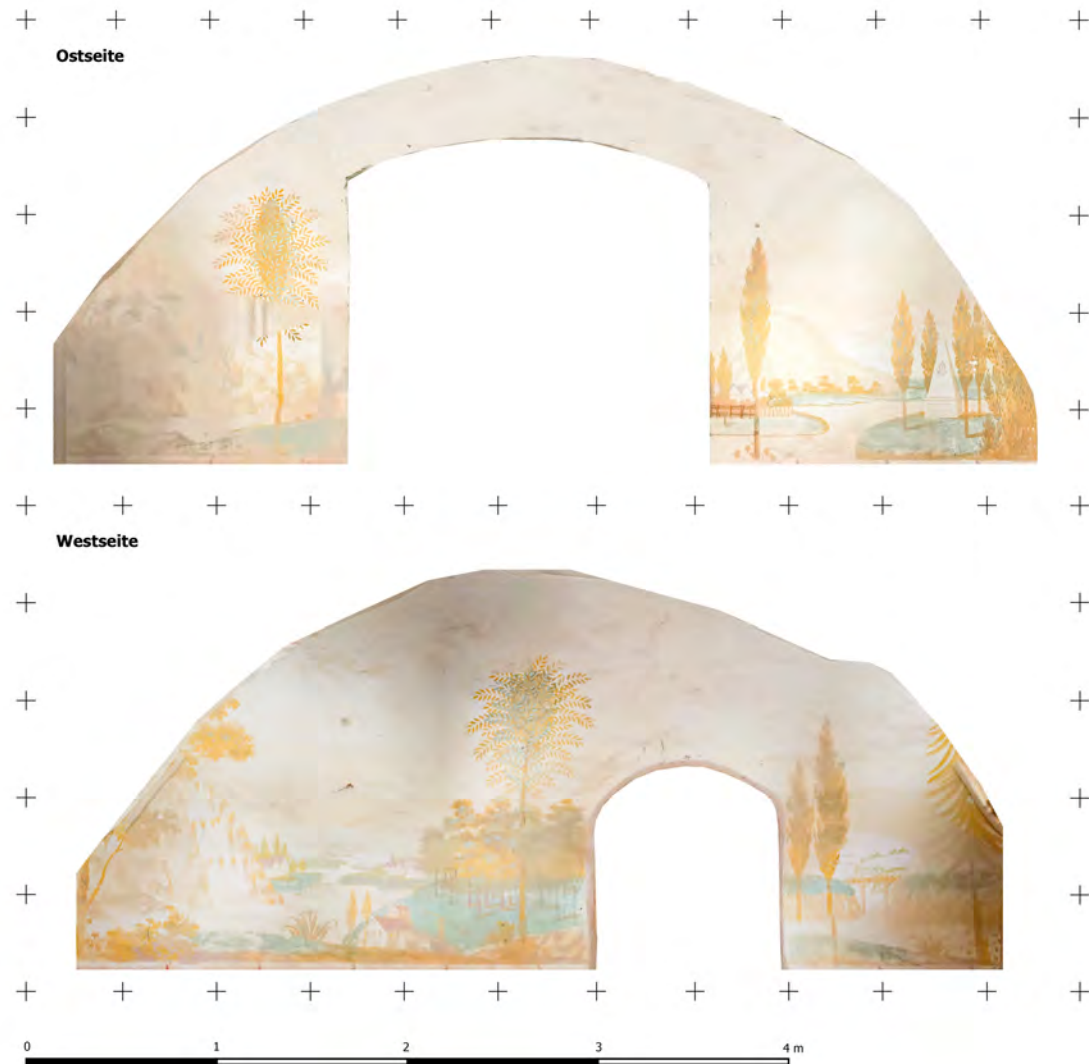


Abbildung D.6.: Orthografische Ansichten des Theatersaals (2/2).

Engelstein | Heizraum, 2. Stock

Orthografische Ansicht: Innenraum
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026

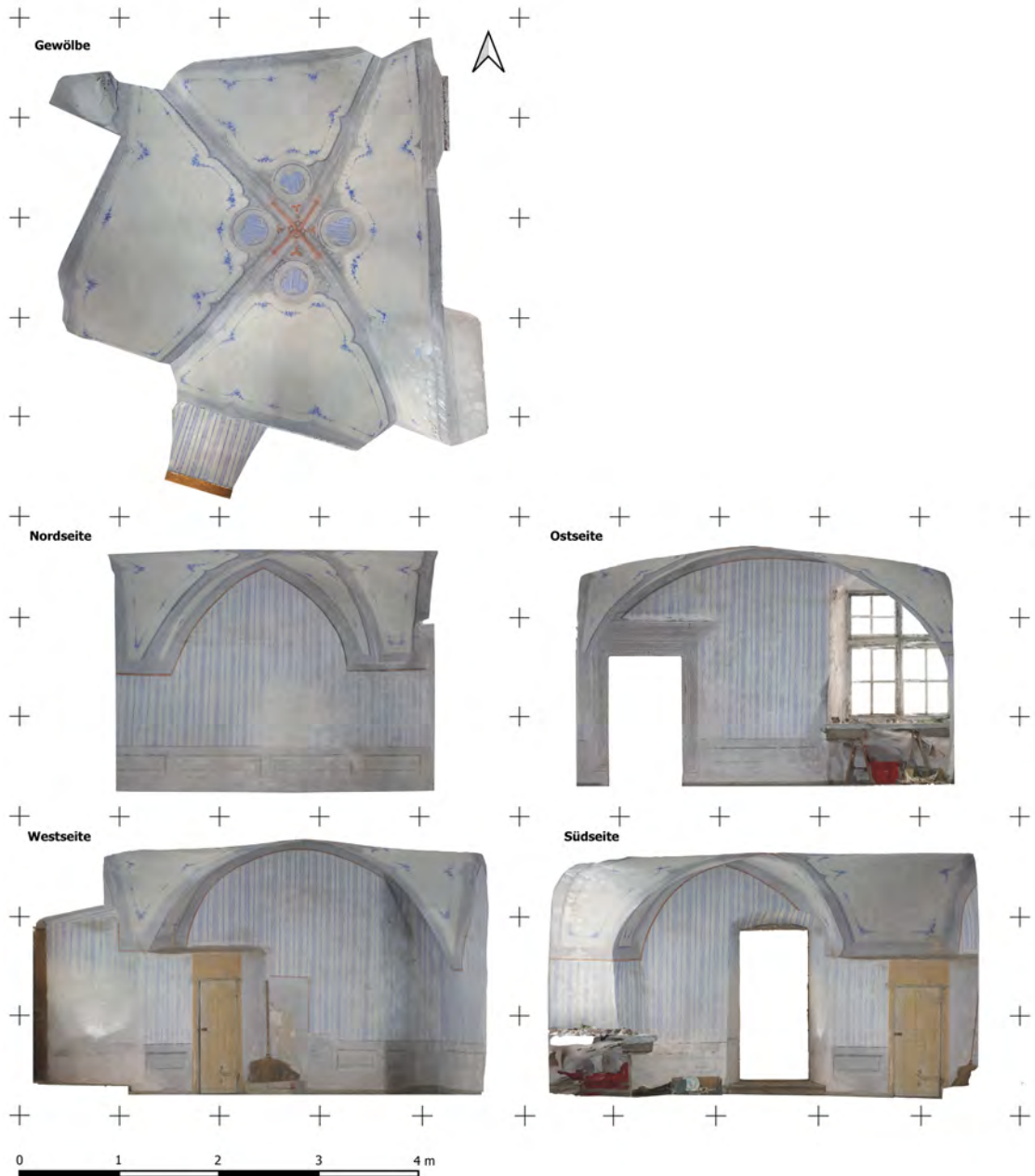


Abbildung D.7.: Orthografische Ansichten des Heizraums.

Engelstein | Dachgeschoss, Freskensaal Ost

Orthografische Ansicht: Innenmauer
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Nordseite (1/2)



Nordseite (2/2)

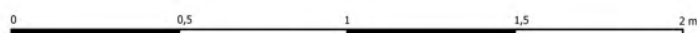
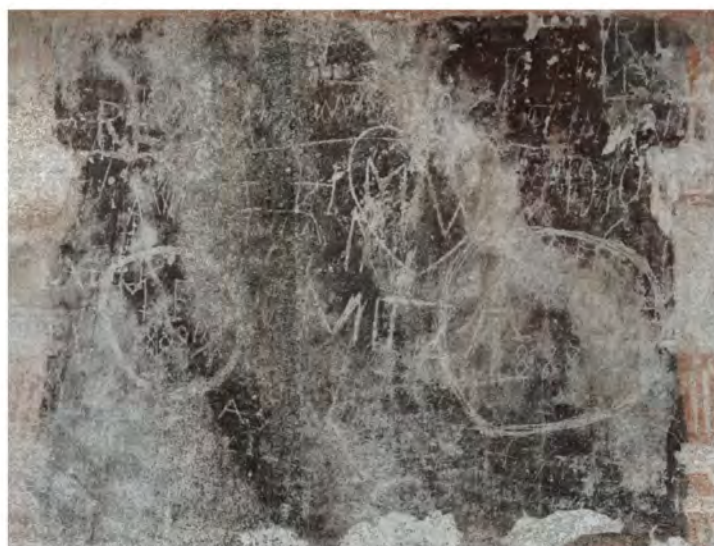


Abbildung D.8.: Orthografische Ansichten des Freskensaals (Nordseite).

Engelstein | Dachgeschoss, Freskensaal Ost

Orthografische Ansicht: Innenmauer
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.9.: Orthografische Ansichten des Freskensaals (Ostseite).

Enzesfeld | Speisezimmer

Orthografische Ansicht: Kassettendecke
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.10.: Orthografische Ansicht der Kassettendecke.

Enzesfeld und Engelstein | Speisezimmer und Rittersaal

Orthografische Ansicht: Portal
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.11.: Orthografische Ansicht des Eingangsportale: Enzesfeld und Engelstein.

Engelstein | Schlosskapelle (1/2)

Orthografische Ansicht: Hochaltar
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.12.: Orthografische Ansicht des Hochaltars.

Engelstein | Schlosskapelle (2/2)

Orthografische Ansicht: Südwand
Erstellt mit Metashape, Nachbearbeitung in Adobe Illustrator
(c) Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung D.13.: Orthografische Ansicht der Kapelle (Südwand).

E. Geschosspläne

Nr.	Feature	Visualisierung	Auflösung (px)
1	alle Stockwerke	X-Ray View	4000 x 2654
2	Erdgeschoss	X-Ray View	4000 x 2654
3	1. Obergeschoss	X-Ray View	4000 x 2654
4	2. Obergeschoss	X-Ray View	4000 x 2654
5	3. Obergeschoss	X-Ray View	4000 x 2654

Tabelle E.1.: Auflistung der erstellten Geschosspläne.

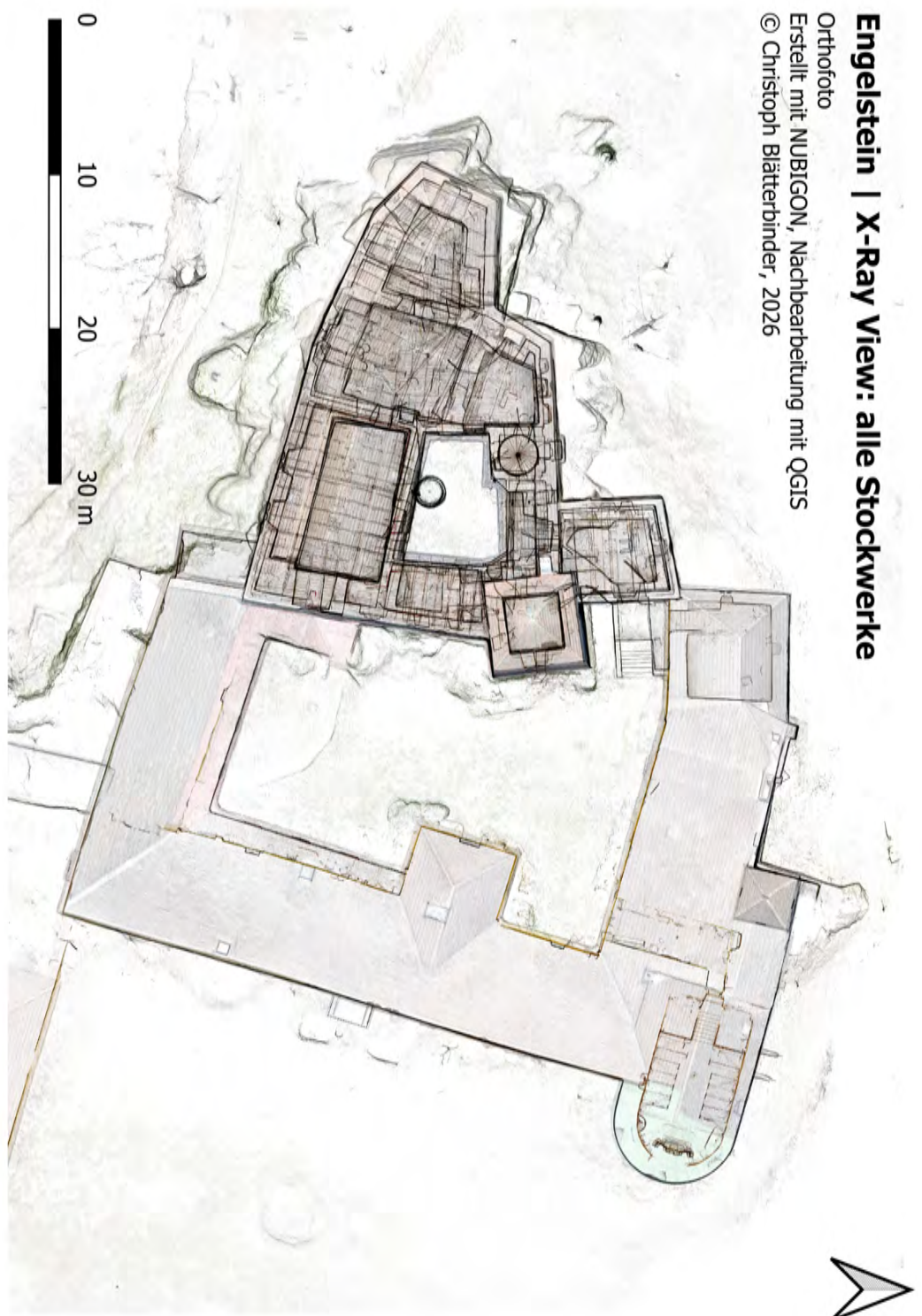


Abbildung E.1.: X-Ray View aller Stockwerke.

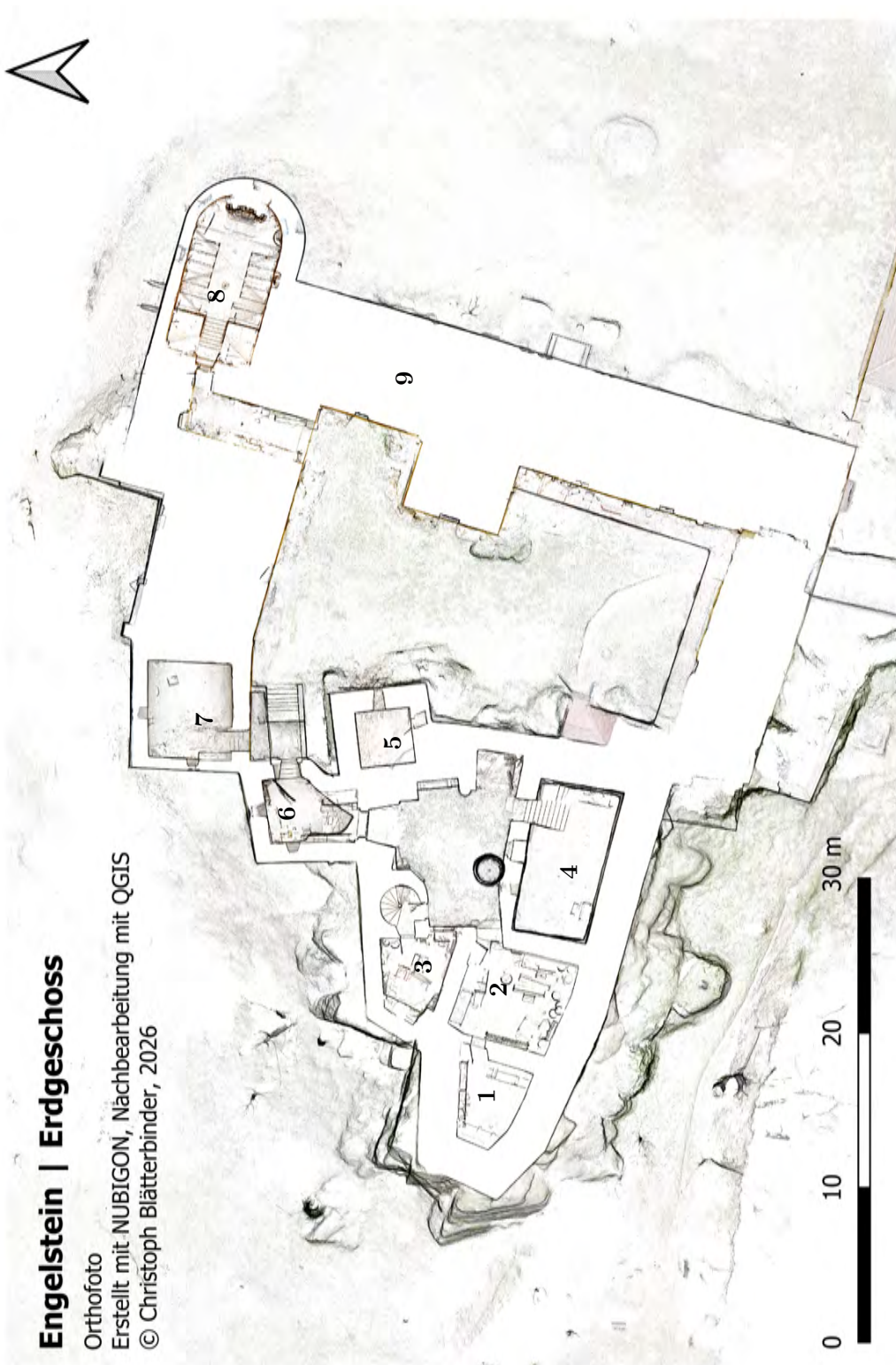


Abbildung E.2.: X-Ray View des Erdgeschosses: Lagerräume (1 und 2); Küche (3); Keller (4 und 7); Bergfried (5); Torhaus (6); Kapelle (8); Schlosstrakt (9).

Engelstein | 1. OG

Orthofoto

Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS

© Christoph Blätterbinder, 2026



Abbildung E.3.: X-Ray View des 1. Obergeschosses: Heizraum (3), Theatersaal (4), Torwart (6), Bergfried (7); Kapelle (8); Schlosstrakt (9).

Engelstein | 2. OG

Orthofoto
Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS
© Christoph Blätterbinder, 2026

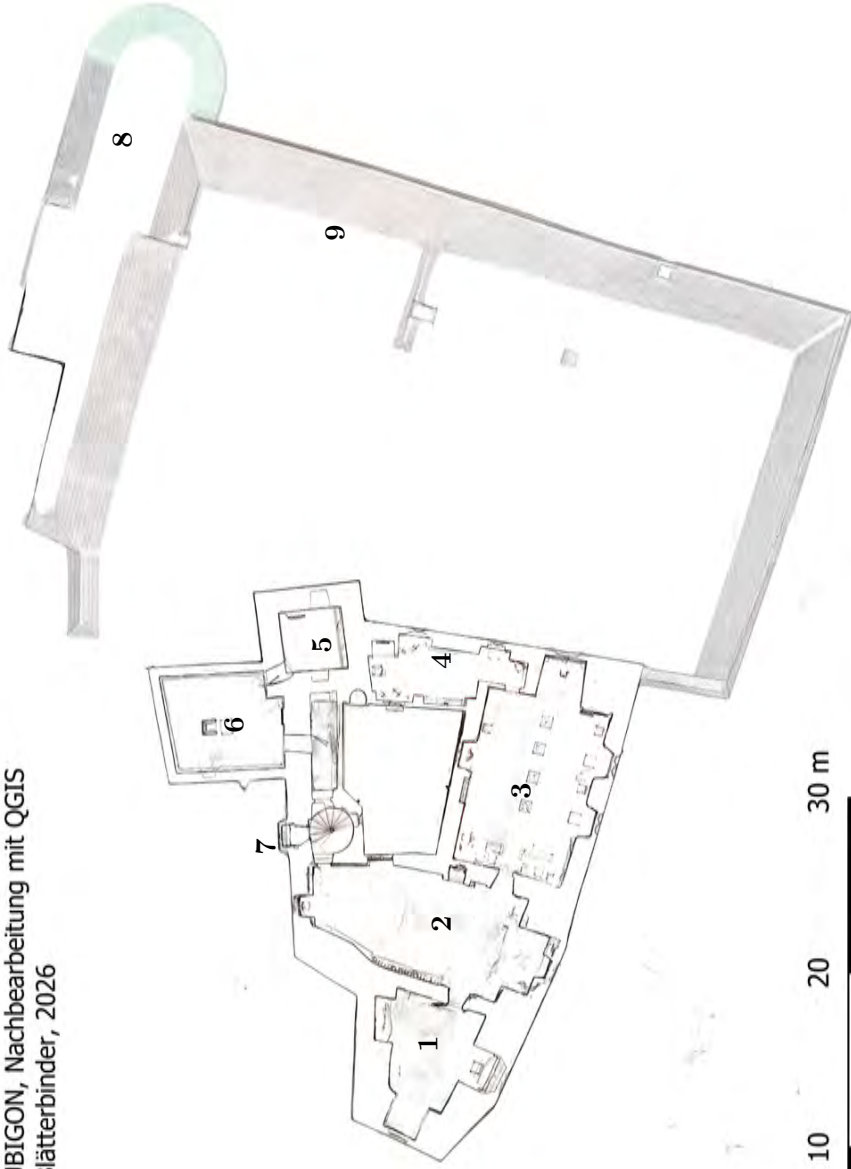


Abbildung E.4.: X-Ray View des zweiten Obergeschosses: Gerichtssaal und Nebenraum (1 und 2), Rittersaal (3), Kemenate (4); Bergfried (5); Torhaus (6); Abort (7); Kapelle (8).

Engelstein | 3. OG

Orthofoto

Erstellt mit NUBIGON, Nachbearbeitung mit QGIS

© Christoph Blätterbinder, 2026

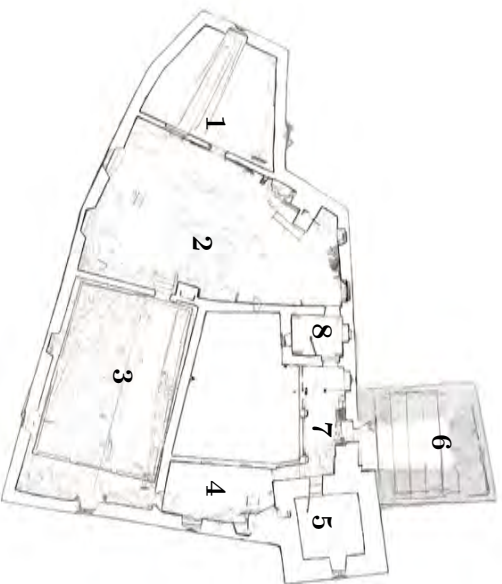


Abbildung E.5.: X-Ray View des dritten Obergeschosses: Nebenraum (1), Freskensaal (2 und 3), Galerie Dachgeschoss (4); Bergfried (5), Dachgeschoss Torwart (6); Galerie (7); Stiegenhaus (8); Uhrturm (9).