

Heft 100

Neubiberg, 2024

H. Heister, W. Liebl, M. Stephani [Hrsg.]

Dokumentation geodätischer und
photogrammetrischer Arbeiten
in Resafa / Sergiupolis, Syrien
im Zeitraum 2000 – 2010

SCHRIFTENREIHE



INSTITUT FÜR GEODÄSIE

der Bundeswehr
Universität München

The logo of the University of Munich, featuring a stylized profile of a head with a crown, positioned between the words 'Universität' and 'München'.

Heft 100

Neubiberg, 2024

Dokumentation geodätischer und
photogrammetrischer Arbeiten
in Resafa / Sergiupolis, Syrien
im Zeitraum 2000 – 2010

Herausgegeben von

H. Heister, W. Liebl, M. Stephani

SCHRIFTENREIHE



INSTITUT FÜR GEODÄSIE

der Bundeswehr
Universität  **München**

Herausgeber der Schriftenreihe:

Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg

Bezugsnachweis:

Universität der Bundeswehr München

Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Institut für Geodäsie

D - 85577 Neubiberg

ISSN 0173 – 1009

<https://www.unibw.de/geodaesie/schriftenreihe>

Vorwort der Herausgeber

Im Jahre 1999 kam in einem Gespräch mit dem damaligen Grabungsleiter der Ruinenstadt *Resafa, Syrien* und langjährigen Direktor der Außenstelle des Deutschen Archäologischen Instituts in *Damaskus*, Thilo Ulbert, der Gedanke auf, den Ursachen des permanenten Zerfalls der Basilika A auch durch Deformationsmessungen nachzugehen. Dies war der Beginn einer langjährigen Zusammenarbeit, die ab 2006 durch die Nachfolgerin Dorothee Sack von der Technischen Universität in Berlin fortgesetzt wurde. Anfangs standen geodätische Präzisionsmessungen im Vordergrund, wobei durch den technologischen Fortschritt in der Instrumentenentwicklung mehr und mehr neueste Instrumente eingesetzt und unter den extremen Umweltbedingungen, wie Temperaturen bis zu über 40°C, Sandstürme, praxisnah erprobt werden konnten. Nicht nur automatisierte Tachymeter und Digitalnivelliere haben sich bei diesen Messeinsätzen in Handhabung und Genauigkeit bewährt, sondern auch das relativ neue Messverfahren des terrestrischen Laserscannings (TLS). Gerade letztere Messmethode, die 2006 erstmals in *Resafa* eingesetzt wurde, ermöglichte in relativ kurzer Zeit eine detaillierte und genaue geometrische Erfassung der antiken Bauwerke. Zusätzlich kam noch die digitale Photogrammetrie zum Einsatz, um zum einen die unvermeidlichen Lücken beim TLS zu schließen, zum anderen die georeferenzierten 3D-Modelle der antiken Bauwerke durch ihre Textur zu ergänzen. Hierzu wurden damals erste Wege in der gemeinsamen Verarbeitung von Punktwolken beschritten, generiert durch digitale Stereoaufnahmen und TLS. Insgesamt konnte in den fünf Messkampagnen umfangreiches Daten- und Bildmaterial von den antiken Bauwerken zur Bestandsdokumentation erzeugt und archiviert werden, das durch die kriegerischen Aktivitäten der ISIS in dieser Region besondere Bedeutung erlangt hat.

Danken möchten die Herausgeber besonders den beiden Grabungsleitern Th. Ulbert und D. Sack für die Möglichkeit, an diesem interessanten Projekt mitarbeiten zu können, aber auch für die finanzielle Unterstützung sowie die Bereitstellung von Unterkünften und Verpflegung vor Ort, eine nicht leichte Aufgabe in dieser kargen Wüstenregion. Dank gebührt auch dem ganzen archäologischen Team vor Ort für die angenehme Zusammenarbeit und letztlich unseren Diplomanden und Mitarbeitern für den unermüdlichen Einsatz, auch unter widrigen Umständen die vorgegebenen Arbeitsziele zu erreichen. Schließlich möchten wir auch dem Institut für Geodäsie der UniBwM für die instrumentelle und personelle Unterstützung sowie für die Möglichkeit der Veröffentlichung und Dokumentation der umfangreichen Messergebnisse unseren aufrichtigen Dank aussprechen.

Neubiberg, im November 2024

H. Heister, W. Liebl und M. Stephani

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
<i>Stephani M. u. Heister H.</i>	
1.1 Geschichtliche Entwicklung von Resafa	1
1.2 Forschungsgeschichte	3
1.3 Bisherige geodätische Arbeiten	6
1.4 Geodätische Arbeiten ab 2000	8
2. Neue geodätische Grundlagen	11
<i>Heister H.</i>	
2.1 Das Resafa – Bezugssystem GKS02	11
2.2 Beziehungen zwischen den Bezugssystemen Resafa LKS77 und dem neuen System Resafa GKS02	17
2.3 Praktische Nutzung von Resafa GKS02 mit Hilfe des lokalen DGPS	17
3. Deformationsmessungen an der Basilika A	20
<i>Heister H., Kowoll D., Liebl W., Lindemann S., Schulz Th., Stephani M., Sternberg A.</i>	
3.1 Konzeption und Messmethoden	21
3.2 Die Messkampagne im Jahre 2002 – „Nullmessung“	23
3.2.1 Vermarkung	25
3.2.2 Das Präzisions-Nivellement	27
3.2.3 Tachymetrische Messungen	29
3.2.4 GPS – Messungen	32
3.2.5 Tachymeter-Scan der kleinen Arkadenbögen	34
3.2.6 Auswertung und Ergebnisse	35
3.3 Die Messkampagne im Jahre 2006	39
3.3.1 Überprüfung der Punktvermarkungen vom Jahre 2002	40
3.3.2 Tachymetrische Messungen	41

3.3.3 Das Präzisions-Nivellement (1. Wiederholungsmessung)	43
3.3.4 Das terrestrische Laserscanning (TLS)	44
3.3.5 Auswertung und Ergebnisse	45
3.4 Diskussion möglicher Deformationen	49
3.4.1 Deformationsanalyse	50
3.4.2 Nachweis von Deformationen mit Hilfe von TLS	54
3.5 Modellierung der Weitarkaden aus TLS Messungen	61
4. 3D-Bestandsdokumentation ausgewählter Objekte in Resafa	65
4.1 Basilika A (Messkampagne 2006 und 2007) <i>Heister H., Kowoll D., Liebl W., Nichelmann K., Stephani M., Sternberg A.</i>	66
4.1.1 Messmethode und Konzeption	66
4.1.2 Durchführung der Messungen mit TLS	67
4.1.3 Auswertung der Laserscans und digitales, georeferenziertes 3D-Modell der Basilika A	70
4.1.4 Abgeleitete geometrische Informationen	72
4.1.5 Schlussfolgerungen und Ausblick	74
4.2 Zentralbau (Messkampagne 2008) <i>Heister H., Liebl W., Sternberg A., Stephani M.</i>	75
4.2.1 Messmethode und Konzeption	75
4.2.2 Durchführung der Messungen	78
4.2.3 Auswertung und digitales, georeferenziertes 3D-Modell des Zentralbaus	83
4.3 Die historische Stadtmauer vom Osttor bis zum Kurtinenabschnitt 15, sowie Einzelobjekte (Messkampagne 2010) <i>Heister H., Liebl W., Sternberg A., Krause M., Priebus Chr.</i>	85
4.3.1 Messmethode und vorbereitende Arbeiten	86
4.3.2 Durchführung der TLS- Messungen und erste Ergebnisse	89
4.3.3 Laserscans der Türme 23, 29, 36 und des Westtores (32)	98
4.4 Große Zisterne (Messkampagne 2010) <i>Heister H., Liebl W., Sternberg A., Krause M., Priebus Chr.</i>	100
4.4.1 Durchführung der TLS-Messungen	101

4.4.2 Volumenbestimmung	104
4.5 Bestandsdokumentation Basilika B und Basilika C (Messkampagne 2010)	107
4.6 Ringpolygonzug um die Stadtmauer von Resafa (Messkampagne 2006)	108
5. Terrestrisch-photogrammetrische Arbeiten von 2006 – 2010	111
<i>Stephani M., Heister H., Kowoll D., Liebl W., Lopens T., Nichelmann K., Sternberg A.</i>	
5.1 Photogrammetrische Aufnahme der Basilika A im Jahre 2006	112
5.1.1 Kombination von Laserscanning und photogrammetrischer Aufnahme am Beispiel der Basilika A, (Messkampagne 2006)	114
5.1.2 Ergänzende photogrammetrische Aufnahme und 3D-Modellierung der Basilika A (Messkampagne 2007)	117
5.1.3 Erzeugung eines verbesserten 3D-Oberflächenmodells mit Hilfe von Stereo-Aufnahmen (Messkampagne 2007)	124
5.2 Weitere Erfahrungen bei der Zusammenführung von Punktwolken generiert durch Laserscanning und photogrammetrischen Stereo-Aufnahmen (Messkampagne 2010)	127
6. Zusammenfassung und abschließende Bewertung	130
<i>Heister H., Liebl W., Stephani M.</i>	
7. Nachweis der Abbildungen und Tabellen	135
8. Literaturverzeichnis	143
9. Anhang I	149
Tabellen u. ergänzende Angaben	
10. Anhang II	173
Reiseberichte	

1. Einführung

Stephani M. u. Heister H.

Die Ruinenstadt *Resafa* liegt im nördlichen Teil der syrischen Wüste, etwa 30 km südlich der Euphrat Fernstraße *Aleppo - Ar Raqqah*. Die Koordinaten im WGS84 sind 35° 37' 44.44" N, 38° 45' 28.63" E (s. Abb. 1.1)



Abb. 1.1 Karte von Syrien

1.1 Geschichtliche Entwicklung von Resafa

In römischer Zeit lag der Ort auf der *Strata Diocletiana*, einer Militär- und Karawanenstraße, die am Ende des 3. Jahrhunderts n. Chr. errichtet wurde und die den *Limes Arabicus* bildete, einer 1500 km langen Verteidigungslinie des römischen Reiches. Sie bestand nicht aus einer durchgehenden Befestigungslinie sondern aus einzelnen Befestigungsanlagen wie Kastelle, Türme oder gar Legionärslager, die im Abstand von ca. 30 römischen Meilen (ca. 44km) errichtet wurden. Diese sogenannten *burgi* weisen entsprechend ihrer militärischen Bedeutung und Funktion sowie aus strategischen, topographischen und klimatischen Gründen unterschiedliche konstruktive Besonderheiten auf (KONRAD 2001). Die *Diocletiana* verband das Legionärslager *Sura* am Euphrat über *Resafa* und *Palmyra* mit *Damaskus* und weiter mit dem

Legionärslager *Bostra*, heute eine Kleinstadt etwa 140 km südlich von Damaskus. Zusätzlich wurde das noch vorhandene Straßensystem von Kaiser Diokletian (284 – 305 n. Chr.) wieder instandgesetzt und durch neue Heerstraßen ergänzt. Die Errichtung von großen Wasserzisternen und von Meilensteinen zur leichteren Orientierung ermöglichten einen wirkungsvollen Einsatz der in den neuen Kastellen stationierten Grenztruppen. Diese östliche Grenze der römischen Provinz *Syria* diente der Abwehr von Angriffen der *Parther* und später insbesondere der *Sassaniden*.

Die Expansion des römischen Reiches nach Osten fand nicht nur ohne kriegerische Konflikte statt, sondern bewirkte auch eine religiöse Auseinandersetzung zwischen der polytheistischen Religion der Römer mit ihrem starken Bezug auf den Kaiser und den monotheistischen Vorstellungen, wie sie im jüdischen und christlichen Glauben verwurzelt waren. Besonders im syrischen Raum entstanden dabei außergewöhnliche Formen der christlichen Verehrung, wie z.B. die der *Styliten* (Säulenheilige) sowie eine ausgeprägte `Märtyrer` Tradition. Für *Resafa* ist ein Soldat der römischen Grenztruppen, der frühchristliche Märtyrer *Sergios*, überliefert, der gefoltert und vor den Toren *Resafas* hingerichtet wurde (302 n. Chr.). Dadurch wurde im weiteren Verlauf *Resafa* zu einem der größten frühchristlichen Pilgerzentren, wobei die Stadt den Namen *Resafa / Sergiupolis* erhielt. Mit dem zunehmenden Strom der Pilger zum Grab des Märtyrers *Sergios* entstanden in der Folge bedeutende frühchristliche Kirchenbauten, deren wichtigste heute als *Basiliken A, B und C* sowie als *Zentralbau* angesprochen werden (s. Abb. 1.3). Auch die Erweiterung und Befestigung der Stadt mit Toren und Mauerzügen erreichte in frühchristlich-byzantinischer Zeit einen bedeutenden Umfang (KARNAPP 1976). Die Entwicklung des frühen Christentums im Osten des Römischen Weltreiches wurde durch seine Teilung unter die Nachfolger Diokletians in einen oströmischen Teil mit der Hauptstadt *Konstantinopel* und einen weströmischen Teil mit *Rom* als Hauptstadt, beeinflusst. Schließlich wird unter Konstantin dem Großen (306 – 337 n. Chr.) das Christentum zur Staatsreligion. Für *Resafa* bedeutet dies zweifellos ein wirtschaftliches und gleichzeitig religiös verbundenes Aufblühen. Die Stadt wird durch eine Stadtmauer mit vier monumentalen Toren befestigt und die notwendige städtische Infrastruktur für die wachsende Bevölkerung, z.B. mit Kirchen, öffentlichen Gebäuden und Zisternen ausgebaut.

Nur kurze Zeit später begegnet uns in *Resafa* als dritte Weltreligion der frühe Islam. Intra muros befindet sich doch, angelehnt an den Weitarkadenbau der *Basilika A*, also in zentraler Lage, eine frühe Moschee (SACK 1996). Zwischen ihr und der christlichen Basilika bestand sogar ein

direkter Zugang zum Grab des Märtyrers *Sergios*, was ein bezeichnendes Bild auf das frühe, friedliche Zusammenleben von Christen und Muslimen wirft, residierten doch der christliche Metropolit und der islamische Mufti in unmittelbarer Nachbarschaft. Da einer der frühen umayyadischen Kalifen, Hišām Abd al-Malik (724–743 n. Chr.), der aus der Umgebung von *Resafa* stammte und als Erbauer der Großen Moschee in *Resafa* gilt, gab es auch schon immer die Vermutung, dass es besonders extra muros noch weitere bauliche Reste aus seiner Zeit geben müsste.

Die Entwicklung *Resafas* wird ursächlich durch die Mongoleneinfälle um 1240 schlagartig beendet. Teils wurde die Bevölkerung durch den Einfall vernichtet, teils hat sie die Stadt verlassen. *Resafa* versinkt für Jahrhunderte in die Bedeutungslosigkeit. Nach ihrer Zerstörung im 13. Jahrhundert ragen heute die aus Gipsstein errichteten meterhohen Überreste von Stadtmauer, Türmen und Toren imposant aus der flachen Wüstenlandschaft hervor (s. Abb. 1.2).



Abb. 1.2 Ansicht von Resafa, Aquarell von J., Walter Karnapp (in Privatbesitz)

1.2 Forschungsgeschichte

Erste Forschungsarbeiten begannen im frühen 20. Jahrhundert, als F. SARRE und E. HERZFELD sowie A. MUSIL und H. SPANNER während ihrer „*Archäologischen Reise im Euphrat und Tigris Gebiet*“, durch Zeichnungen und Photographien auf die Denkmäler *Resafas* aufmerksam

machten. Vor allem aber wurde die Wiederentdeckung *Resafas* von deutschen Archäologen seit den 1950er Jahren vorangetrieben.

Als einer der Ersten, der ein Projekt organisierte, ist A. M. SCHNEIDER zu nennen. Er hatte nach einem Survey zusammen J. KOLLWITZ und K. OTTO-DORN im Jahre 1951 gehofft, eine bedeutende syrische Stadt aufdecken zu können. Auf der Anreise nach *Resafa* im Jahre 1952 verstarb A.M. SCHNEIDER unerwartet. J. KOLLWITZ übernahm daraufhin die ersten Ausgrabungen von *Resafa*, während sich K. OTTO-DORN den islamischen Denkmälern extra muros widmete (M. MACKENSEN u.a. 1989). Eine intensivere archäologische Erforschung *Resafas* setzte dann mit J. KOLLWITZ ein, welcher zwischen 1954 und 1956 die *Basilika B* untersuchte (KOLLWITZ 1957). MÜLLER-WIENER ergänzte diese Arbeiten durch eine erste Vermessung der Areale der *Basiliken A* und *B*. Ab 1956 rückte die dritte Kirche, der sog. *Zentralbau*, in den Fokus der Forscher. W. KARNAPP arbeitete an einer Wohnanlage der Nordtorstraße (KARNAPP 1978) und beschäftigte sich auch intensiv mit der Stadtmauer (KARNAPP 1976). Von ihm stammt auch ein erster Plan des gesamten Stadtareals (s. Abb. 1.3). Schließlich, wie bereits erwähnt, erweiterte K. OTTO-DORN die Arbeiten auf ein Gebiet außerhalb der Stadtmauern aus.

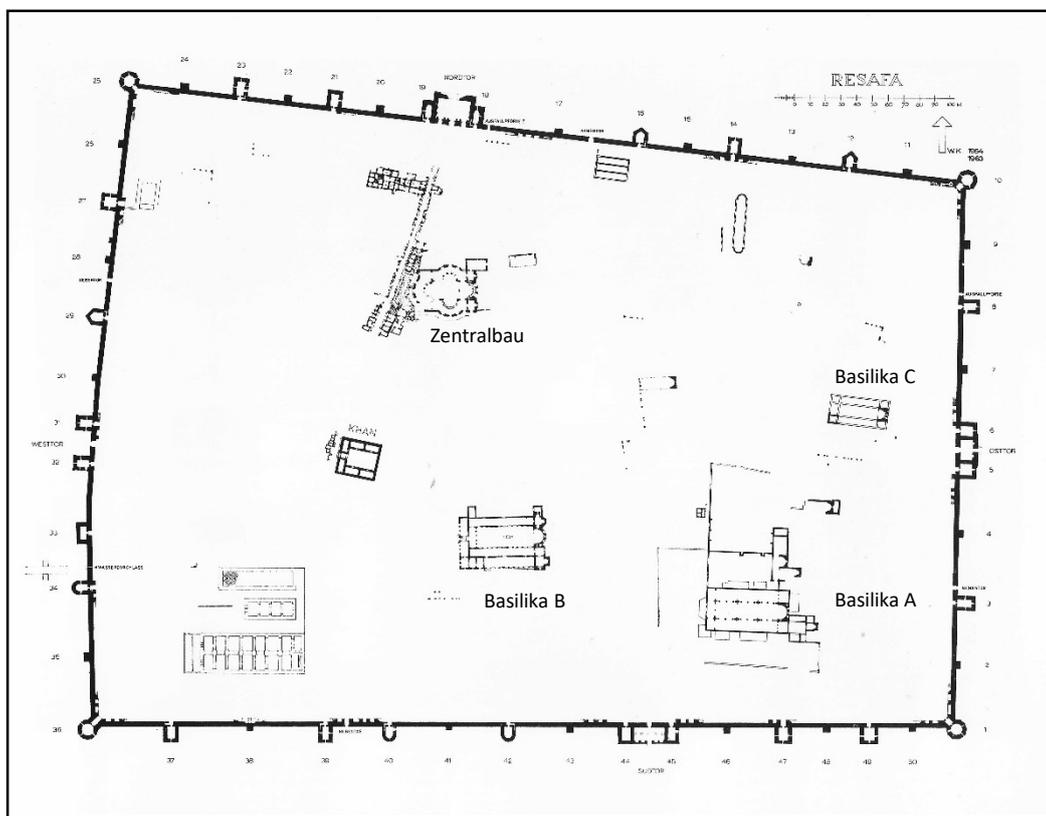


Abb. 1.3 Stadtplan von *Resafa*, Karnapp 1963

Mit TH. ULBERT, dem langjährigen Direktor der Außenstelle des Deutschen Archäologischen Instituts in *Damaskus*, beginnt 1975 eine bedeutende Phase und fruchtbare Forschung vor Ort, zunächst mit einem umfassenden Survey in der Stadt und ihrem Umland. Dieser Survey ging der Frage nach, wo genau das römische Reiterkastell zu lokalisieren ist, welches als die Keimzelle *Resafas* betrachtet wird. Den Survey begleitete auch H. TREMEL, ein Geodät des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München, der in wenigen Wochen erste geodätische Grundlagen schuf (s. Kap. 1.3). ULBERT's besonderes Interesse galt jedoch der monumentalen und am besten erhaltenen *Basilika A*. Seine ausgedehnten und systematischen Forschungen in mehrjährigen Kampagnen zwischen 1976 und 1982 wurden ein Schwerpunkt der Aktivitäten der Außenstelle *Damaskus* des DAI, die er als Direktor über viele Jahre leitete. Die Ergebnisse der von ULBERT umfassend dokumentierten *Basilika A* finden sich in dem zweiten Band der Resafa Publikationsreihe des deutschen Archäologischen Instituts, Berlin (ULBERT 1986). An den Kampagnen ULBERT's in *Resafa* waren viele junge Mitarbeiter unterschiedlicher Fachrichtungen beteiligt, so auch bereits der Archäologe M. MACKENSEN sowie zwei weitere Mitarbeiterinnen, die Archäologin M. KONRAD und die Architektin D. SACK, die im weiteren Verlauf ebenfalls wichtige und umfangreiche Beiträge zum Gesamtvorhaben „*Resafa* und Umgebung“ geleistet haben. Letztere widmete sich insbesondere der Große Moschee von „*Resafa-Rusafat Hisham*“; ihre Arbeiten wurden 1996 als Band Resafa IV publiziert (SACK 1996). Dieser Bau, umayyadischen Ursprungs, durchschneidet den Peristylhof der Kirche im Norden und steht Wand an Wand mit der *Basilika A* bis in die Mitte des 13. Jahrhunderts. Seit 1998 war SACK ordentliche Professorin an der Technischen Universität Berlin und bis September 2014 Leiterin des neu eingerichteten Fachgebiets Historische Bauforschung.

Mit der Erforschung der *Basilika B* (s. Abb. 1.3), einschließlich deren Vorläuferbauten, die nachweislich als erste die Martyrien des *Sergios* beherbergten, beschäftigte sich ab April 1989 M. KONRAD (KONRAD, 1992), die auch ab 2013 bis 2020 die wissenschaftliche Leitung des Resafa-Vorhabens des DAI fachkundig fortführte. Ein Ergebnis der Grabungen, das allerdings noch einer unabhängigen Bestätigung bedarf, ist die Lokalisierung des römischen Reiterkastells „intra muros“. KONRAD untersuchte auch die Nekropole vor dem *Nordtor Resafas*, auf deren Areal sich ein weiterer Großbau, der sog. *Al-Mundir*-Bau befindet. Ihre Forschungsergebnisse wurden zusammen mit TH. ULBERT, der sich auch dem *Al-Mundir-Bau* sowie der kleineren *Basilika C Resafas* widmete, in dem Band Resafa VII veröffentlicht (ULBERT, 2016).

1.3 Bisherige geodätische Arbeiten

Der Survey von TH. ULBERT 1975 wurde wie bereits erwähnt von H. TREMEL begleitet, ein Geodät des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. TREMEL schuf in wenigen Wochen ein reines Richtungsnetz, dem er durch Messung einer Basis einen zuverlässigen Maßstab gab. Daran schloss er etliche Polygonzüge zur Erfassung des nördlichen und südlichen Umlandes an. Hiermit wurde zum ersten Male ein lokales Koordinatensystem definiert, im Folgenden bezeichnet als *Resafa LKS77* (s. Anhang I, Tab. I.1). TREMEL erstellte auch einen Schichtlinienplan *intra muros*, der auf Geländepunkten an der vielfach gestörten Oberfläche basiert. Man muss davon ausgehen, dass die antike Topographie durch ein stärkeres Gefälle von Ost nach West gekennzeichnet war. Die rezente Oberfläche ist das Ergebnis der unterschiedlichen, späteren Besiedlungen und der durch die Bautätigkeit und zahlreichen Raubgrabungen zusammenhängenden Verlagerung von Schutt-schichten im Laufe der Jahrhunderte.

Die Zusammenarbeit von M. MACKENSEN mit H. TREMEL ergab auch die noch lange verwendete Übersicht der archäologisch relevanten Fundplätze *extra muros*. Wenn auch damals das Reiterkastell nicht lokalisiert werden konnte, berichtete MACKENSEN in dem Band *Resafa I* im Detail über seine Grabungen am Fundplatz FP1 und die Ergebnisse des ersten umfassenden Surveys (MACKENSEN, 1984).

Wie bereits dargelegt, lag ULBERT's Interesse vorrangig an der monumentalen und am besten erhaltenen *Basilika A*. Auf ihn geht auch die Teilnahme von zwei Photogrammetern, nämlich A. GRÜN und L. MAUELSHAGEN, zurück, womit eine weitere Vermessungsmethode in *Resafa* erfolgreich etabliert wurde. A. GRÜN, ehemals Assistent am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Kartographie der Technische Universität München, dokumentierte einen großen Teil der Fassaden der *Basilika A* photogrammetrisch (GRÜN u. MAUELSHAGEN 1978). L. MAUELSHAGEN, seinerseits Mitarbeiter am Lehrstuhl für Photogrammetrie der Universität Bonn, widmete sich zusätzlich der photogrammetrischen Dokumentation des sog. *Al-Mundir* Baus, der zu der Zeit noch relativ wenig erforscht war. Die Ergebnisse der photogrammetrischen Arbeiten von GRÜN und MAUELSHAGEN einschließlich der Auswertung aller Stereobildpaare erfolgte am Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität München und dem Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn auf verzugsfreiem Karton in Bleistift. Mit Hilfe der vor Ort durch räumliche Vorwärtsschnitte bestimmten Passpunkte wurden die Auswertungen zu vollständigen

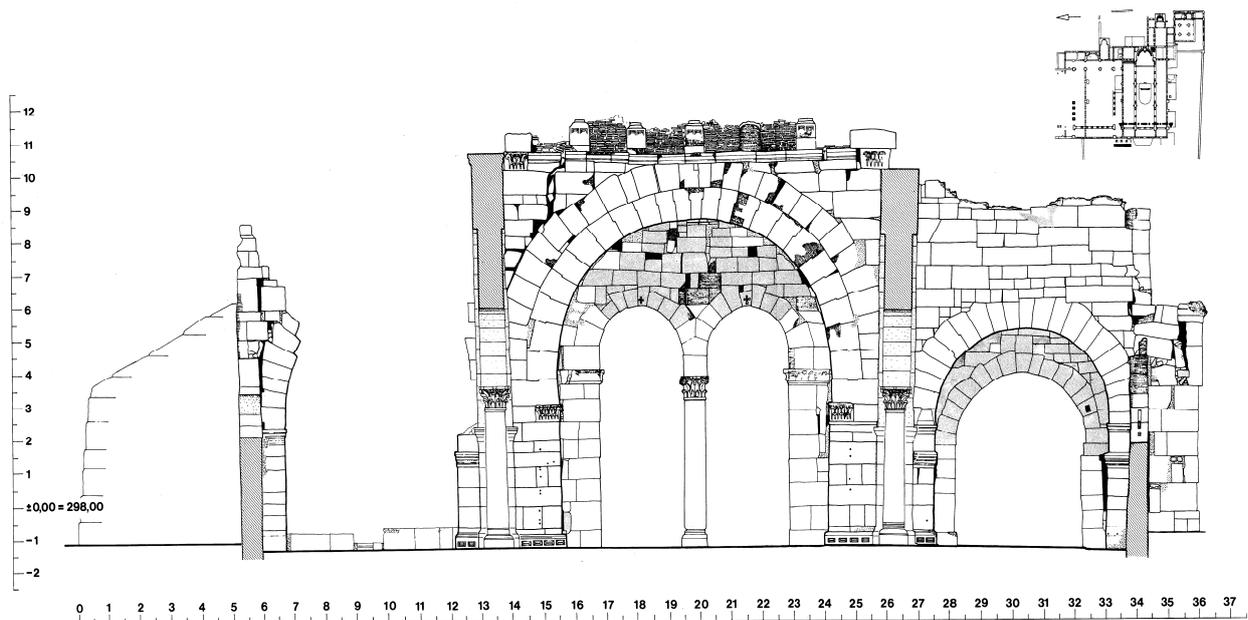


Abb. 1.4 Resafa Basilika A, Innere Westwand (Digitalisierter Fassadenplan)

Fassadenplänen zusammengefügt und in Tusche umgezeichnet (s. Abb. 1.4). Diese Zeichnungen wurden auf eine gemeinsame Ausgangshöhe bezogen und so in dem bereits erwähnten zweiten Band der *Resafa* Publikationsreihe des deutschen Archäologischen Instituts, Berlin publiziert (ULBERT 1986, vergl. dort besonders die Tafeln im Anhang). Sie sind damit eine erste Dokumentation des Erhaltungszustandes der BASILIKA A, die auf exakten geodätischen und photogrammetrischen Messungen beruht. Leider sind von dieser richtungweisenden Kampagne nur noch die originalen Photographien (Glasplatten) erhalten. Die Unterlagen zur Beobachtung und Berechnung der Passpunkte im System *Resafa LKS77* sind ebenso verschollen wie die genaue Lage der Passpunkte in den Bildern.

Im Herbst 1997 fanden auf Anregung vom M. STEPHANI, Technische Universität München, erste „Magnetik-Testmessungen“ am Fundplatz FP143 statt, die in Zusammenhang mit digitalen Geländemodellen ein vielversprechendes Ergebnis aufzeigten (SACK 2004). In der Folge wurden für weitere sieben Fundplätze im südlichen Umland *Resafas* fein strukturierte lokale Geländemodelle erstellt und gleichzeitig die dazugehörige Magnetik von den Geophysikern W. BECKER, C. SCHWEITZER UND J. FASSBINDER erfasst. Um die Lage dieser Aktivitäten in ihrem Zusammenwirken noch besser darstellen zu können, wurde außerdem ein „Bildflug“ geplant, dessen unerwartete Realisierung 1999 gelang. Auf diese Weise hatten nicht nur Digitale Geländemodelle und Luftbilder Einzug in die Erfassungsverfahren von *Resafa* gehalten,

sondern auch die ebenfalls nicht destruktiven Methoden der Geophysik, wie Magnetik und elektrische Widerstandsmessung (BECKER 1999).

Auf Anregung ULBERT's besuchte K. NOHLEN, Architekt und Bauforscher an der Fachhochschule Wiesbaden, *Resafa* im April/Mai 1997 und erstellte auf Grund einer intensiven örtlichen Begehung von Schadensbildern ein umfassendes Gutachten (NOHLEN 1997) zum damaligen Zustand und gab erste grundsätzliche Empfehlungen zur Sicherung der *Basilika A*. Das Gutachten war auch Gegenstand einer Erörterung unterschiedlicher Experten am 14. Januar 1999 in Wiesbaden, an dem auch die Herausgeber dieses Heftes H. HEISTER und M. STEPHANI teilnahmen. Neben verschiedenen Fragen zum Baumaterial der *Basilika A* und zu den Schadensursachen wurden auch Probleme der Konservierung und der Standfestigkeit von den anwesenden Fachleuten angesprochen. Im Protokoll zu dieser Sitzung wurde festgehalten, dass „eine Begehung des Geländes und Autopsie des Gebäudes“ durch Fachleute vor einem Eingriff in die Substanz unerlässlich ist. Hierzu wurde von H. HEISTER, Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, vorgeschlagen, ein Konzept für ein geodätisches Monitoring zur Standfestigkeit der *Basilika A* zu erarbeiten.

1.4 Geodätische Arbeiten ab 2000

Seit der Anlage des TREMEL-Netzes 1975 hatten sich sowohl das geodätische Instrumentarium als auch die Messmethoden rasant weiterentwickelt, wodurch es möglich wurde, neue Konzepte für die anstehenden Überwachungsmessungen mit hoher Genauigkeit und unter den gegebenen örtlich schwierigen Bedingungen umzusetzen. Während TREMEL noch mit einem optisch-mechanischen Theodoliten die Richtungen auf den Netzstandpunkten maß, seine Beobachtungen noch in Tabellen der Standpunkte vor Ort notierte, die Koordinaten des Netzes trigonometrisch bestimmte und die Polygonzugsseiten mit dem Maßband erfasste - eine Orientierung erfolgte astronomisch - standen nun elektronische Geräte zur Verfügung, mit denen man Richtungen und Schrägstrecken gleichermaßen - teilweise reflektorlos - messen und im Gerät speichern konnte. Besonders zu erwähnen ist der Einsatz von GPS, der nun eine absolute Orientierung und Positionierung (Georeferenzierung) ermöglichte. Auch die Theorie der räumlichen Netze und Deformationsanalyse war durch die Entwicklung der digitalen Datenverarbeitung Standard im Auswerteprozess geworden. So konnten nun durch die überschüssigen Beobachtungen nicht nur die Koordinaten der Punkte, sondern auch deren

Genauigkeitsmaße und eventuell auch signifikante Veränderungen berechnet bzw. statistisch nachgewiesen werden.

Auf Anregung ULBERT'S fand im Mai / Juni 2000 zusammen mit HEISTER und weiteren Experten eine Erkundungsreise nach *Resafa* statt, die zum Ziel hatte, ein Sanierungskonzept einschließlich eines Vorschlages für ein Monitoring möglicher baulicher Veränderungen der *Basilika A* zu erarbeiten, s.a. Kap. 3.1, (HEISTER 2000).

Nach Entschluss ULBERT'S, das Vermessungskonzept umzusetzen, stand zunächst die Untersuchung der Standfestigkeit der *Basilika A* im Vordergrund. Ziel der ersten Messkampagne von 2002 war es, eine hochpräzise Nullmessung durchzuführen, um später signifikante Setzungen nachweisen zu können.

Nach dem Wechsel in der Verantwortung der Aktivitäten in *Resafa* auf D. SACK im Jahre 2006 wurden weitere 4 Messkampagnen unter der Leitung von H. HEISTER durchgeführt, die letzte kriegsbedingt im Jahre 2010.

Durch Einführung des zunehmend in der geodätischen Praxis eingesetzten 3D Messverfahrens des **Terrestrischen Laser Scannings** (TLS), gewann außer dem Monitoring auch die digitale Bestandsdokumentation besondere Bedeutung, die sich dann neben der *Basilika A* auf zahlreiche andere *antike Bauwerke* einschließlich der monumentalen *Stadtmauer* erstreckte. Verbunden mit dem Einsatz von TLS war auch die erneute Anwendung der digitalen terrestrischen Photogrammetrie. Eine Kombination der beiden Messverfahren ermöglichte nämlich, zusätzliche Informationen über nicht einsehbare Bereiche und Textur der Oberflächen zu gewinnen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird nun über alle durchgeführten Messkampagnen ausführlich berichtet. Dabei soll einerseits über die geodätischen Messmethoden und Ergebnisse informiert werden, andererseits aber auch exemplarisch die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung des sehr umfangreichen Datenmaterials dargelegt werden. Schließlich wird hierdurch eine zusammenhängende Dokumentation der in den Jahren 2000 bis 2010 vom Institut für Geodäsie der UniBwM durchgeführten geodätischen Arbeiten erreicht.

Wie bereits erwähnt hat der Bürgerkrieg in Syrien, der 2011 mit lokalen Bürgerprotesten in *Damaskus* und *Deraa* aufflammte, eine Zäsur aller Aktivitäten vor Ort bewirkt. Die zu *Resafa* nahe gelegene Provinzhauptstadt *Ar Raqqah*, zwischenzeitlich eine Hochburg der Islamisten, wurde durch die Kämpfe bei der Rückeroberung in erheblichem Umfang zerstört. Die kon-

kreten Auswirkungen der kriegerischen Auseinandersetzungen auf *Resafa* und den *Limes* sind bis heute nur teilweise bekannt und noch nicht dokumentiert.

Ar Raqqa war als nächstgelegene Stadt, immer die „Versorgungsbasis“ aller Teams, die in *Resafa* arbeiteten. Eine geregelte Aufnahme der Arbeiten in *Resafa* und Umgebung war nach mehr als einem Jahrzehnt Bürgerkrieg nicht mehr möglich.

Umso wichtiger wird nun die auf umfangreichem Datenmaterial mögliche schrittweise Aufarbeitung und Publikation der Ergebnisse und Erkenntnisse aller durchgeführten Teilprojekte zu *Resafa* und seinem Umland.

2. Neue geodätische Grundlagen

Heister H.

2.1 Das Resafa – Bezugssystem GKS02

Mit der Aufgabenstellung, für die *Basilika A* ein geodätisches Monitoring durchzuführen, das 1999 von dem damaligen Grabungsleiter T. ULBERT in Erwägung gezogen wurde (s.a. NOHLEN 1999), erhob sich die Frage nach einem geeigneten Koordinatensystem bzw. einer sinnvollen Datumsfestlegung (absolute Lage und Orientierung). Für die bis dahin anfallenden geodätischen und photogrammetrischen Arbeiten waren, wie bereits dargelegt, vorrangig individuelle lokale Koordinatensysteme genutzt worden. Bei der ersten Erkundung zur Planung der Deformationsmessungen durch HEISTER im Jahre 2000 konnte jedoch festgestellt werden, dass das von TREMEL angelegte geodätische Netz mit der Datumsfestlegung *Resafa LKS77* (s. Anhang I, Tab. I.1) nicht mehr genutzt werden konnte. Wesentliche Netzpunkte waren in der Örtlichkeit nicht mehr auffindbar oder konnten nicht mehr rekonstruiert werden. Somit war die Notwendigkeit nach neuen geodätischen Grundlagen, insbesondere eines neuen Referenzsystems, für *alle* geplanten aber auch für *weitere* zukünftige Arbeiten gegeben.

Bei der Festlegung dieses neuen Referenzsystems für *Resafa* waren folgende Vorgaben zu beachten:

- dauerhaft vermarkte Punkte mit hoher Stabilität,
- absolute Festlegung in einem globalen Koordinatensystem und damit die
- Möglichkeit zur genauen Georeferenzierung,
- Eignung als Präzisionskoordinatensystem für die geplanten Deformationsmessungen,
- Einbindung der bisher genutzten lokalen Koordinatensysteme, wie z.B. *Resafa LKS77*.

Zur messtechnischen Festlegung des Referenzsystems wurden 2002 sieben Punkte erkundet und vermarktet (s. Abb. 2.1), die den o.a. Kriterien entsprachen. Um ihre Koordinaten in einem globalen System festlegen zu können, wurde das Messverfahren des GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) gewählt. Hierzu konnten bei der Messkampagne im Jahre 2002 (LINDEMANN U. SCHULZ 2003) zwei Empfänger vom Typ Leica SR530 eingesetzt werden. Diese Zweifrequenz-Empfänger gewährleisteten höchste Genauigkeit sowohl zur absoluten als auch differentiellen Punktbestimmung (DGPS).

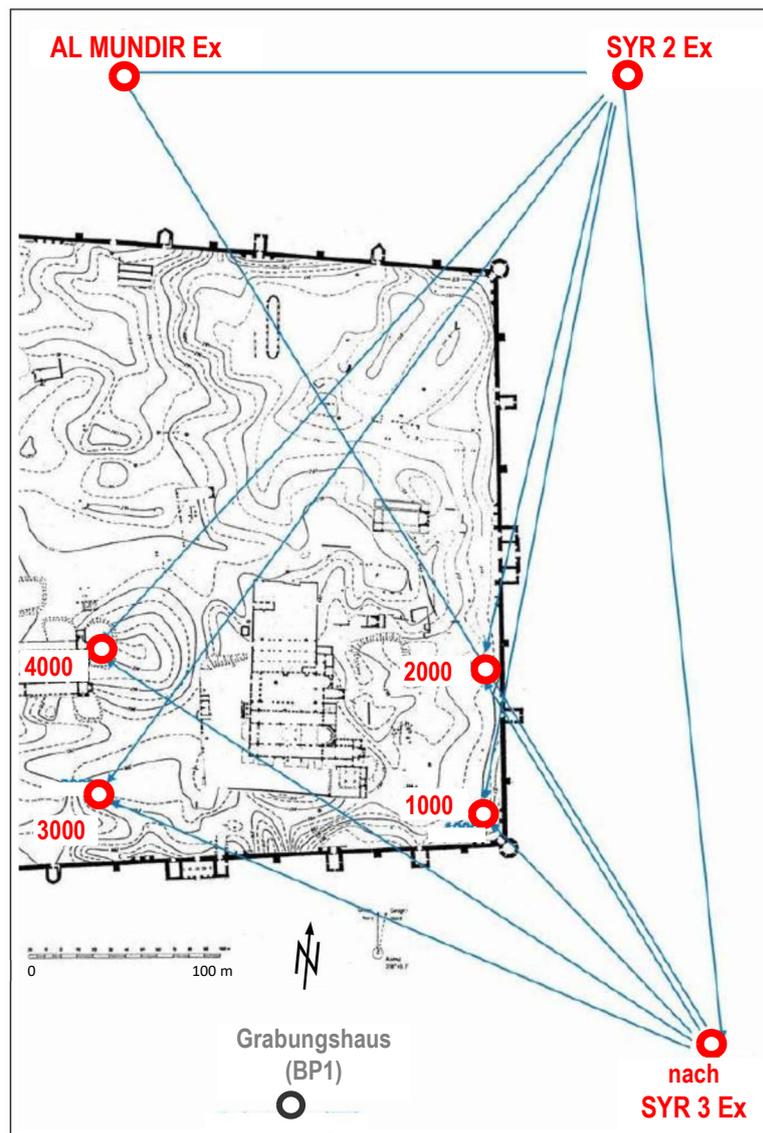


Abb. 2.1 Das durch GPS bestimmte Referenznetz, Messkampagne 2002

Unter den sieben Referenzpunkten konnten zwei Punkte, SYR 2 und SYR 3, ausgewählt werden, die sowohl dem System *LKS77* als auch der syrischen Landesvermessung angehören. Da das Zentrum dieser Punkte zu ungenau für alle hier anfallenden Vermessungsarbeiten definiert ist, wurde auf der gleichen Vermarkung (tief gegründeter, bodengleicher Betonpfeiler) durch eine Messingguss-Messmarke ein genau definiertes Exzentrum (Ex) festgelegt (s. Abb. 2.1 u. 2.2).

Aus GPS-Langzeitbeobachtungen von mehrmals mehr als 24 Stunden wurde zunächst von SYR 2 Ex die absolute Lage im geodätischen Weltkoordinatensystem WGS 84 bestimmt, sowohl als originäre geozentrisch-kartesische Koordinaten X, Y, Z als auch als geographische Koordinaten, Breite B und Länge L sowie die ellipsoidische Höhe h . Der Zusammenhang ist in Abbildung 2.3



Abb. 2.2 Vermarkung des Exzentrums auf SYR 2 (links) und SYR 3 (rechts), Messkampagne 2002

graphisch dargestellt. Das numerische Ergebnis ist in nachfolgender Tabelle 2.1 wiedergegeben. Alle weiteren Punkte des Referenznetzes wurden dann von SYR 2 Ex durch das wesentlich genauere differentielle GPS-Messverfahren (DGPS) bestimmt. Die *absolute, globale* Lage der angegebenen Koordinaten kann dabei mit einer Messunsicherheit von $u(abs) < 0,5$ m abgeschätzt werden.

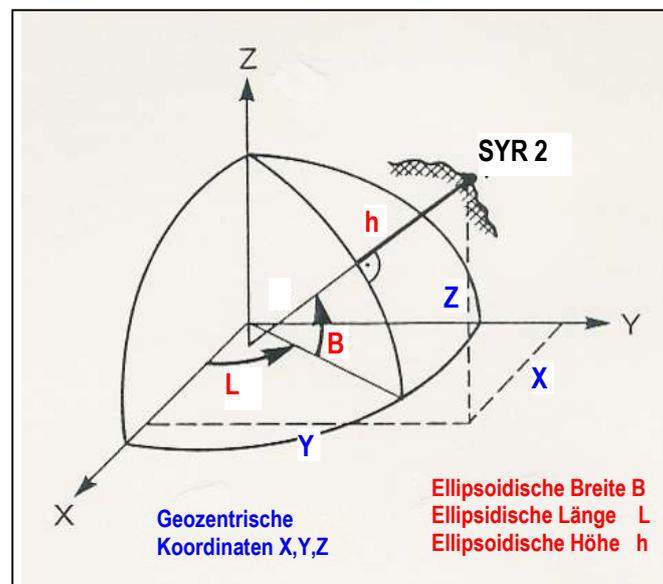


Abb. 2.3 Ellipsoidische und kartesisch-geozentrische Koordinaten

Tab. 2.1 Koordinaten des Referenzpunktes SYR 2 Ex im WGS 84

SYR 2 Ex	X [m]	Y [m]	Z [m]
WGS84 - geozentrisch	4 047 588,6135	3 250 323,6654	3 693 946,5068
	Breite B	Länge L	Höhe h [m]
WGS4 - geographisch	35° 37' 57,51996''	38° 45' 42,01002''	320,4997

Dagegen wurde aus Mehrfachmessungen die durchschnittliche *relative* Lage und Höhe aller Punkte des *Referenznetzes* zueinander mit einer Messunsicherheit $u(B,L) = 3,2$ mm bzw. $u(h) = 5,7$ mm bestimmt. Alle weiteren ermittelten Koordinaten einschließlich ihrer Messunsicherheiten können dem Anhang I, Tabelle I.2 entnommen werden.

Da sich die bisher bestimmten Koordinaten auf das WGS 84 Ellipsoid beziehen und deshalb rechentechnisch schwieriger zu behandeln sind, wird für den weiteren Gebrauch ein verebnetes Koordinatensystem eingeführt, das einerseits für alle Koordinatenberechnungen nur die einfachen Regeln der ebenen Geometrie verlangt, andererseits aber auch genügend Rechenschärfe für alle anstehenden Messaufgaben im Gebiet von *Resafa* vorsieht. Hierzu bietet sich die in der Geodäsie bewährte Gauß-Krüger-Projektion an. Dabei werden die ellipsoidischen Koordinaten so auf eine Zylinderfläche abgebildet, dass sie bei einer Ausdehnung des Messgebietes von ca. 10 km als ebene Koordinaten ohne weitere Korrekturglieder genutzt werden können.

Tab. 2.2 Parameter der Gauß-Krüger-Projektion

Parameter	Wert
WGS 84 Ellipsoid gr. Halbachse	a = 6 378 137 m
WGS 84 Ellipsoid kl. Halbachse	b = 6 356 752 m
Maßstab im Zentralmeridian	1, 000 047 08
Bezugshöhe	300,000 00 m
Zonenbreite	3° 00' 00,000 00''
Zentraler Ostwert	500 000,0000 m
Ursprung Nordwert	0,0000 m
Ursprung Breite	0° 00' 00,000 00'' N
Zentralmeridian	39° 00' 00,0000'' O

Für *Resafa* wurde ein spezielles Gauß-Krüger-Koordinatensystem definiert mit der Besonderheit, dass der Maßstab im Zentralmeridian auf das Höhenniveau des Referenzpunktes SYR 2 Ex bezogen wurde. Die daraus resultierenden Projektionsparameter sind in der Tabelle 2.2 zusammengestellt.

Diese Vorgehensweise hat für die Praxis den entscheidenden Vorteil, dass alle Strecken, die aus Koordinaten berechnet werden, direkt in die Örtlichkeit übertragen werden können, bzw. in der Örtlichkeit gemessene Strecken ohne Reduktionen zur Koordinatenberechnung verwendet werden können.

Die Bezugshöhe für die Projektion wurde aus der ellipsoidischen Höhe h des Referenzpunktes SYR 2 Ex abgeleitet. Da die Gebrauchshöhen in der Regel orthometrische (nivellitische) Höhen sind und sich somit auf das Geoid beziehen, muss die in Tabelle 2.1 angegebene ellipsoidische Höhe h um die Differenzhöhe zwischen Geoid und WGS 84-Ellipsoid (Geoidundulation) korrigiert werden (s. Abb. 2.5). Für den Punkt SYR 2 Ex berechnet sich dieser Wert zu $N = 23,886$ m (s.a. Quelle [2]). Somit konnte unter Berücksichtigung aller Messunsicherheiten die Bezugshöhe in SYR 2 Ex mit $H = 300,00$ m festgelegt werden. Dieses so im Jahre **2002** definierte globale **Gauß- Krüger-Koordinaten-System** wird im Folgenden mit *Resafa GKS02* bezeichnet. In diesem System erhält der Referenzpunkt die in Tabelle 2.3 wiedergegebenen Koordinaten.

Tab. 2.3 Globale Gauß-Krüger-Koordinaten des Referenzpunktes SYR 2 Ex im GKS02

SYR 2 Ex	Rechts y [m]	Hoch x [m]	Höhe H [m]
Gauß-Krüger-WGS84 GKS02	13 478 410,9847	3 944 994,3921	300,000 00

Da die durch DGPS bestimmten Höhendifferenzen eine Messunsicherheit von nur ca. 6 mm aufweisen, wurden alle Punkte zur Genauigkeitssteigerung durch ein aufwendiges Präzisions-Nivellement verbunden (s. Abb. 2.4). Hierzu wurde das digitale Präzisions-Nivellier Leica NA3003 eingesetzt. Die Messunsicherheit konnte somit auf wenige zehntel Millimeter verbessert werden. In der Tabelle 2. 4 sind neben den Gauß-Krüger-Koordinaten aller weiteren Punkte des Referenznetzes auch die orthometrischen (nivellitischen) Höhen sowie zur Beschreibung ihrer Messunsicherheiten die Standardabweichungen zusammengestellt.

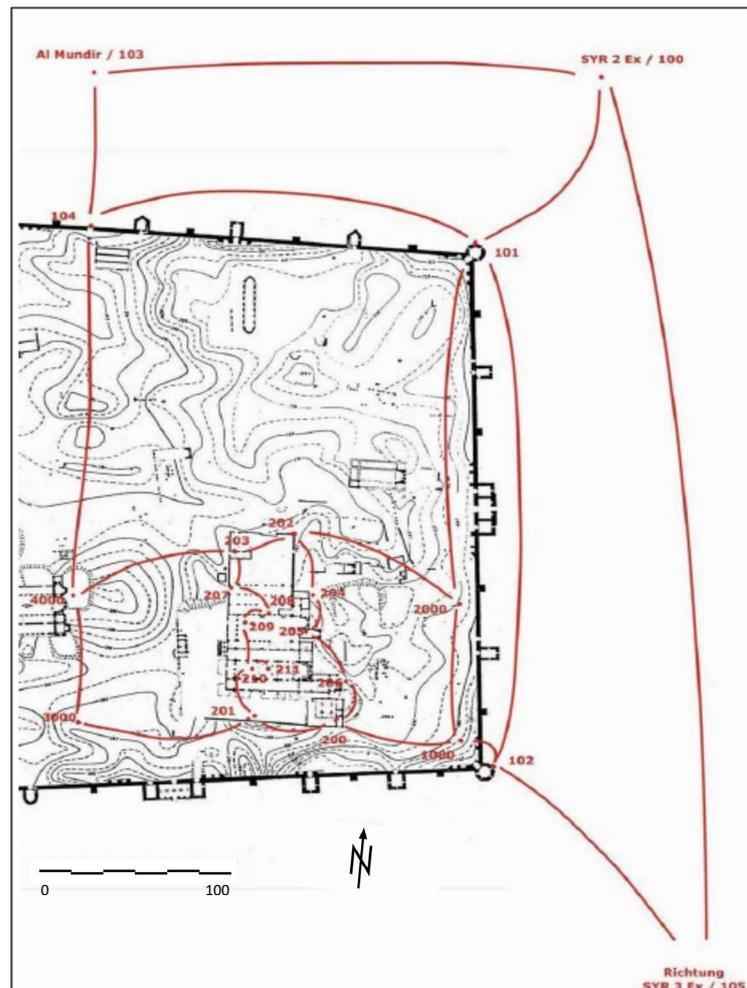


Abb. 2.4 Präzisions-Nivellement der Referenzpunkte, Messkampagne 2002

Tab. 2.4 Endgültige Koordinaten und Höhen der Referenzpunkte im *Resafa GKS02*

Punkt Nr.	Rechtswert y[m]	Hochwert x[m]	Niv.-Höhe H[m]	s(x) [mm]	s(y) [mm]	s(H) [mm]
SYR 2 Ex	13 478 410,984 7	3 944 994,392 1	300,000 0	1,0	1,4	0,3
SYR 2	410,914 2	3 944 994,587 0	-	2,3	2,7	-
SYR 3 Ex	745,862 9	3 943 293,151 2	304,381 1	1,0	1,5	0,6
SYR 3	745,663 9	3 943 293,165 2	-	2,3	3,0	-
Al Mundir	122,223 2	3 944 970,449 0	295,289 0	1,5	2,2	0,3
1000	345,777 0	3 944 437,961 8	301,185 6	2,3	3,6	0,1
2000	349,907 3	3 944 536,712 0	299,476 5	2,2	3,1	0,2
3000	106,176 3	3 944 458,810 3	296,646 6	1,5	2,3	0,2
4000	107,430 5	3 944 536,109 2	298,636 1	1,3	2,0	0,2

2.2 Beziehungen zwischen den Bezugssystemen Resafa LKS77 und dem neuen System Resafa GKS02

Neben den präzise definierten und neu vermarkten Punkten SYR 2 Ex und SYR 3 Ex wurden auch die Zentren der alten Punkte SYR 2 und SYR 3 der syrischen Landesvermessung im *Resafa GKS02* koordiniert. Da diese auch bei den geodätischen Arbeiten von Tremel berücksichtigt wurden und somit im *Resafa LKS77* vorliegen, ist eine Transformation der Koordinaten (nur in der Lage x,y) aller im *LKS77* bestimmten Punkte in das neue System *Resafa GKS02* möglich. Wie bereits erwähnt, konnten die Zentren von SYR 2 und SYR 3 nur mit ca. ± 3 cm realisiert werden. Somit sind auch die Transformation und die neu berechneten Koordinaten entsprechend unsicher. Leider waren zum Zeitpunkt der ersten Messkampagne 2002 keine weiteren Punkte des alten Triangulationsnetzes von TREMEL aufzufinden, um die Transformation zu stabilisieren. Die Transformationsparameter vom *LKS77* in das neue *GKS02* sind der Tabelle 2.5 zu entnehmen, die Rechenvorschrift und die neuen Koordinaten im *GKS02* sowie weitere der durch TREMEL vermarkten bzw. genutzten Punkte sind in Anhang I, Tabelle I.3 angeführt.

Tab. 2.5 Koordinaten-Transformationsparameter von *Resafa LKS77* nach *Resafa GKS02*

Drehwinkel	Maßstab	Parameter A ₀	Parameter B ₀	Parameter A ₁	Parameter B ₁
- 1,128 039 7 °	0,999 840	13 477 300,307	3 943 439,475	0,999 645 92	- 0,019 683 21

2.3 Praktische Nutzung von Resafa GKS02 mit Hilfe des lokalen DGPS

Um auf einfache Weise Vermessungspunkte oder auch Objekte, wie Fundstellen im *Resafa GKS02* zu koordinieren, bot sich das Verfahren des Differentiellen GPS (DGPS) an. Dazu ist es notwendig, auf einem geeigneten Punkt – vorzugsweise des Referenznetzes – eine Basis-Station zu betreiben. Alle weiteren Koordinaten können dann mit Hilfe eines zweiten Empfängersystems, dem Rover, über eine Funkverbindung im realtime Modus koordiniert werden.

Da die Basisstation aber aus praktischen Gründen so festgelegt wurde, damit sie unbeaufsichtigt über einen ganzen Arbeitstag – oder auch länger – betrieben werden kann, wurden drei Punkte ausgewählt und in direkter Verbindung zum Referenznetz neu bestimmt. Basispunkt BP 01 wurde in der Messkampagne 2002 auf dem Dach des Grabungshauses (über

der Küche) vermarktet und über präzise terrestrische Messungen direkt an das Referenznetz angeschlossen. Die Basispunkte BP 02 und BP 03 wurden in der Messkampagne 2006 (KOWOLL u. STERNBERG 2007) bestimmt und befinden sich zum einen im DAI-Gelände auf dem Dach der Sanitäranlage zum anderen auf der Schule im Dorf. Alle Punkte haben den Vorteil, dass man die GPS-Basis-Station unbeaufsichtigt betreiben kann und in der Lage ist, über eine entsprechende Funkverbindung im gesamten Grabungsgebiet in und um *Resafa* realtime GPS-Punktbestimmungen im Koordinatensystem *Resafa GKS02* durchzuführen.

Die Koordinaten dieser drei Punkte sind in Tabelle 2.6, die Parameter der Bursa-Wolf Transformation in Tabelle 2.7 zusammengestellt.

Tab. 2.6 Koordinaten der DGPS-Basisstationen im GKS02

Bezeichnung	Interne Pkt.-Nr.	Rechtswert y[m]	Hochwert X[m]	Höhe H[m]
BP 01 Grabungshaus	122	13 478 223,018	3944 271,899	304,347 5
BP 02 Mistauda	120	13 478 249,696	3 944 248,099	302,521 3
BP 03 Schule	121	13 478 350,691	3 944 068,960	302,677 8

Tab. 2.7 Transformationsparameter WGS 84 nach *Resafa GKS02* (Lokales DGPS)

Translation dX [m]	Translation dY [m]	Translation dZ [m]	Drehwinkel X ["]	Drehwinkel Y ["]	Drehwinkel Z ["]	Maßstab ppm
16,6422	60,7933	-72,3670	-2,33041533	1,80278650	0,97967382	-3,155562

Für alle weiteren vermessungstechnischen Arbeiten sollten diese Vorgaben verwendet werden, damit eine möglichst homogene Koordinatenbestimmung langfristig erreicht wird.

Wie bereits oben erwähnt, werden durch GPS ellipsoidische Höhen h bestimmt und somit auch durch DGPS differentielle ellipsoidische Höhenunterschiede $dh = \Delta$. Wie der graphischen Darstellung (s. Abb. 2.5) zu entnehmen ist, können nur dann diese „GPS-Höhen“ genähert als nivellitische Höhen betrachtet werden, wenn die Differenz ΔN der Geoidundulationen N geringfügig wird.

Berechnungen ergeben für diese Region ein maximales ΔN pro km Messentfernung von 1,6 cm (Quelle [2]). Dies bedeutet, dass im Genauigkeitsrahmen von DGPS die Höhenbestimmung über kleinere Entfernungen ($< 1\text{ km}$) der durch ein Ingenieur-Nivellement gleichgesetzt werden

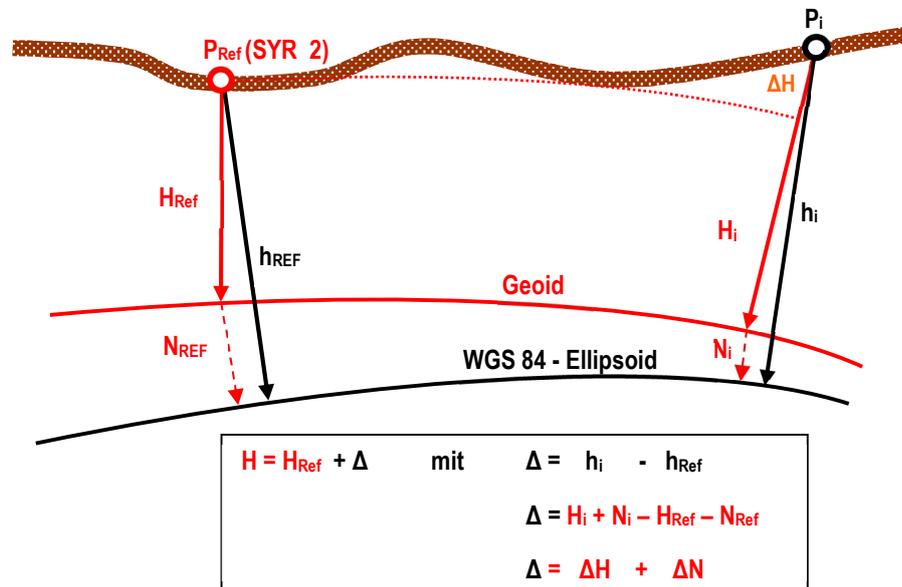


Abb. 2.5 GPS- und nivellitische Höhen

kann. Über größere Distanzen muss bzw. kann dann der Einfluss von ΔN bis zu 5 km Messentfernung linear extrapoliert oder besser über Quelle [2] als Korrektur berechnet werden.

3. Deformationsmessungen an der Basilika A

Heister H., Kowoll D., Liebl W., Lindemann S., Schulz Th., Stephani M., Sternberg A.

Wie bereits erwähnt, fand auf Einladung des damaligen Grabungsleiters von *Resafa*, T. ULBERT, am 14. Januar 1999 ein Expertentreffen an der Fachhochschule Wiesbaden statt, mit dem Ziel das weitere „Vorgehen zur Klärung der Schadensursachen“ festzulegen. Hierbei wurde auch beschlossen, an der Basilika A (s. Abb. 3.1) hochpräzise geodätische Deformationsmessungen durchzuführen, um Ursachen und zeitlichen Verlauf der starken Setzungen des Untergrundes zu erkunden. Da man die Notwendigkeit erkannte, dass diese Messungen über einen längeren Zeitraum durchzuführen sind, um signifikante Aussagen machen zu können, wurde bereits damals die Möglichkeit diskutiert, die von A. GRÜN und L. MAUELSHAGEN 1976 und 1977 (GRÜN U. MAUELSHAGEN 1978) erstellten photogrammetrischen Aufnahmen zum Vergleich heranzuziehen, um den Beobachtungszeitraum „rückwärts“ zu vergrößern (NOHLEN 1999). Auf Grundlage dieses Beschlusses fand vom 28.05. bis 04.06.2000 durch H. HEISTER, Universität der Bundeswehr München, eine erste Erkundungsreise nach *Resafa* statt, um Möglichkeiten und Vorgehensweise zu den geforderten geodätischen Messungen zu erkunden. Das hieraus resultierende erste Konzept ist nachfolgend kurz dargestellt.



Abb. 3.1 Basilika A, Resafa (Ansicht von NW, 2006)

3.1 Konzeption und Messmethoden

Aufgrund des allgemeinen Zustandes der *Basilika A* wurden geodätische Messungen zur Überwachung von Höhen- und Lageänderungen notwendig, wobei besonderes Gewicht auf die Höhenänderungen zu legen war, da diese die stärksten Gebäudeschäden verursacht hatten. Ein Grund hierfür mag die geologische Situation sein, eine Gipskarstlandschaft, in der typische Erdfälle und dolinenartige Senken vorherrschen, wie sie auch im Bereich der *Basilika A* zu beobachten sind (s. „Fault“ in Abb. 3.2).

Die Zielsetzungen der notwendigen Präzisionsmessungen können wie nachfolgend zusammengefasst werden:

- Beobachtung und Detektion signifikanter Deformationen an der Basilika A;
- Überwachung von Bewegungen des Untergrundes im Umfeld der Basilika A, insbesondere östlich und westlich der „Fault“;
- Integration bereits vorher durchgeführter Messungen.

Hieraus leitet sich folgender Beobachtungsplan ab, der mehrere sequentielle Arbeitsschritte beinhaltet:

- a) Erkundung und Beobachtung eines lokalen Mikro-GPS-Netzes, mit ca. 4-5 Stationen westlich und östlich der Basilika A (rote Punkte in Abb.3.2). Zusätzlich ist dann das Mikro-GPS-Netz an das übergeordnete und außerhalb der Stadt liegende Referenznetz mit den Punkten SYR 2 und SYR 3 der syrischen Landesvermessung einzubinden.

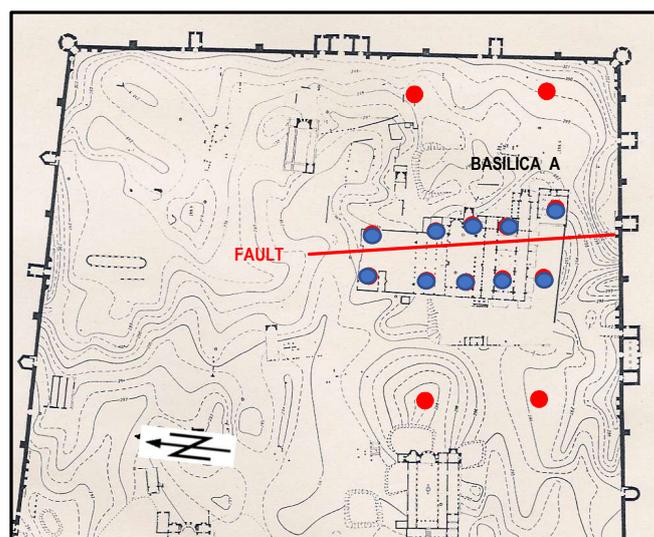


Abb. 3.2 Schematisches Mikro-Netz in Bereich der Basilika A

b) Zusätzliche Punkte innerhalb und im näheren Umfeld aber auch außerhalb der Basilika A, ergänzen das Mikro-GPS-Netz (blaue Punkte in Abb. 3.2).

Zusammen ca. 16 dauerhaft vermarkte Punkte mit einer Genauigkeit (Standardabweichung) in der Lage von $s_p < 5$ mm und in der Höhe von $s_h < 5$ mm.

c) Präzisions-Höhennetz, alle 16 Punkte umfassend und zusätzliche Punkte an allen relevanten Gebäudepunkten wie Stufen, Säulen (unterer Teil des Schaftes bzw. der Basis), Durchgänge u.a.

Eine Abschätzung führte zu ungefähr 65 Höhenpunkten, die mit einer Genauigkeit (Standardabweichung) von $s_H < 0.4$ mm zu bestimmen sind, damit Höhenänderungen bereits ab 1,5 mm signifikant nachgewiesen werden können.

Als Höhenbezug soll die (amtliche) Höhe von SYR 2 herangezogen werden (s.a. Kapitel 2, 2.3).

d) *Konvergenzmessungen* in den Doppelarkaden, da diese besonders sensitiv bei Setzungen des Untergrundes reagieren. Dabei sollte eine Genauigkeit (Standardabweichung) von $s_c < 2$ mm angestrebt werden. Das Prinzip ist aus Abbildung 3.3 zu ersehen.

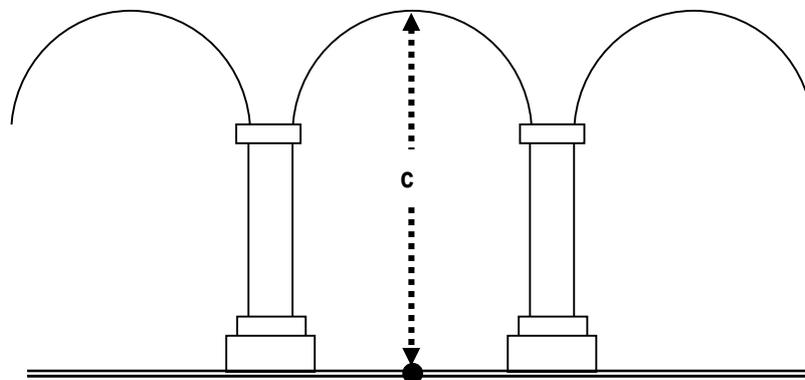


Abb. 3.3 Prinzip der Konvergenzmessungen

e) Formbestimmung (Scannen) der Doppelarkaden durch motorisierten Tachymeter, um als zusätzliche geometrische Information Formveränderungen des Bogens detektieren zu können. (Anmerkung: diese Vorgehensweise wurde durch die technologische Entwicklung der Terrestrischen Laserscanner (TLS) überholt).

f) Kurzperiodische (2–3 Wochen), hochgenaue Inklinometermessungen an ausgewählten Mauerprofilen, um Einflüsse von Temperaturänderungen (Tagesgang) auf das Mauerwerk detektieren zu können.

Die Vermarkung aller Punkte sollte zum einen dauerhaft sein, damit Wiederholungsmessungen über längere Zeiträume von mehr als 10 Jahren eine vergleichende Analyse ermöglichen, zum anderen sollten sie das Gebäude so wenig wie möglich beschädigen bzw. visuell beeinträchtigen.

Nachfolgend werden die unter diesen Vorgaben geplanten Messkampagnen beschrieben sowie die dabei gewonnenen Ergebnisse vorgestellt.

3.2 Die Messkampagne im Jahre 2002 – „Nullmessung“

Diese erste Messkampagne fand vom 25. September bis 12. Oktober 2002 statt. Die Grabungsleitung hatte MICHAELA KONRAD (damals Kommission zur Vergleichenden Archäologie römischer Alpen- und Donauländer der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München), die technische Leitung oblag H. HEISTER (UniBwM, Neubiberg). Zusätzlich wurden die geodätischen Arbeiten durchgeführt von M. STEPHANI (TU München), den Diplomanden S. LINDEMANN und TH. SCHULZ (beide UniBwM) sowie A. PALMER (Mitarbeiterin UniBwM), s.a. Abbildung 3.4.

Entsprechend dem vorgestellten Messkonzept lagen die Schwerpunkte dieser ersten Messkampagne in der

- Erkundung und Vermarkung des gesamten Überwachungsnetzes,
- Durchführung des Präzisions-Nivellements zur Höhenbestimmung aller Netz- und Objektpunkte,
- Lagebestimmung aller Punkte des lokalen Mikro-Netzes und
- Ermittlung der Gauß-Krüger-Koordinaten im Bezugssystem *Resafa GKS02* (s. Kap. 2) durch GPS-Messungen sowie durch
- automatisierte Richtungs- und Streckenmessungen.



Abb. 3.4 Teilnehmer der Messkampagne 2002 (v.l. Lindemann, Heister, Konrad, Stephani, Palmer, Schulz)

An geodätischem Instrumentarium wurde mitgeführt:

- 2 Digitale Präzisions-Nivelliere Leica NA 3003/2002,
- 2 2m-Code-Invarlatten,
- 1 Elektronischer motorisierter Tachymeter Leica TCRA 1101 plus,
- 5 Präzisions-Reflektoren Leica GPH1P,
- 2 Corner Cubes,
- 1 Präzisions-Lot Wild ZNL,
- 2 RTK GPS Ausrüstungen Leica SR 530 und
- umfangreiches Zubehör, Vermarktungsmaterial.

Weiterhin wurden zusätzliche Geräte zur Durchführung des Datentransfers, der Datenspeicherung und -sicherung eingesetzt sowie die notwendige Software auf zwei Laptops installiert, getestet und für die vorläufige Feldauswertung in Betrieb genommen.

Nach sorgfältiger Erkundung des *lokalen Deformationsnetzes* führte dies zu folgendem hierarchischen Netzaufbau (ausführliche Dokumentation, s. LINDEMAN U. SCHULZ, 2003):

Stufe I: 3 *Versicherungspunkte* (SYR 2, SYR 3, AL MUNDIA) im weiteren Umfeld der Stadt, zusätzlich 3 Niv.-Zwischenpunkte (101, 102, 104) an der Stadtmauer (aussen, s. Abb. 2. 4)

Stufe II:	4 <i>Netzpunkte</i> (1000, 2000, 3000, 4000) im weiteren Umfeld der Basilika A (s. Abb. 2.4)
Stufe III:	11 <i>Polygonnetzpunkte</i> (200, 201, ... , 210) im Bereich der Basilika A (s. Abb. 2.4)
Stufe IV:	70 <i>Objektpunkte</i> (301, 301, ..., 325; 401, 402, ... , 420; 501, 502, ... , 516; 601, 602, ... , 609) an der Basilika A (s. Abb. 3.8)

Der Punktnummerierung liegt dabei folgendes Schema zugrunde:

<i>Punktgruppe 100</i>	Punkte außerhalb der Stadtmauer, Vermarkungen an der Stadtmauer
<i>Punktgruppe 200</i>	Polygonpunkte im Inneren der Stadt
<i>Punktgruppe 300</i>	Höhen- und Lagepunkte im Mittelschiff der Basilika A
<i>Punktgruppe 400</i>	Höhen- und Lagepunkte im nördl. Schiff der Basilika A
<i>Punktgruppe 500</i>	Höhen- und Lagepunkte im südl. Schiff der Basilika A
<i>Punktgruppe 600</i>	Höhenpunkte im östl. Teil der Basilika A
<i>Punktgruppe 1000</i>	GPS-Punkte (Langzeitbeobachtung)

3.2.1 Vermarkung

Der Vermarkung kam besondere Bedeutung zu, da nur eine dauerhafte Punktsicherung weitere Messkampagnen mit genügend identischen Punkten zum Nachweis von Deformationen ermöglicht. Neben dem Standard-Vermarkungsmaterial (s. Abb. 3.5) wurde insbesondere für die Objektpunkte in der Basilika A ein spezielles Vermarkungssystem entwickelt. Es besteht aus vier Komponenten (s. Abb. 3.5):

- Wandadapter mit Zentrieraufnahme für
- Nivellementsbolzen und
- Magnethalterung für Corner-Cube (EDM-Reflektor),
- Verschlusskappe.

Dieses System hat den Vorteil, dass beim Austausch von Nivellementsbolzen und Corner-Cube der Bezugspunkt für Lage und Höhe im Rahmen der Messgenauigkeit identisch ist. Somit können ein und demselben Punkt Lagekoordinaten und die durch Nivellement bestimmte Höhe direkt zugeordnet werden. Durch die Verschlusskappe, die nur mit Spezialwerkzeug entfernt werden kann, ist zum einen das Zentriersystem geschützt, zum anderen konnte sie durch entsprechenden Anstrich an das Umfeld so angepasst werden, sodass die Punktvermarkung nach Abschluss der Messkampagne für Besucher nahezu unsichtbar ist.



Abb. 3.5 Vermarkungsmaterial für Polygon- und Objektpunkte der Basilika A

Die Punkte der Stufe I und II wurden als Stehbolzen aus Messing mit Zentrierbohrung teils sichtbar teils unsichtbar ca. 0,3 m tief im Boden vermarkt. Die Polygonpunkte wurden ebenfalls als Messing-Stehbolzen bodengleich im Steinboden oder auch auf exponierten Steinblöcken eingebracht. Für alle Objektpunkte (Stufe IV), die vorrangig im bodennahen Bereich bis ca. 0,8 m Höhe an Basis oder Schaft der Säulen sowie an Wänden und Durchgängen der Basilika A eingesetzt wurden (s. Abb. 3.6), kam das bereits beschriebene spezielle Vermarkungssystem zum Einsatz.

Alle Messpunkte wurden in einer online Punktdokumentation (LINDEMANN U. SCHULZ 2003) zusammengestellt und durch Einmessskizzen und Abbildungen digital nachgewiesen (s.a. Anlage I, Abb. I.1), so dass sie für weitere Messarbeiten in der Örtlichkeit leichter auffindbar sind. Die vollständige Dokumentation ist im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

Höher gelegene Bereiche des Bauwerks wurden aus Gründen der Sicherheit in das Überwachungskonzept nicht eingeschlossen.



Abb. 3.6 Einmörteln der Objektpunkte in der Basilika A

3.2.2 Das Präzisions-Nivellement

Für das Präzisions-Nivellement wurde überwiegend das automatische Digital-Nivellier von Leica NA 3003 mit den Invar-Strichcodelatten GPCL2 eingesetzt (s. Abb. 3.7). Diese Gerätekombination mit dem entsprechenden Messverfahren repräsentierte zu dieser Zeit die höchstmögliche geodätische Höhenmessgenauigkeit.



Abb. 3.7 Präzisions-Nivellement mit Leica NA 3003 mit 2m Code Invar-Latte

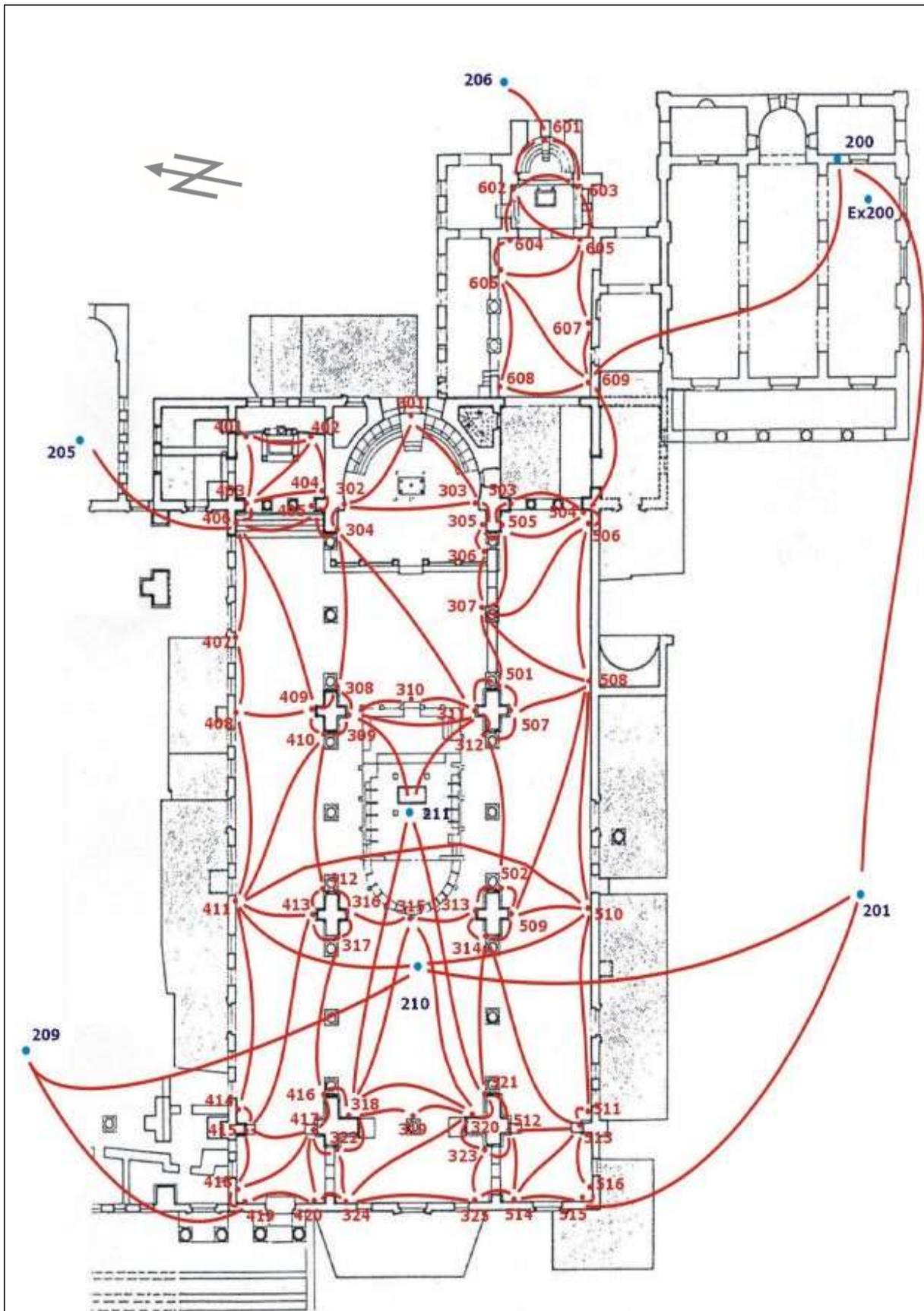


Abb. 3.8 Höhen-Netzplan aller Objektpunkte der Basilika A

Das Nivellement gliederte sich in drei Arbeitsschritte:

- Messung von allen Punkten des Bezugsrahmens (Stufe I) außerhalb der Stadt; dies umfasst die Höhenpunkte 100 – 105 (s. Abb. 2.4),
- Messung aller Netz- und Polygonpunkte (Stufe II und III) innerhalb der Stadt; 1000 - 4000 und 200 - 211 (s. Abb. 2.4),
- Messung aller Objektpunkte in der Basilika A, 301 – 325, 401 – 420, 501 – 516, 601 – 609 (s. Abb. 3.8).

Zusätzlich mussten noch die Verbindungen zwischen den hierarchischen Netzen nivelliert werden, damit das gesamte Höhennetz, das aus nunmehr 90 Punkten besteht, nach der Methode der kleinsten Quadrate zusammenhängend ausgeglichen werden konnte. Hierbei wurden dann auch die Höhen aller Punkte des in Abschnitt 2.1 beschriebenen Referenznetzes bestimmt.

3.2.3 Tachymetrische Messungen

Alle tachymetrischen Messungen wurden mit dem Präzisionstachymeter Leica TCRA 1101 plus durchgeführt (s. Abb. 3. 9). Dieser Tachymeter verfügt nicht nur über einen hochgenauen



Abb. 3.9 Tachymeter Leica TCRA 1101 plus, Präzisionsprisma Leica GPH1P (oben) und 1,5'' Corner Cube mit Magnetadapter (unten)

Distanzmesser sondern auch über eine Einrichtung zur automatisierten Zielfindung (ATR, Automatic Target Recognition). Somit kann nach Aufstellung und Initialisierung des Instrumentes die gesamte Messung automatisiert durchgeführt werden. Neben dem beschleunigten Ablauf hat dieses Messverfahren auch den Vorteil der Genauigkeitssteigerung der Richtungsmessungen.

Als Zielzeichen kamen unterschiedliche Präzisionsprismen zum Einsatz (s. Abb. 3.9 rechts), um auch alle Streckenmessungen mit höchstmöglicher Genauigkeit durchführen zu können.

Weiterhin wurde bei Stativaufstellungen zur genauen Zentrierung über dem Bodenpunkt das Präzisionslot Wild ZNL eingesetzt. Hierdurch konnte die Zentriergenauigkeit gegenüber dem im Tachymeter eingebauten Laserlot wesentlich verbessert werden.

Aus Voruntersuchungen (LINDEMANN U. SCHULZ 2003) des eingesetzten Instrumentariums wurden die für diesen Messeinsatz in Tabelle 3.1 zusammengefassten typischen Genauigkeiten ermittelt.

Tab. 3.1 Genauigkeit der Messungen (Standardabweichung *einer* Beobachtung) mit dem Leica TCRA 1101 plus

Standardabweichung der Streckenmessung	Standardabweichung der Horizontalrichtung	Standardabweichung der Zenitdistanz
$s(D)$ [mm]	$s(Hz)$ [mgon] , ["]	$S(Z)$ [mgon] , ["]
0,2	0,3 , 1,0	0,3 , 1,0

Die durchgeführten tachymetrischen Messungen hatten zum Ziel

- alle Netz- und Polygonpunkte (Stufe II und III) mit einer hohen homogenen Genauigkeit für die Lagekoordinaten x,y und
- ein Großteil der Objektpunkte (Stufe IV) mit ebenfalls hoher Lagegenauigkeit (Koordinaten x,y) und zusätzlich mit einer zum Präzisions-Nivellement vergleichbaren Genauigkeit in der Höhe H zu bestimmen.

Die letzte Zielsetzung sollte den Nachweis erbringen, dass bei einem solchen Projekt auch über tachymetrische Messungen mit relativ kurzen Zielweiten die gleiche Genauigkeit für die Höhenbestimmung erzielt werden kann wie durch ein Präzisions-Nivellement. Bei einer

positiven Bestätigung könnte somit zukünftig das zeitraubende Präzisions-Nivellement sowie der aufwendige Transport von Präzisions-Nivellierlatten (2m bzw. 3m Länge) entfallen.

In Abb. 3.10 und 3.11 sind die Netzpläne aller tachymetrischen Messungen zusammengestellt. Wurden die Punkte des Mikronetzes und der Polygonpunkte durch eine redundante Messanordnung bestimmt, so konnten aus Zeitgründen die Objektpunkte lediglich durch eine polare Punktbestimmung (Abb. 3.11) erfasst werden. Eine gewisse Kontrolle ergab sich jedoch durch die zusätzliche Höhenbestimmung durch das Präzisions-Nivellement.

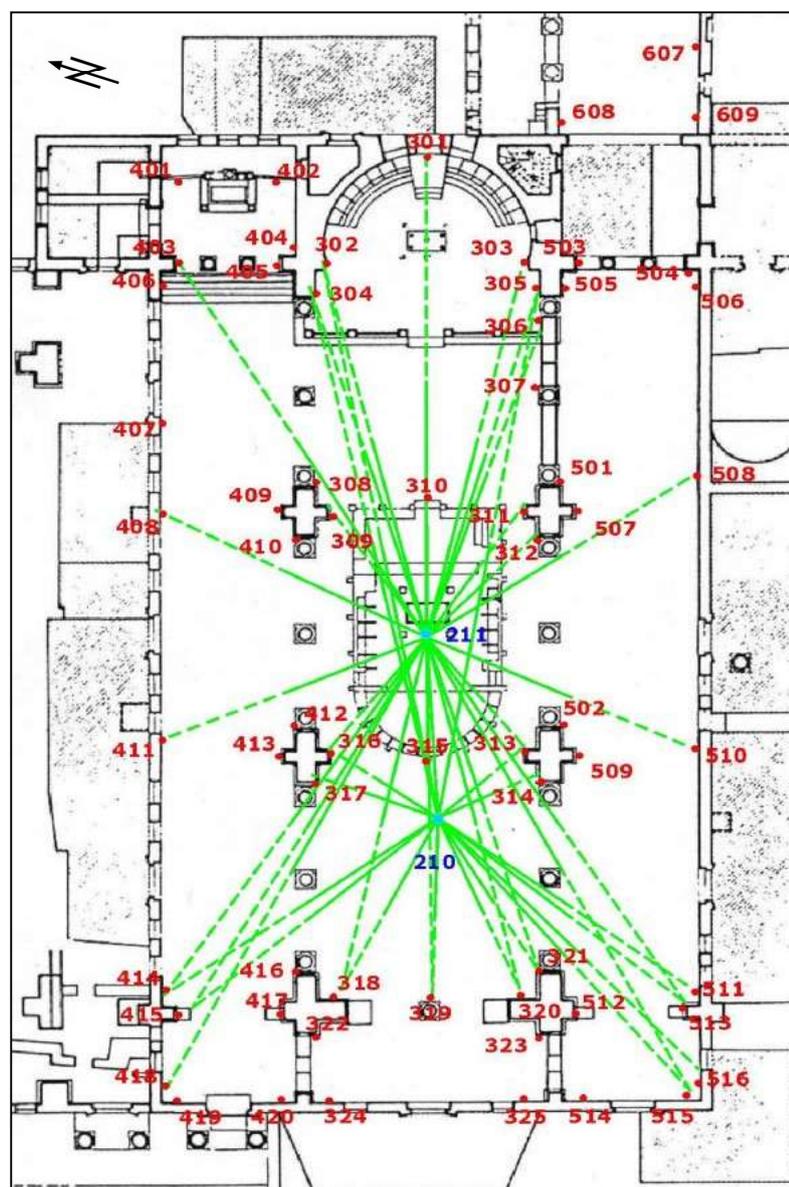


Abb. 3.10 Netzplan der tachymetrischen Höhenbestimmung ausgewählter Objektpunkte

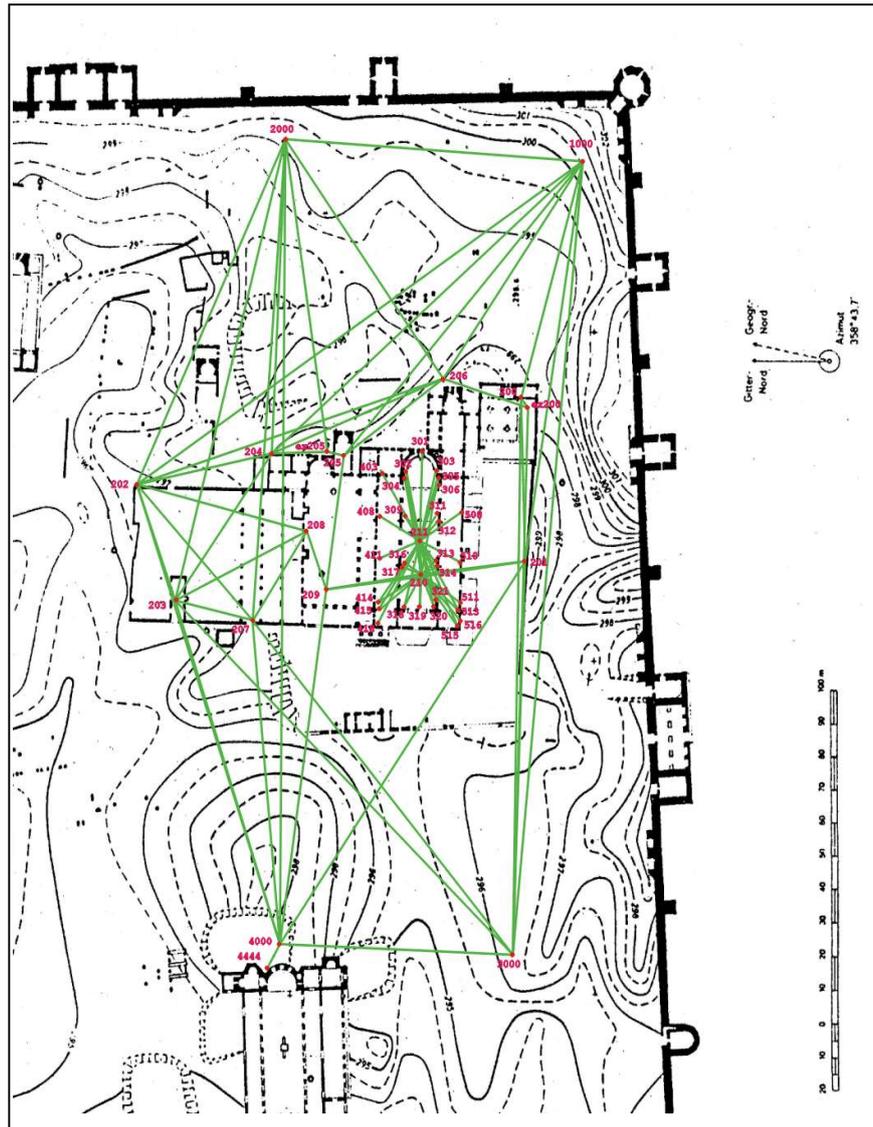


Abb. 3.11 Netzplan der Tachymetermessungen im Mikronetz

3.2.4 GPS – Messungen

Die durchgeführten GPS-Messungen verfolgten zwei Ziele:

- Die Festlegung des Geodätischen Datums *Resafa GKS02* (s. Kap. 2),
- Bestimmung von absoluten Koordinaten der Referenzpunkte (Stufe I) und der Punkte des Mikro-Netzes (Stufe II) innerhalb der Stadt.

Hiermit sollte den Forderungen nachgekommen werden, auch Lage- und Höhenänderungen des Mikronetzes sowie großräumige Bodenbewegungen z.B. durch Änderungen des Grundwasserspiegels detektieren zu können.

Alle GPS-Messungen wurden mit den Zweifrequenz-Receivern der neuesten Generation von Leica, dem RTK-System SR530, durchgeführt. Die Messabläufe hierzu wurden so organisiert, dass sie überwiegend parallel zu den terrestrischen Messungen stattfinden konnten.

Zuerst wurden die Langzeitbeobachtungen auf den Punkten SYR2 und SYR3 (s. Abb. 3.12) durchgeführt, um die absoluten Positionen im WGS84 festzulegen. Anschließend sind dann die Punkte der Stufe I und II jeweils von SYR2 und SYR3 unabhängig mehrfach im differentiellen Modus realtime bestimmt worden. Alle Messungen wurden auch aufgezeichnet, so dass die endgültige Auswertung im Post-Processing stattfand (LINDEMANN U. SCHULZ 2003).

Die Festlegung dieses GPS- Referenzrahmens sowie die Ergebnisse sind ausführlich in Kapitel 2 beschrieben. Somit war die Möglichkeit gegeben, alle terrestrisch gemessenen Punkte in den Lagekoordinaten x und y sowie in der Höhe H in das System *Resafa GKS02* zu transformieren.



Abb. 3.12 GPS-Messungen auf dem Punkt SYR 3 (2002) (im Hintergrund Resafa)

Leider war eine Anbindung an das amtliche syrische Landesnetz weder in Lage noch in der Höhe möglich. Diese Option hat jedoch für die hier verfolgten Ziele der Deformationsmessungen an der Basilika A keine Bedeutung. Sie hätte nur eine Georeferenzierung in das syrische Landes-Bezugssystem ermöglicht.

3.2.5 Tachymeter-Scan der kleinen Arkadenbögen

Wie im Messkonzept (s. Kap. 3.1) beschrieben, sollte als weiteres Verfahren zur Detektion von Deformationen mögliche Formveränderungen der Doppelarkaden herangezogen werden. Hierzu wurde die Messoption des Tachymeters zur reflektorlosen (berührungslosen) Distanzmessung genutzt. Eine speziell hierfür entwickelte Software ermöglichte das Scannen der Bögen unter Vorgabe eines konstanten, d.h. gleich großen Bogenelementes ds (Abb. 3.13). Die Punktdichte kann dabei beliebig dicht gewählt werden. Obwohl die Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung bei einigen Millimetern liegt, kann dann durch die hohe Punktdichte und einen Glättungsalgorithmus die Genauigkeit *wesentlich* gesteigert werden.

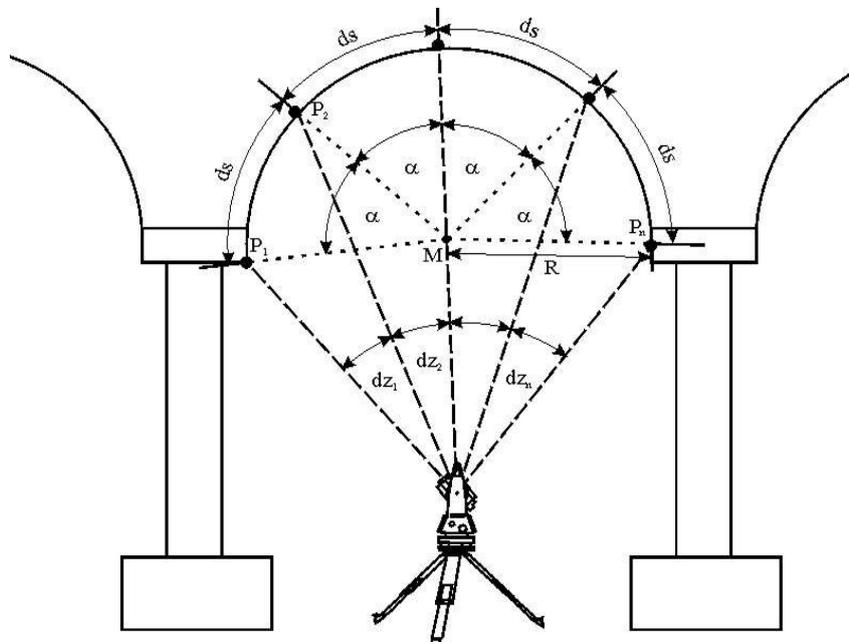


Abb. 3.13 Prinzip der Tachymeterscans mit gleichen Bogenelementen ds

Der Messaufbau zum Scannen der kleinen Arkadenbögen wurde so konzipiert, dass der Tachymeter in Lage und Höhe absolut positioniert wurde. Dadurch konnten alle gescannten Punkte des Bogens im Koordinatensystem *Resafa GKS02* berechnet werden. Hiermit ist die zusätzliche Möglichkeit gegeben, spätere Wiederholungsmessungen zu vergleichen und auf mögliche Deformationen zu analysieren.

Bei den durchgeführten Messungen (Abb. 3.14) wurde ein Punktabstand d_s von 1 cm gewählt, was eine Punktwolke von ca. 710 Punkten pro Bogen ergab und einen Zeitaufwand von 45 Minuten erforderte. Aus Zeitmangel und Problemen mit dem Betrieb des Notebooks (Hitze und Stromversorgung) zur Steuerung des Messprozesses konnten leider nur der westliche kleine Arkadenbogen und die östliche Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand der Basilika A gescannt werden.

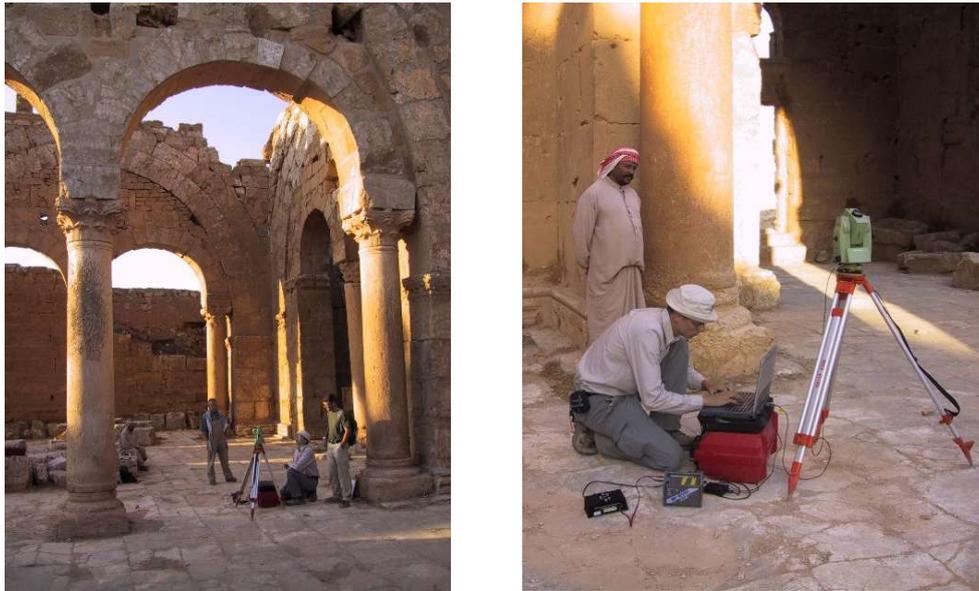


Abb. 3.14 Messaufbau zum Scannen der kleinen Arkadenbögen (2002)

3.2.6 Auswertung und Ergebnisse

Die Auswertung aller Messungen wurde in zwei Schritten durchgeführt und ist ausführlich in LINDEMANN U. SCHULZ 2003 dokumentiert. Der erste Schritt bestand in einer vorläufigen Berechnung von Höhen und Koordinaten vor Ort mit dem Ziel, alle Messungen zu überprüfen bzw. grobe Fehler zu lokalisieren. Zusätzlich erfolgte eine redundante Speicherung aller korrekten Rohdaten auf unterschiedlichen Datenträgern. Der zweite Schritt ist der häuslichen Auswertung zuzuordnen und galt der Berechnung der endgültigen Koordinaten und Höhen im System *Resafa GKS02*. Das gesamte Auswertekonzept ist der Abbildung 3.15 zu entnehmen.

Auf die einzelnen Rechenschritte wie Korrekturen und Reduktionen der unterschiedlichen Messgrößen soll hier nicht näher eingegangen werden. Hierzu wird wieder auf die Arbeit von SCHULZ U. LINDEMANN 2003 verwiesen.

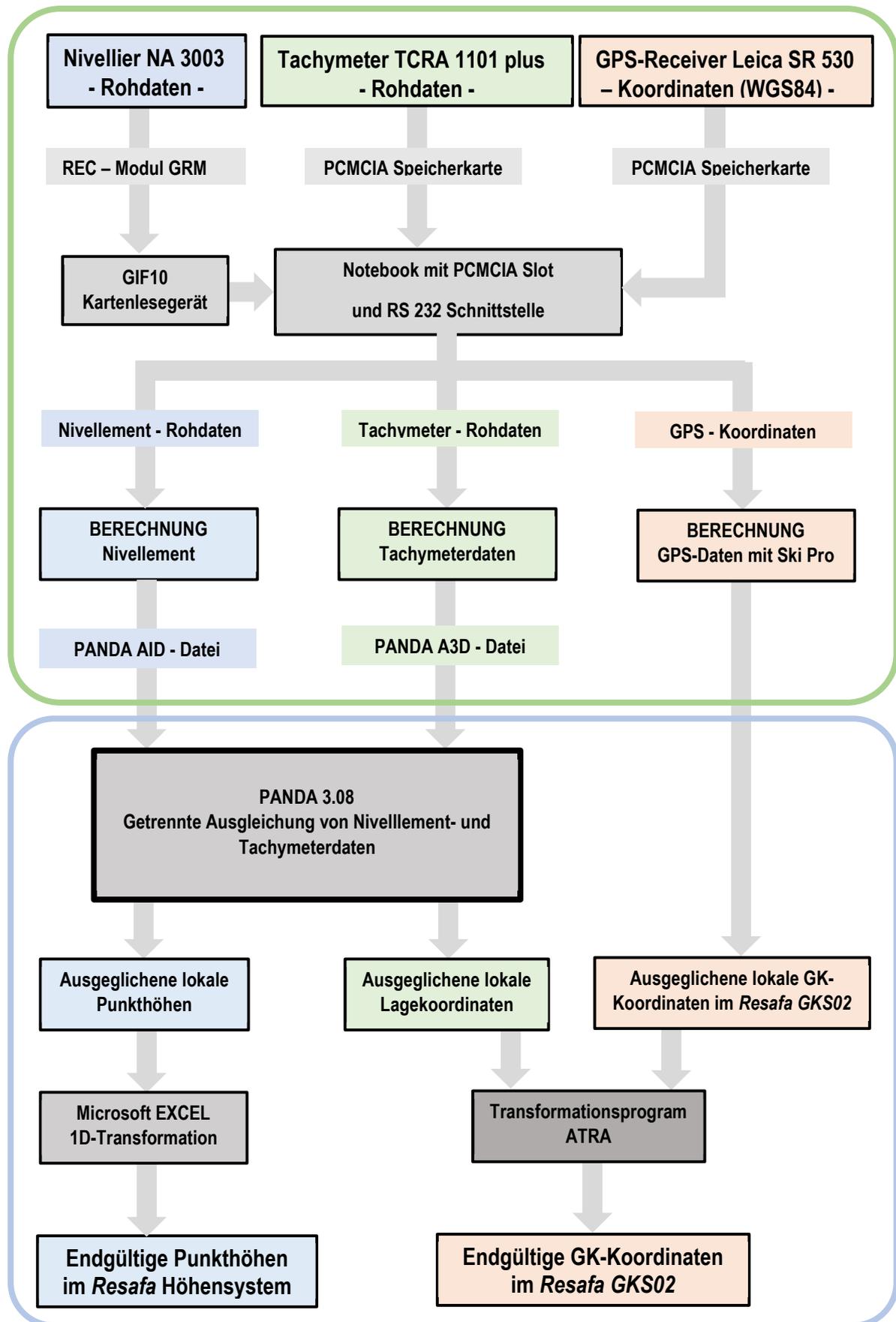


Abb. 3.15 Ablauf der Auswertung aller Messungen (Kontur grün; im Felde – blau: häuslich)

Die aus der häuslichen Auswertung resultierenden endgültigen Ergebnisse sollen jedoch nachfolgend noch einmal zusammenfassend dargestellt werden.

Lage- und Höhenbestimmung durch GPS

Die *GPS-Messungen* dienen zur absoluten Koordinatenbestimmung im WGS84 und zur Definition des geodätischen Datums *Resafa GKS02*. Sie sind in den Tabellen 2.1 und 2.2 sowie 2.4 zusammengestellt. Weitere Ergebnisse sind der Anlage I, Tabelle I.2 zu entnehmen.

Höhenbestimmung durch Präzisions-Nivellement und Tachymetrie

Die Ergebnisse des Präzisions-Nivellements, die alle Punkthöhen einschließlich ihrer Standardabweichungen des gesamten Überwachungsnetzes festlegen, sind in der Anlage I Tabelle I.4 zusammengestellt. Die erreichte Genauigkeit (Standardabweichung) liegt im Mittel bei $\tilde{\sigma}_H = 0,13$ mm und hat hiermit alle Erwartungen übertroffen. Somit können bereits Deformationen von $> 0,4$ mm signifikant aufgedeckt werden.

Die Höhenbestimmung durch Tachymetrie wurde redundant zum Präzisions-Nivellement durchgeführt. Ziel war vorrangig ein Genauigkeitsvergleich beider Messverfahren. Dieser wurde durch eine Transformation von 44 identischen Punkten durchgeführt. Eine statistische Analyse führte zu dem Ergebnis, dass die durchschnittliche Genauigkeit (Standardabweichung) im Mittel bei $\tilde{\sigma}_H = 0,39$ mm liegt.

Bei 90% der ermittelten Punkthöhen konnten keine signifikanten Höhenunterschiede im Vergleich zum Nivellement festgestellt werden. Die erreichte Höhengenaugkeit ermöglicht die Detektion von signifikanten Höhenänderung ab ca. $> 1,2$ mm. Dies entspricht noch voll den anfangs in Kap. 3.1 formulierten Zielsetzungen.

Somit kann in zukünftigen Kampagnen durchaus die wirtschaftlichere Methode der Höhenbestimmung durch Tachymetrie in Erwägung gezogen werden.

Lagebestimmung durch Tachymetrie

Das Präzisions-Tachymeternetz diente vorrangig der Lagebestimmung (Koordinaten x,y) der Netz- und Polygonpunkte der Stufe II und III, sowie der Objektpunkte in der Basilika A (Stufe IV). Eine Übersicht zur Netzkonfiguration gibt Abbildung 3.10 und 3.11. Die Ausgleichung aller Winkel- und Streckenmessungen wurde in einem Guss nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt (s. a. Abb. 3.15). Dabei wurde das Datum durch die vier Referenzpunkte

1000, 2000, 3000 und 4000 festgelegt (Tab. 2.4). Alle Ergebnisse der Lagebestimmung sind in der Tabelle I.5 der Anlage I zu entnehmen. Die mittlere Standardabweichung einer Koordinate ergab sich zu $\tilde{s}_{x,y} = 0,4 \text{ mm}$, so dass auch in der Lage Änderungen von $> 1,2 \text{ mm}$ signifikant lokalisiert werden können.

Ergebnisse der Tachymeter-Scans

Wie bereits oben erwähnt konnten diese Messungen nicht vollständig abgeschlossen werden. Die erreichten Ergebnisse stellen somit auch nur einen Versuch dar, hieraus Hinweise auf Deformationsprozesse ableiten zu können. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind die messtechnisch abgeleiteten Bögen der kleinen Arkaden in die photogrammetrisch erstellten Pläne von GRÜN U. MAUELSHAGEN 1978 grafisch eingepasst worden, s. Abbildung 3.16. Bei diesem graphischen Vergleich ist eine Senkung in der östlichen Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand um ca. 5 cm erkennbar. Aufgrund der unterschiedlichen Messmethoden (Photogrammetrie und Umzeichnung gegenüber Tachymetrie) sowie drucktechnisch bedingter Abweichungen kann dies nur als Hinweis gewertet werden, dass der Deformationsvorgang noch nicht abgeschlossen ist.

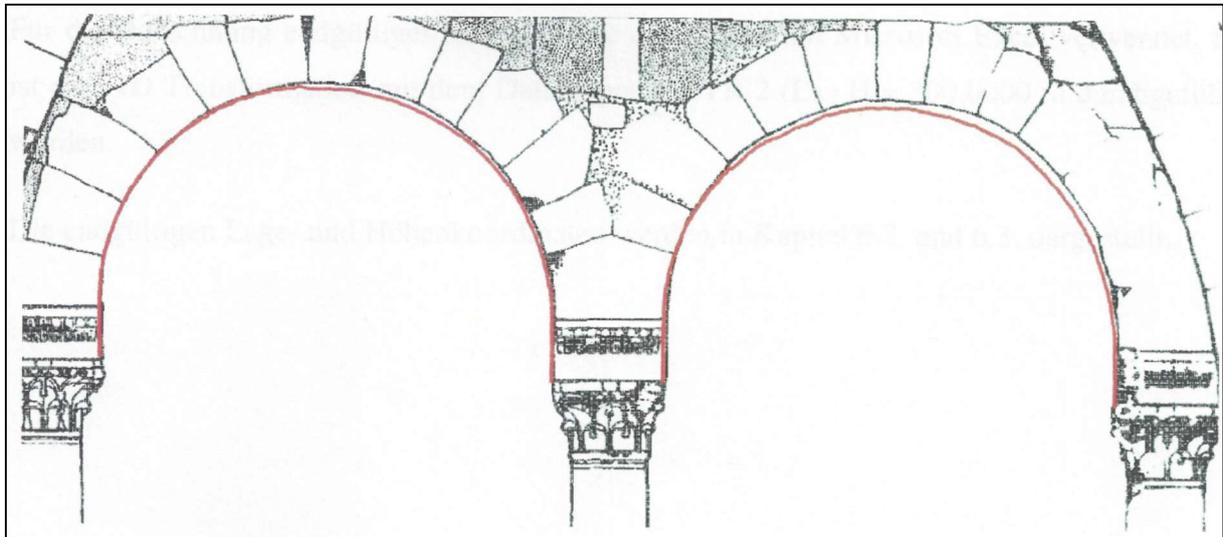


Abb. 3.16 Tachymeter-Scan (rot) der beiden nordöstlichen kleinen Arkadenbögen (Nördliche Mittelschiffswand, östliche Doppelarkade, auf Grundlage von ULBERT 1986, Beilage 9)

3.3 Die Messkampagne im Jahre 2006

Nach dem Wechsel in der Leitung des Projektes *Resafa*, die nunmehr auf Dorothee Sack, Technische Universität Berlin übertragen wurde, konnten die im Jahre 2002 begonnenen Vermessungsarbeiten an der Basilika A im Herbst 2006 fortgesetzt werden. Aufgrund der guten Ergebnisse der ersten Messkampagne von 2002 aber auch der noch ausstehenden Formbestimmung der in die Weitarkaden eingestellten Doppelarkaden, wurden für diese Kampagne folgende Ziele definiert:

- Wiederholungsmessung (nur Höhe) des Präzisions-Nivellements im Bereich der Basilika A mit dem Versuch der Bestimmung signifikanter Setzungen sowie
- vollständiger Scan der Basilika A mit Hilfe des terrestrischen Laserscannings (TLS); dies schließt ebenfalls die Formbestimmung der kleinen Arkadenbögen ein.

Insbesondere die zweite Zielsetzung wurde erst durch den technologischen Fortschritt von TLS möglich, das sich in den Jahren ab 2000 zu einem praxistauglichen Verfahren zur dreidimensionalen Bestandserfassung (Formbestimmung) entwickelt hatte. Obwohl der Einsatz des empfindlichen Instrumentariums bezüglich Staub und Hitze aber auch wegen der immensen Datenmenge eine Herausforderung darstellte, wurde dennoch der Einsatz dieses Messverfahren in *Resafa* gewagt, da der hohe Informationsgehalt der Messungen und Wirtschaftlichkeit vorrangige Faktoren waren.

Die Messkampagne fand in der Zeit vom 06. September bis zum 06. Oktober 2006 statt. Die geodätischen Arbeiten wurden von den Diplomanden Dennis Kowoll und Armin Sternberg (beide UniBwM) sowie Wolfgang Liebl (Mitarbeiter des Geodätischen Labors, UniBwM) durchgeführt; zusätzlich fand durch Manfred Stephani (TU München) eine photogrammetrische Bilddokumentation der Basilika A statt. Die technische Leitung oblag wieder H. Heister (UniBw München, Neubiberg). Im Detail gliedern sich die Arbeiten wie nachfolgend:

- Überprüfung aller vermarkten Punkte von 2002, Neuvermarkung und Punktdokumentation bei Verlust,
- Tachymetrische Ergänzungsmessungen,
- Präzisions-Nivellement (1. Wiederholungsmessung),
- Terrestrisches Laserscanning der Basilika A.

Das hierzu mitgeführte Instrumentarium bestand aus

- 2 Digitale Präzisions-Nivelliere Leica DNA 03 und NA 3003,
- 1 Code-Invarlatte 2m,
- 1 Code-Invarkurzlatte 60 cm,
- 1 Elektronischer motorisierter Tachymeter TCRP 1201 Smart Station,
- 4 Präzisions-Reflektoren GPH1P,
- 1 Corner Cube,
- 2 Leica GPS Systeme 1230,
- 1 Terrestrischer Laserscanner Leica HDS 3000,
- und umfangreichem Zubehör zur Vermarkung, Datensicherung und Auswertung vor Ort.

Leider verzögerte sich bei dieser Messkampagne der Messbeginn wegen unvorhersehbarer Zollprobleme um 2 Wochen, die hauptsächlich auf die mitgeführten GPS Instrumente zurückzuführen waren. Nur durch Hinterlegung dieser Messausrüstung beim syrischen Zoll konnte das restliche Instrumentarium eingeführt werden, so dass die Messarbeiten erst am 21.09. beginnen konnten. Durch den vollen Einsatz aller Teilnehmer und einer Verlängerung der Messkampagne um eine Woche war es möglich, das geplante Messprogramm in nahezu vollem Umfang durchzuführen.

3.3.1 Überprüfung der Punktvermarkungen vom Jahre 2002

Obwohl die Vermarkung im Jahre 2002 unter dem Gesichtspunkt der Nichtbeeinträchtigung des äußeren Erscheinungsbildes der Basilika A erfolgte und somit auch vor Zerstörung und Verlust geschützt sein sollte, ergab die Begehung und Aufdeckung aller Punkte aus dem Jahre 2002, dass 4 Punkte nicht mehr verwendet werden konnten. Diese Punkte wurden deshalb annähernd an gleicher Stelle neu vermarkt und unter einer neuen Punktnummer wiedereingeführt. Alte sowie neue Bezeichnung sind in der Tabelle 3.2 zusammengestellt.

Tab. 3.2 Neue Punktnummerierung zerstörter und ersetzter Punkte

Punkt-Nr. „alt“	Punkt-Nr. „neu“
205	220
207	221
306	330
4000	4001
102	unbrauchbar

Außerdem wurde durch Erosion der Referenzpunkt SYR 3 bzw. SYR 3 Ex so stark freigelegt, dass seine Stabilität gefährdet erschien. Um diesen Vorgang zu stoppen, wurde er neu einzementiert, damit für weiterführende Messungen seine Stabilität gesichert werden konnte. Ein weiterer Punkt Nr. 102 wurde kurz vor Beendigung der Messung durch Vandalismus so stark beschädigt, dass er unbrauchbar wurde. Die neuen Einmessskizzen dieser Punkte wurden der online Punktdokumentation (LINDEMANN U. SCHULZ 2003) beigefügt und durch Abbildungen digital nachgewiesen. Weitere Details bezüglich der in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Messungen sind der Diplomarbeit von KOWOLL U. STERNBERG 2007 zu entnehmen.

3.3.2 Tachymetrische Messungen

Die tachymetrischen Messungen verfolgten zwei Ziele:

- Ergänzungsmessungen zur Koordinierung der zerstörten Punkte
- Zusätzliche Messungen im südöstlichen Teil (Doppelgeschossige Anlage) der Basilika A zur Lagebestimmung (x,y) der dort vorhandenen Objektpunkte 602 – 609

Alle Messungen wurden mit den Präzisionstachymeter Leica TCRP 1201 und Präzisionsprismen Leica GPH1P (s. Abb. 3.17) sowie dem Corner Cube durchgeführt (s. Abb. 3.9), die Messanordnungen sind den Abbildungen 3.18 und 3.19 zu entnehmen.

Die Lagebestimmung der bisher nur höhenmäßig erfassten Objektpunkte im südöstlichen Bereich von Basilika A (s. Abb. 3.19) diente vorrangig zur Georeferenzierung bzw. Registrierung der terrestrischen Laserscans.

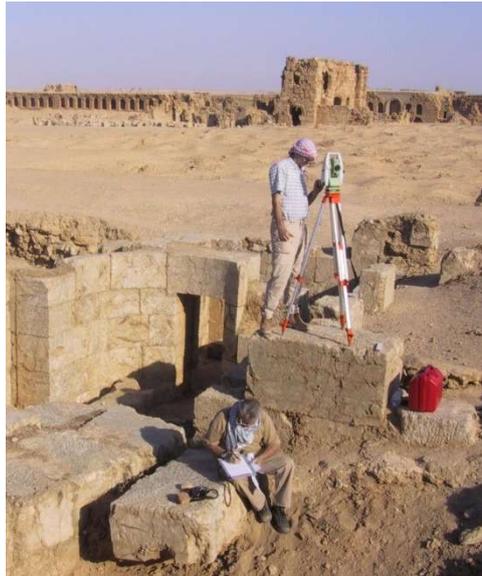


Abb. 3.17 Ergänzungsmessungen mit dem Präzisionstachymeter Leica TCRP1201 bei Basilika B (2006)

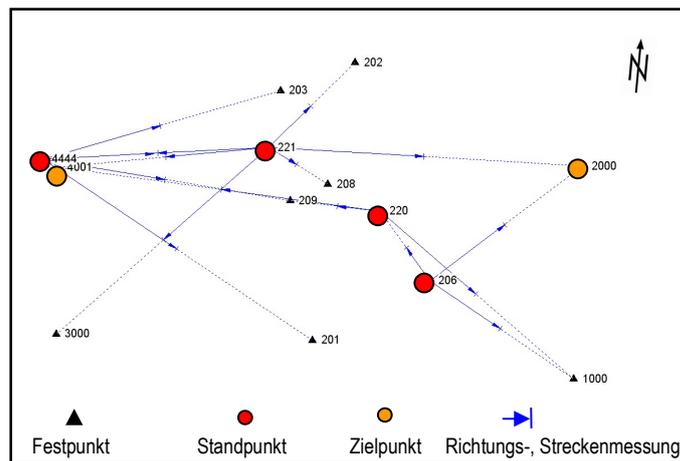


Abb. 3.18 Ergänzungsmessungen zur Koordinierung zerstörter Punkte

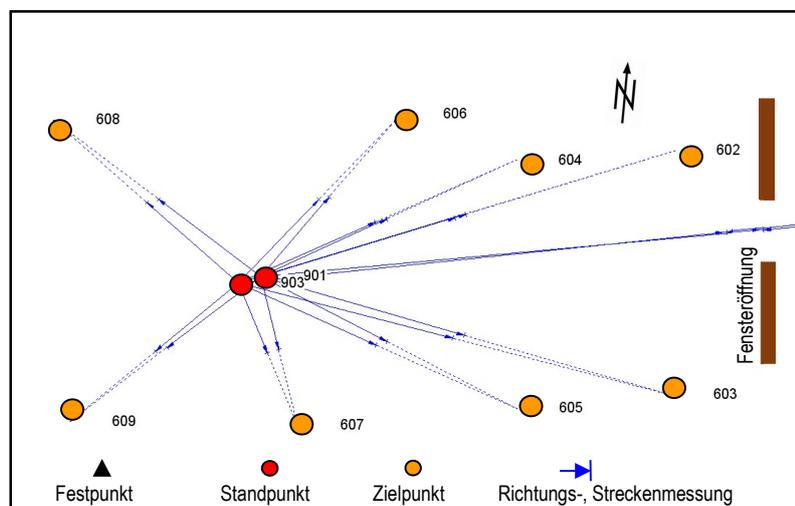


Abb. 3.19 Ergänzungsmessungen im süd-östlichen Teil der Basilika A (Bischofssitz)

3.3.3 Das Präzisions-Nivellement (1. Wiederholungsmessung)

Ausgehend von den genauen Messergebnissen aus dem Jahre 2002 entschloss man sich, bereits in dieser Messkampagne – nur 4 Jahre nach der Nullmessung – eine erste Wiederholungsmessung durchzuführen. Hierbei wurde jedoch nur die Höhenmessung in Betracht gezogen, weil – wenn überhaupt – nur in dieser Komponente Änderungen erwartet werden konnten. Zusätzlich wurde der Referenzrahmen (s. Abb. 3.22 links) nur bis zur Stadtmauer festgelegt, um das aufwendige Nivellement zu den außenliegenden Punkten zu vermeiden. Alle Beobachtungen hierzu wurden mit dem neuen Präzisions-Digitalnivellier Leica DNA03 (Abb. 3.20) und der 2 m Code-Invarlatte durchgeführt. Dabei konnten auch alle zerstörten Punkte mit eingebunden werden (s. grüne Bezifferung in Abb.: 3.22). In der zweiten Beobachtungsphase - der Netzplan hierfür ist aus Abbildung 3.22 (rechts) zu ersehen - erfolgte die Einmessung aller Objektpunkte im Innenraum der Basilika A. Hierbei wurden beide mitgeführten Digitalnivelliere und zusätzlich eine Invar-Kurzlatte von nur 60 cm Länge eingesetzt (s. Abb. 3.21). Dies hatte den Vorteil, dass bei einigen überhängenden Wänden doch noch eine nahezu lotrechte Ausrichtung der Latte erreicht werden konnte und somit systematische Fehler vermieden wurden.



Abb. 3.20 Messungen mit dem Digitalnivellier Leica DNA 03 (2006)



Abb. 3.21 Einsatz der Invar-Kurzlatte (60 cm lang) (2006)

Alle Messungen konnten bereits während der Messkampagne einer ersten Auswertung unterzogen werden, um unvermeidliche grobe Fehler aufzudecken und entsprechende Nachmessungen direkt einzuleiten.

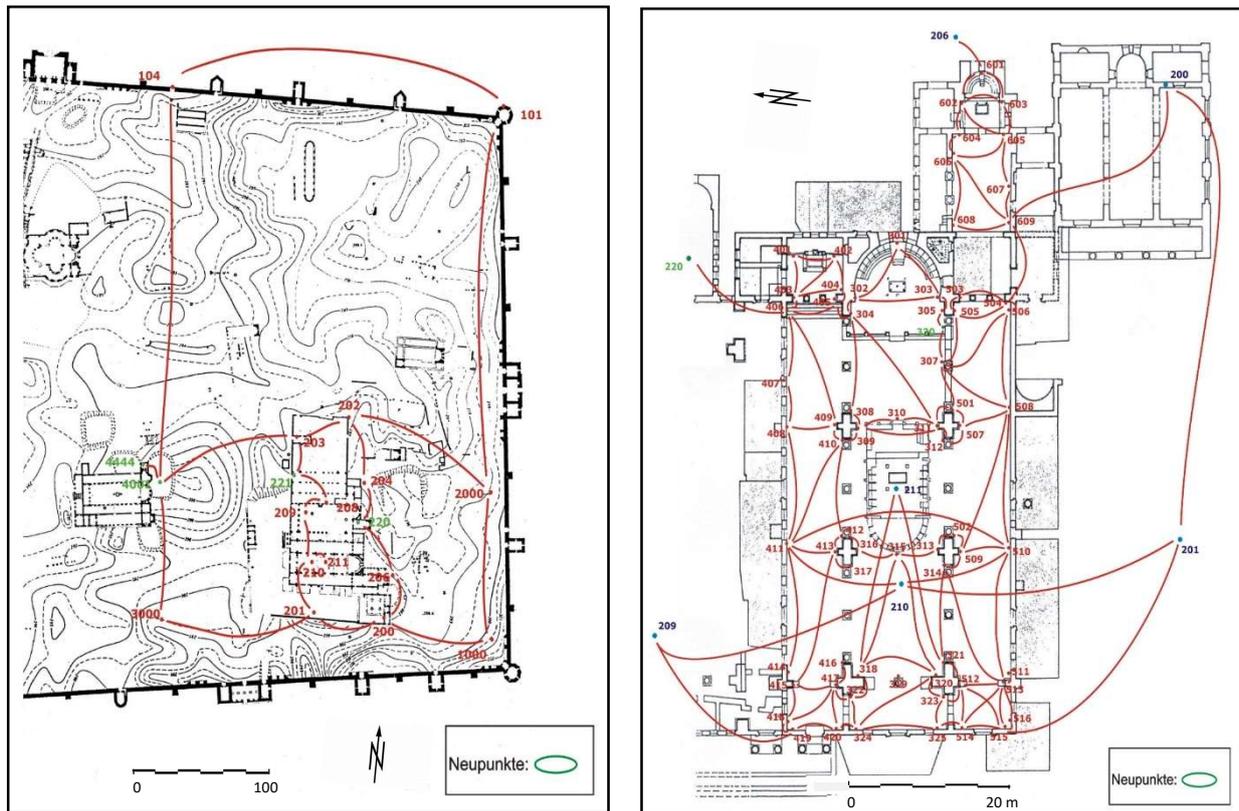


Abb. 3.22 Nivellementsnetz des Bezugsrahmens und der Objektpunkte 2006

3.3.4 Das terrestrische Laserscanning (TLS)

Der Einsatz von TLS unter den besonderen Bedingungen in *Resafa* – hohe Temperaturen, Staub und Sandstürme - stellte sowohl für die Beobachter als auch für das Instrument eine besondere Herausforderung dar, kam doch hier zum ersten Mal diese neue Messtechnik für diese unterschiedlichen Aufgabenstellungen zur Anwendung. Es wurden nämlich zwei Ziele verfolgt:

- Zum einen sollten möglichst präzise Scans aller Doppelarkaden die Messungen von 2002 vervollständigen, um aus späteren Wiederholungsmessungen, aber auch im direkten Vergleich zu der photogrammetrischen Aufnahme von Grün und Mauelshagen aus den Jahren 1976 / 1977 (GRÜN U. MAUELSHAGEN 1978) Aussagen über Deformationen, besonders Setzungen machen zu können;
- Zum andern sollte erstmals eine vollständige digitale, dreidimensionale Bestandsdokumentation vom Innen- und Außenbereich der Basilika A auf Grundlage der Messmethode des TLS erstellt werden (s.a. Kap. 4.3).

Zum Einsatz kam hierfür der terrestrische Laserscanner Leica HDS 3000. Die technischen Spezifikationen, das Messverfahren sowie die Durchführung der Bestandsdokumentation



Abb. 3.23 Einsatz des terrestrischen Laserscanners Leica HDS 3000 im Hauptschiff der Basilika A (2006)

werden ausführlich im Kapitel 4.3 behandelt. Hier werden nur die Messungen beschrieben, die speziell der Detektion von Deformationen dienen sollten.

Der o.a. Laserscanner verfügt über verschiedene Auflösungen, die je nach Zielsetzung im Messprozess verändert werden können. Für den Innenraum wurde die höchste Auflösung gewählt. Dadurch konnten im Bereich der Weitarkaden für die einzelnen Messpunkte Abstände im Raster von 6 mm x 6 mm realisiert werden. Die Registrierung mit Hilfe der hohen Dichte an Festpunkten (Verknüpfungspunkte für TLS) im Innenbereich ermöglichte, für jeden Messpunkt dreidimensionale Koordinaten x,y,z mit höchster Genauigkeit im Koordinatensystem *Resafa GKS02* zu bestimmen. Die Messzeiten auf den Standpunkten beliefen sich teilweise auf bis zu 7,5 Stunden, was hohe Anforderungen an den stabilen Messaufbau, an die Stromversorgung und an die Rechnerleistung stellte.

3.3.5 Auswertung und Ergebnisse

Die Auswertung der Messungen wurde wieder in zwei Schritten durchgeführt: Vorabauswertung vor Ort zur Aufdeckung grober Fehler mit anschließender Beseitigung und der endgültigen Berechnung sowie Analyse der Ergebnisse nach Beendigung der

Messkampagne. Das Datenflusskonzept, aus dem auch die verwendeten Programme zu ersehen sind, ist in Abbildung 3.24 dargestellt.

Lagebestimmung durch Tachymetrie

Die tachymetrischen Messungen im Inneren der Basilika A sowie Ergänzungsmessungen in ihrem südöstlichen Bereich (doppelgeschossige Anlage) wurden in das im Jahre 2002 bestimmte Lagenetz rechentechnisch eingebunden. Die endgültigen Koordinaten *aller* Punkte sind der Anlage I Tabelle I.6 zu entnehmen. Die erreichte Genauigkeit mit einer mittleren Standardabweichung der Koordinate $\tilde{s}_{x,y} = 0,5$ mm entspricht weitgehend der der Messkampagne von 2002.

Weitere Einzelheiten der Auswertung können der Diplomarbeit von KOWOLL U. STERNBERG 2007 entnommen werden.

Höhenbestimmung durch Präzisions-Nivellement

Die Auswertung des Nivellements hatte zum einen zum Ziel, neue Höhen *aller* gemessenen Punkte (auch der zerstörten bzw. ersetzten Punkte) zu bestimmen, zum anderen den Vergleich mit den Höhen aus Jahre 2002 zu ermöglichen, d.h. eine erste Deformationsanalyse durchzuführen. Als Voraussetzung für diese Analyse wurden die identischen Daten wie bei der Ausgleichung der Nullmessung zu Grunde gelegt, da nur so die Bestimmung eventueller Höhenabweichungen direkt und fehlerfrei möglich war.

Die beobachteten Höhenunterschiede wurden für diese zweite Messepoche für den Auswerteprozess in folgende zwei Gruppen gegliedert:

- Netzteil I : 56 Höhenunterschiede außerhalb der Basilika A
- Netzteil II: 230 Höhenunterschiede innerhalb der Basilika A

In der gemeinsamen Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate konnten dann diese beiden Beobachtungsgruppen unterschiedlich gewichtet werden. Dies war dadurch begründet, dass im Außenbereich die Messwege zwischen den Punkten größer waren und

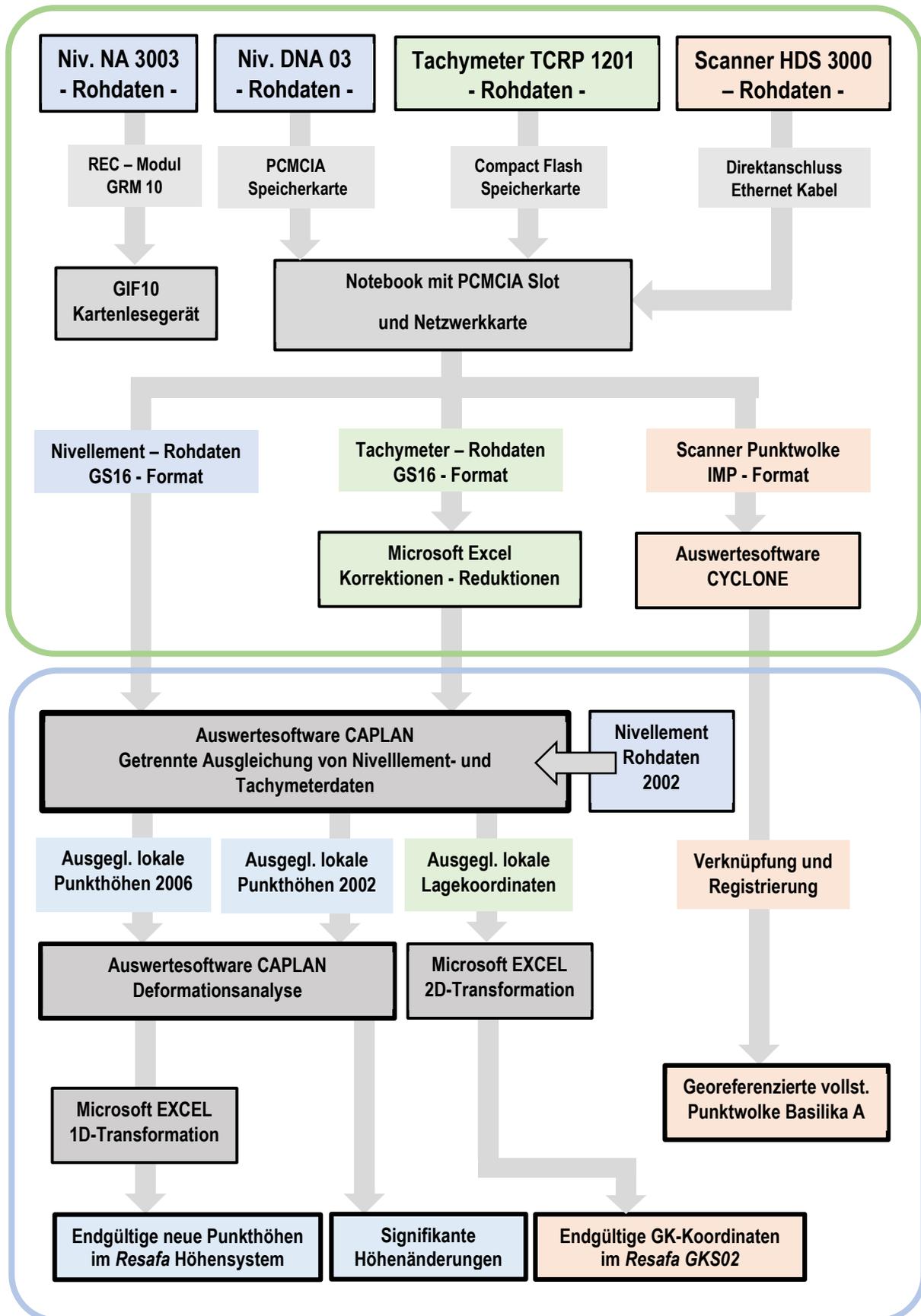


Abb. 3.24 Ablauf der Auswertung und Deformationsanalyse 2006
 Kontour grün: im Felde – blau: häuslich -orange: Scanner

durch unebenes Gelände führten. Für das gesamte Netz konnten Redundanzanteile zwischen $0,5 < r_i < 0,9$ erreicht werden, was auf eine hohe äußere Zuverlässigkeit und einen hohen Grad an Kontrollierbarkeit hinweist.

Die endgültigen Höhen aller Punkte des Überwachungsnetzes sind der Anlage I Tabelle I.7 zu entnehmen. Aus ihr ist auch ersichtlich, dass mit der erreichten mittleren Standardabweichung für die Höhe $\tilde{s}_H = 0,5$ mm nahezu der gleiche Wert erreicht wurde wie im Jahre 2002 und somit bezüglich der Genauigkeit homogene Netze für die Deformationsanalyse vorliegen. Die Ergebnisse der Deformationsanalyse, die Detektion signifikanter Höhendifferenzen zwischen den Messungen von 2002 und 2006, werden im Kapitel 3.4.1 diskutiert.

Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Nach Abschluss der Laserscanaufnahmen lagen zunächst entsprechend der Anzahl der Aufnahmestandpunkte 21 einzelne Rohdatensätze vor. Ein einzelner Rohdatensatz besteht dabei aus mehreren Punktwolken. Die einzelnen Punktwolken beschreiben ausgewählte Bereiche der Basilika A.

Die Auswertung dieser Rohdatensätze vollzieht sich in drei wesentlichen Schritten, die alle mit dem Programm CYCLONE (s. Abb. 3.24) in mehreren Arbeitsschritten erfolgte:

- Registrierung, Zusammenfügen der einzelnen Standpunkte zu einem gemeinsamen Modell der Basilika A;
- Bereinigung der gemeinsamen Punktwolke, selektieren der relevanten Objekte, da auch Objekt- und Geländeteile im Umfeld zufällig erfasst wurden, die für eine weitere Bearbeitung bzw. Dokumentation bedeutungslos sind;
- Georeferenzierung, Überführung des gemeinsamen Modells in das Koordinatensystem *Resafa GKS02*.

Im Einzelnen soll hier nicht weiter auf den Auswerteprozess eingegangen werden; hierzu wird auf Kapitel 4.3 bzw. wieder auf die Arbeiten von KOWOLL U. STERNBERG 2007 verwiesen.

Insgesamt bestand der Rohdatensatz aus 84,7 Millionen Punkten, die sich auf 357 Punktwolken verteilen. Die Georeferenzierung erfolgte dabei in der Lage (x,y) mit einer Genauigkeit von ca. 5mm, in der Höhe (H) von ca.1-2 mm. Das Ergebnis ist ein vollständiges, dreidimensionales und georeferenziertes Modell der Basilika A, das farbcodiert in Kapitel 4., Abbildung 4.4

dargestellt ist. Zur weiteren Bearbeitung können dann einzelne Bereiche selektiert werden (s. Abb. 3.25), um sie dann in ein CAD-Programm zu überführen.



Abb. 3.25 Extrahiertes, georeferenziertes Modell der Basilika A, Blick nach Süden (2006)

3.4 Diskussion möglicher Deformationen

Die primären Ziele der beiden geodätischen Messkampagnen von 2002 (Nullmessung) und 2006 (1. Wiederholungsmessung) waren die Bereitstellung von quantitativen Informationen zur Bestimmung signifikanter Deformationen bei zukünftigen Wiederholungsmessungen. Obwohl die Zeitspanne nach ersten Einschätzungen zwischen den beiden Kampagnen relativ kurz war, wird der Versuch gewagt, bereits aus diesen zwei Epochen erste Aussagen über mögliche Setzungen, insbesondere im östlichen Bereich des Hauptschiffes der Basilika A abzuleiten. Hierzu bieten sich zwei Möglichkeiten an:

- Eine statistisch fundierte Deformationsanalyse (WELSCH ET AL. 2000) auf Grundlage eines Vergleichs der Präzisions-Nivellements der beiden Epochen von 2002 und 2006.
- Ein Vergleich der Ansichten der Innenseiten der Weitarkaden und die in sie eingestellten Doppelarkaden der Mittelschiffswände, gewonnen durch die

Vektorisierung der photogrammetrisch erstellten Pläne von 1976 / 1977 (ULBERT 1986) und durch Ableitung aus den digitalen Modellen des TLS.

Beide Verfahren werden nachfolgend beschrieben und vergleichend bewertet.

3.4.1 Deformationsanalyse

Um aus den ausgeglichenen Höhen der Messepochen von 2002 und 2006 signifikante Setzungen zu ermitteln und zu lokalisieren, wurde eine Deformationsanalyse mit dem Programmsystem CAPLAN (s. Abb. 3. 24) durchgeführt.

Vor der Analyse fanden das Einlesen und die Kombination der einzeln ausgeglichenen Nivellementsnetze der beiden Epochen statt. Hierbei bestätigte sich die wichtige Voraussetzung der homogenen Messgenauigkeit beider Höhennetze. Da sowohl den Objektpunkten innerhalb der Basilika A als auch bei den außerhalb vermarkten Stützpunkten zeitliche Instabilität, auch aufgrund des unsicheren Untergrundes und des brüchigen umgebenden Gesteinsmaterials, unterstellt werden musste, wurde die Deformationsanalyse als einstufige Lösung durchgeführt.

Der *globale Kongruenztest* zur Identifizierung signifikanter Punktbewegungen erfolgte mit 83 homologen Punkten. Die ermittelte mittlere Klaffung Θ^2 von 107,76 (quadratische Summe aller Abweichungen in mm^2) lag deutlich über dem Quantil der Fisher-Verteilung, woraus die Existenz von signifikanten Setzungen an irgendeiner Stelle im vereinigten Gesamtsystem statistisch abgeleitet werden kann.

Um die vorhandenen Deformationen lokalisieren zu können, wurden verschiedene statistische Tests durchgeführt werden. Die detaillierte Vorgehensweise findet man in der Diplomarbeit von KOWOLL U. STERNBERG 2007. Die Analyse führte letztendlich dazu, dass 21 Punkten keine signifikanten Bewegungen zugeordnet werden konnten und somit eine ausreichende Anzahl an stabilen Stützpunkten selektiert werden konnte.

Abschließend wurden mit Hilfe der gemeinsamen Stützpunkte in CAPLAN die neuen Punktkoordinaten und Höhenänderungen berechnet. Sie sind ihrer Größenordnung folgend in Abbildung 3.26 dargestellt. Es ist zum einen ersichtlich, dass sowohl positive als auch negative Punktbewegungen bis zu drei Millimetern stattgefunden haben, zum anderen, dass nur ein Teil

der Punktbewegungen, nämlich 14, signifikant (≥ 1 mm) sind. Diese sind nochmals quantifiziert in Tabelle 3.3 zusammengestellt.

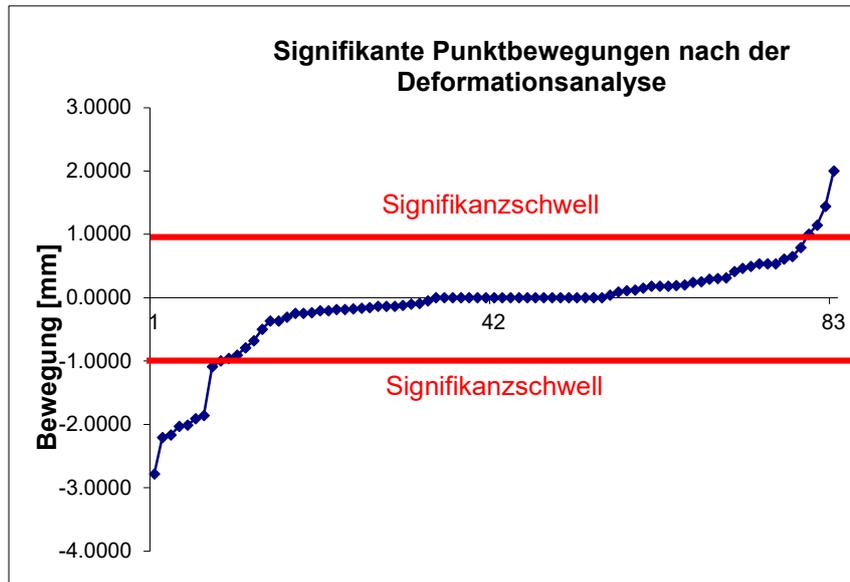


Abb. 3.26 Überblick aller Höhenänderungen nach der Deformationsanalyse

Tab. 3.3 Signifikante Punktbewegungen ≥ 1 mm

Punkt Nr.	Hebung [mm]	PunktNr.	Setzung [mm]
211	+ 2,0	2000	-2,8
512	+ 1,4	305	-2,2
209	+ 1,1	303	-2,2
210	+ 1,0	506	-2,0
		503	-2,0
		505	-1,9
		504	-1,9
		104	-1,1
		307	-1,0
		609	-1,0

Da die Gründe der Hebungen und Setzungen allerdings unterschiedlich sind und somit eventuell zu einer falschen Interpretation führen können, werden nun die *einzelnen* Punktbewegungen näher analysiert:

Hebungen

Bei den vermeintlichen Hebungen stechen besonders die Bodenpunkte 209, 210 und 211 sowie der Mauerpunkt 512 hervor (vgl. Abb. 3.22). Die scheinbare Anhebung des Punktes 512 ist mit einer Fehlmessung durch Lattenschiefstellung, bedingt durch das Mauerwerk, im Jahr 2002 zu erklären. Grund für die Anhebung der Bodenpunkte sind vermutlich die Restaurierungsmaßnahmen der Basilika A in den Jahren 2004-2005. Hier kamen große und schwere Metallgerüste zum Einsatz (s. Abb. 3.27), wodurch manche Bodenplatten anscheinend leicht bewegt wurden. Besonders deutlich war dies bei dem Punkt 211 festzustellen, bei dem unverkennbar die Bodenplatte gerichtet wurde.



Abb. 3.27 Restaurierungsarbeiten in der Basilika A in den Jahren 2004–2005
s.a. Internet-Link [5] u. [6]

Alle übrigen Punktanhebungen < 1 mm sind über das gesamte Messgebiet unregelmäßig, zufällig verteilt und besitzen keine Aussagekraft für den Nachweis von Deformationen.

Setzungen

Signifikante Setzungen innerhalb des Nivellementnetzes treten an zwei Stützpunkten außerhalb und an mehreren Objektpunkten innerhalb der Basilika A auf. Die Gründe lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

Die Senkungen der Stützpunkte 104 und 2000 (außerhalb der Basilika A, s.a. Abb. 3.22) sind durch brüchiges Gestein zu erklären, in die die Bolzen eingebracht wurden. Besonders der Punkt 2000 hat sich daher als Stützpunkt für das Nivellementsnetz als ungeeignet herausgestellt. Alle weiteren signifikanten Setzungen ≥ 1 mm liegen in verdichteter Form im vermuteten Einsenkungsgebiet der Basilika A, an der zugemauerten östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand und an der dazu parallelen Außenwand (s. Abb. 3.28). Sämtliche dort gemessenen Höhenpunkte lassen Setzungen zwischen 1,9–2,2 mm erkennen.

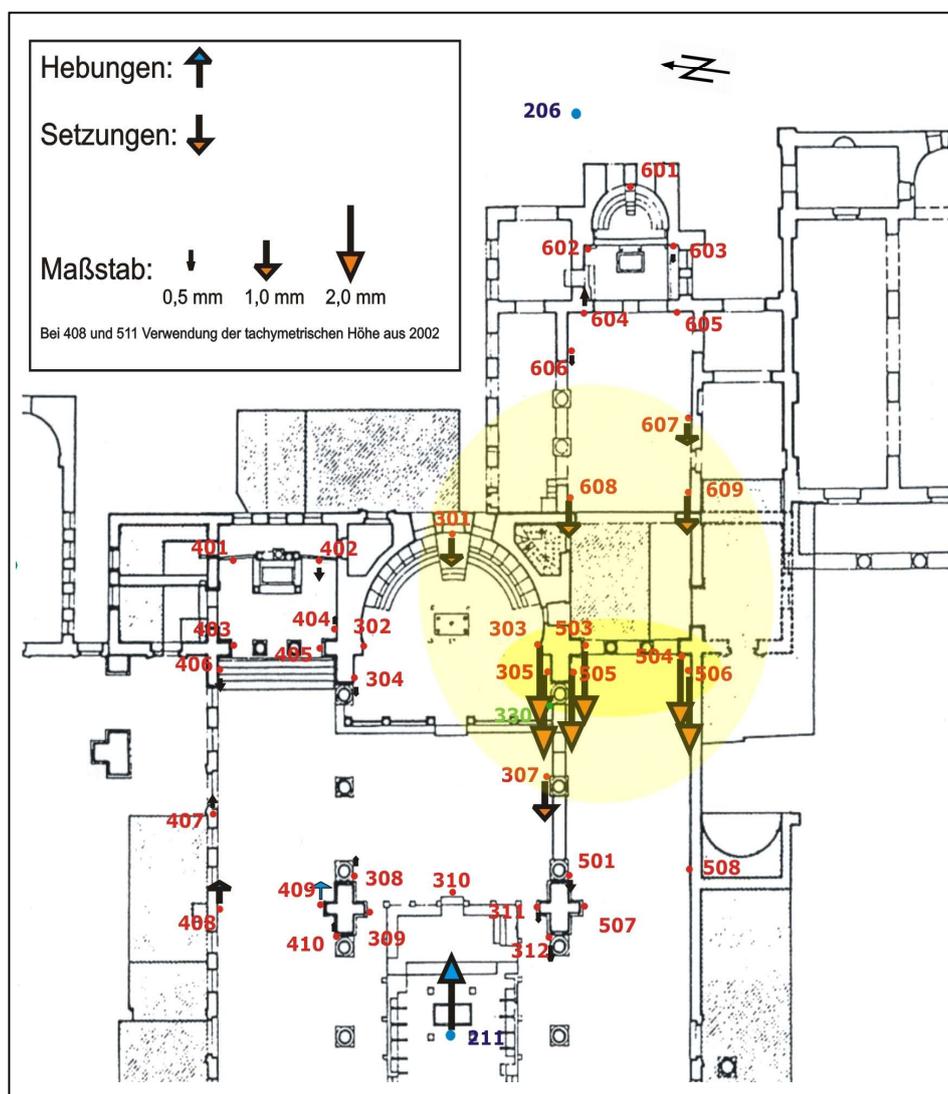


Abb. 3.28 Signifikante Setzungen, Hebungen innerhalb der Basilika A (Ausschnitt)

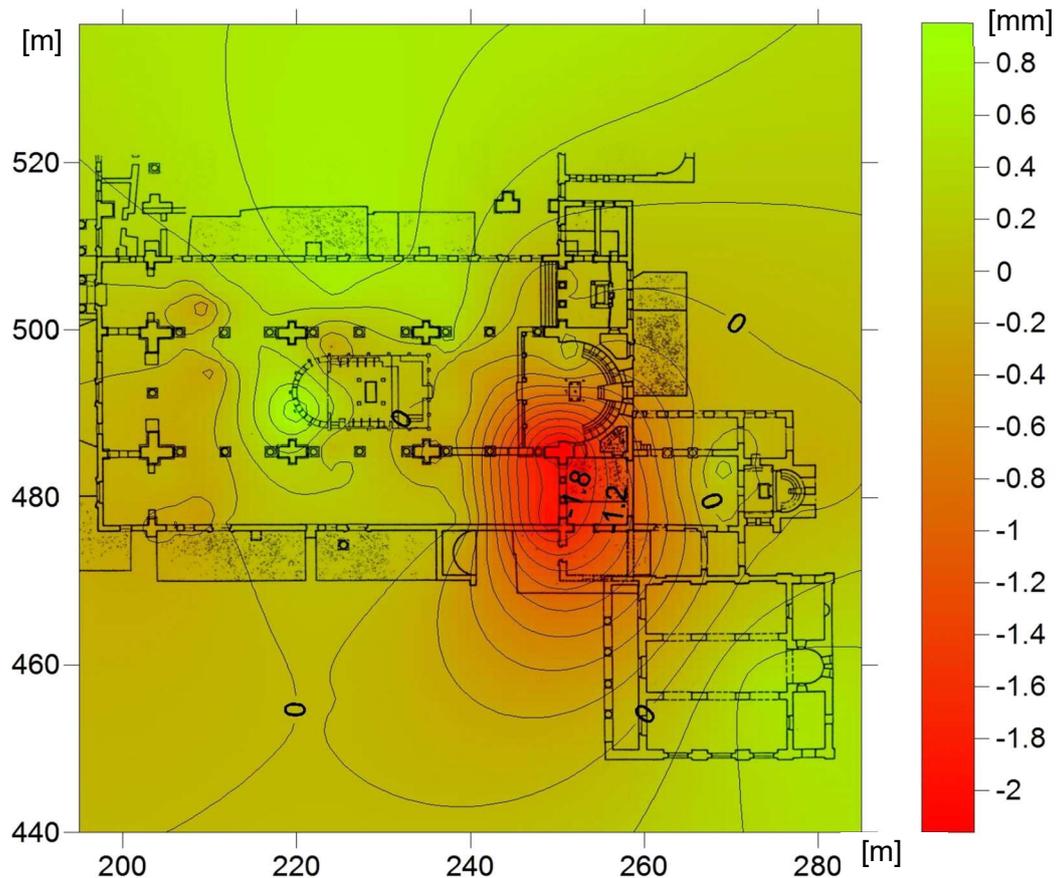


Abb. 3.29 Setzungen innerhalb der Basilika A im Zeitraum 2002 – 2006

Die stärksten Setzungen liegen im Übergangsbereich von der Apsis zur südöstlichen Arkade. Alle Punkte im nahen Umfeld des östlichen Jochs besitzen ebenfalls Senkungen in einer Größenordnung zwischen 0,5-1 mm. Eine farbcodierte Visualisierung des Setzungsgebietes unter Einschluss auch der nicht signifikanten Höhenänderungen innerhalb der Basilika A liefert Abbildung 3.29.

3.4.2 Nachweis von Deformationen mit Hilfe von TLS

Neben der Deformationsanalyse durch den Vergleich der zwei Präzisions-Nivellementmessungen aus den Jahren 2002 und 2006 wurden zusätzlich die mittels TLS erzeugten Punktwolken für den Nachweis von möglichen Setzungen verwendet.

Als Ergebnis der in Kap. 3.3.5 beschriebenen Verknüpfung und Registrierung der einzelnen Punktwolken sowie der anschließenden Bereinigung fehlerhafter Punkte entstand ein nahezu vollständiges 3D-Koordinatenmodell der Basilika A mit unterschiedlicher Punktdichte.

Der *gesamte Innenraum* der Basilika A wurde mit einer Rasterweite von 12 x 12 mm gescannt. Die zum Nachweis von Deformationen *entscheidenden Doppelarkaden* und die stark mit Rissen durchzogene Apsis liegen sogar in einer Punktdichte von 6 x 6 mm vor. Da die vollständige 3D-Erfassung der Basilika A erstmalig durchgeführt wurde, dienen die entstandenen digitalen Modelle zum einen als Ausgangsbasis und Nullmessung für weitere Erfassungen mittels Scannertechnologie. Zum anderen ist es möglich, wie nachfolgend beschrieben wird, Aussagen über Deformationsvorgänge zu treffen durch Vergleich mit:

- Erstens, dem digitalisierten und vektorisierten Kartenmaterial von 1976 / 1977 bestehend aus:
 - einem Grundriss über den Gesamtplan der Basilika A und ihrer südöstlichen Annexe (ULBERT 1986, Beilage 1),
 - einer Ansicht der Innenseite der nördlichen Mittelschiffswand (Beilage 9),
 - einer Ansicht der Innenseite der südlichen Mittelschiffswand (Beilage 10).
- Zweitens, den in Kap. 3.2.5 bzw. 3.2.6 beschriebenen Tachymeter-Scans der ersten Messkampagne von 2002, bestehend aus:
 - dem westlichen kleinen Bogen der nördlichen Mittelschiffswand,
 - der östlichen Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand.

Vergleich TLS mit vektorisiertem Kartenmaterial

Für den Vergleich dieser unterschiedlichen Datenquellen sind die Bogenkanten der Innenseiten der Mittelschiffwände verwendet worden. Die zugehörigen Ansichten zeigen die Bereiche um die Bögen in vollem Ausmaß. In den Ansichten der Außenseiten verdecken die Außenmauern teilweise die Bogenbereiche.

Aus der gescannten Punktwolke mussten Schnitte der jeweiligen Mittelschiffswand gebildet werden, um einen direkten graphischen Vergleich mit dem vektorisierten Kartenmaterial zu ermöglichen. Dazu wurde die gesamte Punktwolke in das Programm *Autodesk* eingelesen und bearbeitet. Die gewünschten Bereiche konnten dann über einen vertikalen Schnitt mit variabler Breite - von den anderen Punktdaten getrennt - sichtbar gemacht werden. Zusätzlich sind in einem weiteren Arbeitsschritt die vektorisierten Ansichten in das erforderliche DWG-Format importiert worden, um anschließend die Vertikalschnitte aus beiden Datenquellen, getrennt für die nördliche und südliche Innenwand des Mittelschiffes bestmöglich visuell zur Deckung zu bringen. Erreicht wurde dies über Drehung, Verschiebung und Skalierung der importierten Vektordaten. Die bereits im Koordinatensystem *Resafa GKS02* orientierte Punktwolke blieb

dabei unverändert, diente somit als Maßstabsreferenz. Eine Übersichtsdarstellung ist in Abbildung 3.30 wiedergegeben. Der auf den Plänen angegebene Maßstab war erwartungsgemäß nicht so aussagekräftig. Die dortigen Längenmaße ergaben aber nur geringe Widersprüche. Für vergleichbare Längen konnten durch die programmgesteuerte Distanzmessung Unterschiede zum TLS im cm-Bereich ermittelt werden.

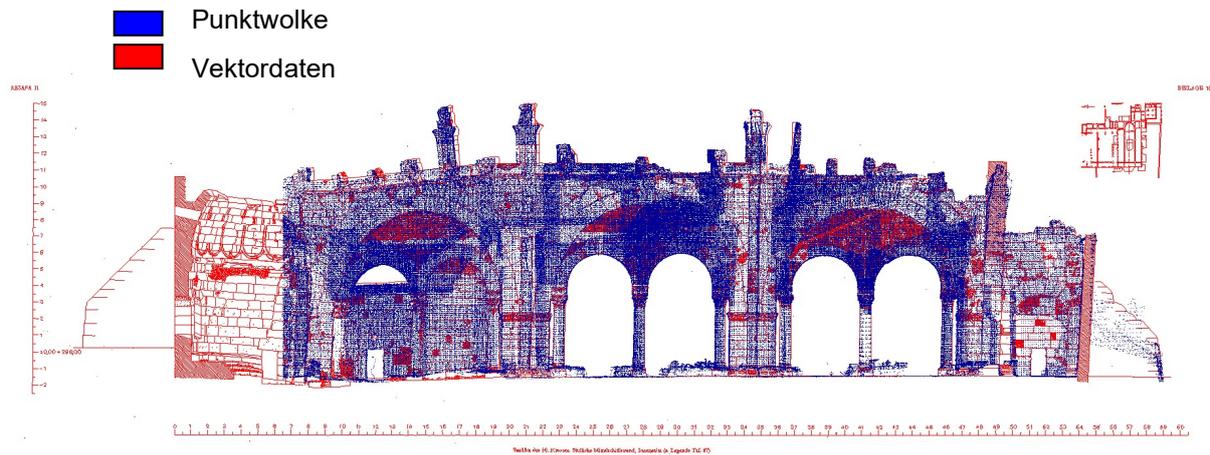


Abb. 3. 30 Überlappende Vertikalschnitte der Innenseite der südlichen Mittelschiffswand (mit den in die Weitarkaden eingestellten Doppelarkaden), gewonnen aus TLS und der vektorisierten Umzeichnung der Photogrammetrie von 1976 / 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9)

Zu erklären ist dies sowohl durch die erreichte Genauigkeit der damaligen Messungen als auch durch die Vorlage der Pläne auf Papier. Eine *exakte* Skalierung und Einpassung in das Koordinatensystem *Resafa GKS02* der gesamten Ansicht war demnach nur mit gewissen Einschränkungen möglich.

Für einen quantitativen Vergleich der Schnitte wurde der Kantenverlauf der Bögen an ausgewählten Punkten herangezogen und die Differenzen ebenfalls über das Programm Autodesk bestimmt. Die beiden Innenwände der Mittelschiffe ermöglichten den Vergleich an insgesamt elf Bögen. Der westliche kleine Bogen der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand ist komplett zugemauert (s. Abb. 3.30), der Kantenverlauf bei dem komplett zugemauerten Bogen somit nur zu erahnen. Am östlichen kleinen Bogen der östlichen Doppelarkade liegt nur eine teilweise Untermauerung vor, der obere Bereich ist noch offen, wodurch die Kantenlinie des Bogens hier deutlich erkennbar ist (s. Abb. 3. 32).

In allen sechs Bögen der Doppelarkaden der nördlichen Mittelschiffswand sowie in den vier westlichen Bögen der südlichen Mittelschiffswand lagen die Unterschiede bei nur 2-2,5 cm, die

beispielhaft in Abbildung 3.31 dargestellt sind. Diese Differenzen sind auf die Genauigkeit der Ansichten und Einpassung zurückzuführen und stellen keine signifikanten Setzungen dar.

Im Bereich der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand konnten jedoch Höhendifferenzen von 9,5-11,5 cm bestimmt werden (s. Abb. 3.32). Diese können mit geringer



Abb. 3.31 Differenzen an der westlichen Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand. Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung der Photo-grammetrie 1976/ 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9)

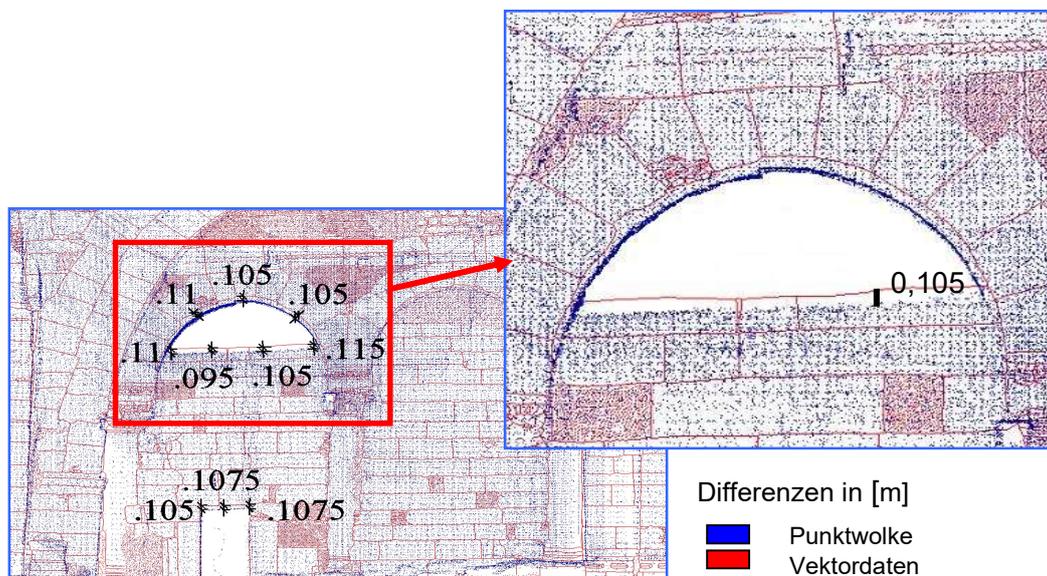


Abb. 3.32 Setzungsdifferenzen der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand. Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung der Photo-grammetrie 1976/ 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9)

Einschränkung als signifikante Setzungen interpretiert werden. Bringt man diesen Setzungsbetrag in Relation zur Zeitspanne von 1977 – 2006, dann entspricht dies einer Setzungsrate von durchschnittlich circa 3 - 4 mm pro Jahr und liegt somit durchaus in der durch das Wiederholungsnivellement festgestellten Größenordnung.

Dieser quantitative Vergleich lässt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Tendenz zu Setzungen der Basilika A im Bereich der östlichen Doppelarkade auch in neuerer Zeit erkennen. Bestätigt wird diese Aussage nochmals durch die digitale Betrachtung der gesamten südlichen Arkadenreihe (s. Abb. 3. 30), wobei die Oberkante des Bauwerks über den beiden westlichen Doppelarkaden im zu erwartenden Genauigkeitsrahmen sehr gut koinzidiert, über der östlichen Doppelarkade aber deutliche Differenzen auftreten.

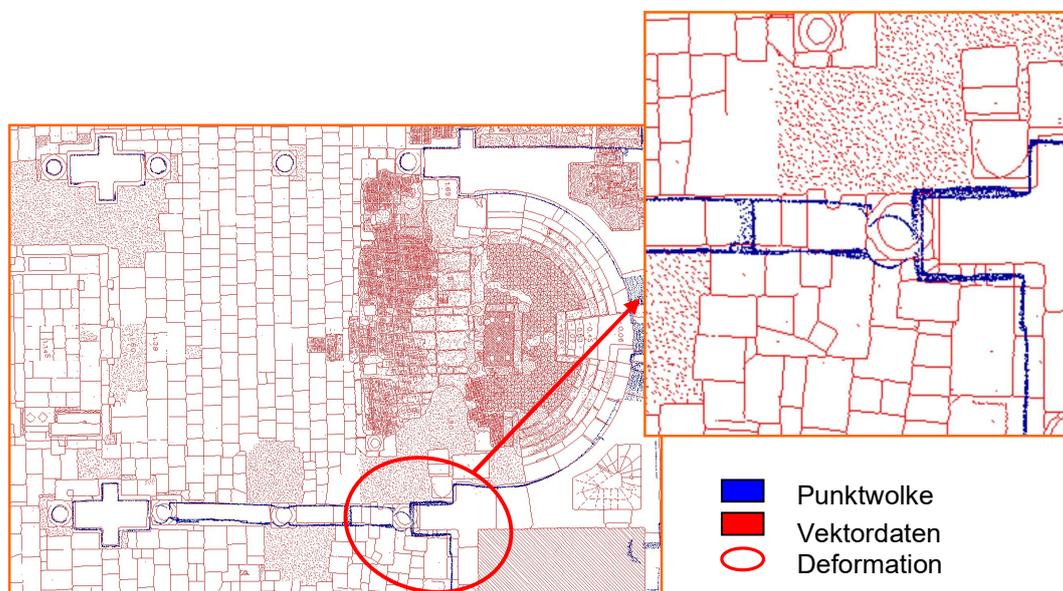


Abb. 3.33 Überlappung Punktwolke – Vektordaten (Grundriss, Bereich der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand am Übergang zur Apsis). Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung des Grundrisses (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 1)

Neben dem Vergleich der Vertikalschnitte kann auch eine Überlagerung der Grundrisse zur Detektion von Veränderungen, Deformationen herangezogen werden, wobei die Grundrisse auf direkten Messungen beruhen und vor Ort gezeichnet wurden und nicht – wie bei den Ansichten – durch photogrammetrische Bildauswertung entstanden. Die Vorgehensweise ist jedoch identisch zu der der Ansichten. Aus der Punktwolke konnten die relevanten Daten durch einen horizontalen Schnitt auf einem Niveau von 300 m Höhe gewonnen werden. Die

Unterschiede der einzelnen Gebäudekanten werden in Abbildung 3.33 graphisch deutlich, sind aber bei diesem Beispiel nicht quantifiziert worden. Wiederum wird im Bereich der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand am Übergang zur Apsis im Gegensatz zu den restlichen Bereichen des Bauwerks eine starke Veränderung der Grundrissituation erkennbar. Die südlich an die Apsis anschließende Wand hat sich merklich Richtung Westen bewegt. Die daran angrenzende östlichste Säule unterliegt ebenfalls einer Verschiebung in südwestliche Richtung. Insgesamt bestätigt auch dies das Einsinken des Bauwerks an der benannten Stelle.

Vergleich TLS mit Tachymeterscan von 2002

Für den Vergleich der gescannten Punktwolke mit den tachymetrisch gescannten Bögen sind die Punktinformationen der Messungen aus dem Jahr 2002 verwendet worden. Der westliche kleine Bogen und die östliche Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand sind in der ersten Messkampagne mit einem Präzisions-Tachymeter mittig mit einem Punktabstand von 1 cm gescannt worden. Die vorliegenden Daten wurden bereits im einheitlichen Koordinatensystem *Resafa GKS02* orientiert. Für den Vergleich beider Datenquellen erfolgte der Import der tachymetrisch gescannten Punkte in das TLS Auswerteprogramm CYCLONE (s. Abb. 3.24). Die damals reflektorlos beobachteten Punkte erfassen eine Linie entlang des Mittenprofils des jeweiligen Bogens. Im gleichen Bearbeitungsfenster sind anschließend die Bogenunterkanten der drei Bögen ebenfalls mittig mit einer vorgegebenen Breite von 5 cm aus der gesamten Punktwolke des Laserscans separiert worden. Der Vergleich der Vertikalschnitte der drei Bögen lässt keine Abweichungen erkennen, die über der Genauigkeit der TLS-Aufnahme von ca. 6 mm liegen. Diese Analyse ergab somit für den Zeitraum 2002 – 2006 keine signifikanten Höhenänderungen im Untersuchungsbereich der nördlichen Arkade, was auch den Ergebnissen des Wiederholungsnivellements, dargestellt in Abbildung 3.28 entspricht.

Insgesamt bestätigt diese Analyse der Deformationsmessungen an der Basilika A bereits jetzt die Vermutung, dass im Bereich der über Jahrhunderte dramatisch nach Osten hin abgesunkenen südlichen Arkaden weiterhin Setzungen stattfinden.

Durch das Wiederholungsnivellement konnten Deformationen an der Innen- und an der Außenseite der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand und an der dazu

parallelen Innenseite der Außenwand des südlichen Seitenschiffes zwischen 1,9-2,2 mm detektiert werden. Die signifikantesten Setzungen liegen am Übergang der Apsis zur östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand.

Bewertung der vergleichenden Messungen von 2002 und 2006

Der Vergleich der *Laserscannermessung* mit den *photogrammetrisch erstellten Plänen aus den späten siebziger Jahren* bestätigt die Nivellementergebnisse; es konnten **Setzungen von wenigen mm pro Jahr** abgeleitet werden. Auch wenn es sich anhand der bestmöglich überlagerten digitalen Pläne nur um Tendenzen handelt, ist deutlich zu erkennen, dass die Senkungen kein abgeschlossener Prozess sind. Besonders markant erscheint die Setzung durch den Vergleich der Ansicht der südlichen Arkade mit dem vertikalen Schnitt durch die Punktwolke.

Der Vergleich der *Tachymeterscans* an drei Bögen der nördlichen Arkaden mit den Ergebnissen des *Laserscans* erwies sich als **bedingt aussagekräftig**, da mit dem Tachymeter lediglich ein Profil pro Bogen mit einem Punktabstand von 1 cm gemessen werden konnte. Die Streuung der Punktwolke um diese Profile lag im Rahmen der Scannermessgenauigkeit von 6 mm, die mittlere Profilgenauigkeit kann jedoch durch die hohe Punktdichte mit ca. 2 mm abgeschätzt werden. Dies ermöglicht aber immer noch nicht, über den Zeitraum 2002 bis 2006 eventuell stattgefundenen Deformationen von höchstens einigen Millimetern am östlichen Doppelbogen signifikant nachzuweisen. Der aber im Jahre 2002 durchgeführte *Vergleich mit den Plänen von 1976 / 1977* (s. LINDEMANN U. SCHULZ 2003), der ebenfalls zu einer Senkungsrate von ca. **1,9 mm / Jahr** in diesem Bereich führte (s. Abb. 3.16), koinzidiert gut mit dem oben beschriebenen Gesamtergebnis. Auch der Grundrissvergleich stützt zumindest die These, dass sich die signifikanten Deformationen im Übergangsbereich zwischen der Hauptapsis und der südlichen Mittelschiffswand der Basilika A nachweisen lassen.

Für eine präzisere, zukünftige Beurteilung von möglichen Neigungs- und Senkungsbewegungen aller Arkaden, bietet sich eine identische Modellierung von Formen oder genau festgelegten kleineren Flächen an, z.B. bestimmte markante Steine der Bögen (s. a. Kap. 3.5). Dieses kann jedoch erst durch eine erneute Scannermessung realisiert werden.

Die quantitative Analyse der Messungen zwischen 2002 und 2006 verdeutlicht dennoch die Größenordnung der stattfindenden Setzungen. Bekräftigt wird der Befund durch die

Entwicklungen über den erweiterten Zeitraum von 1977 bis 2006. Somit ist empirisch nachgewiesen, dass der **Deformationsprozess des Untergrundes kein abgeschlossener Vorgang** ist. Vielmehr kann man davon ausgehen, dass eine „quasi-stetige“ Setzung des Bodens unterhalb der südöstlichen Doppelarkade stattfindet. Unklar ist, ob es sich bei diesen Bewegungen um einen linearen Prozess mit gleichmäßigem Setzungsverhalten handelt, oder aber auch sprunghafte plötzliche Bodensetzungen befürchtet werden müssen. Ohne eine im Konzept (s. Kap. 3.1) bereits geforderte erneute Messkampagne mit einem Zeitversatz von ca. 10 Jahren, kann dazu keine zuverlässige Aussage getroffen werden.

3.5 Modellierung der Weitarkaden aus TLS Messungen

Wie bereits erwähnt muss der Formbestimmung der Arkadenbögen und ihrem Vergleich große Bedeutung beigemessen werden, da ihre Formveränderungen sehr sensitiv auf Setzungen reagieren. Mit dem TLS stand nun bei der Messkampagne 2006 ein Messverfahren zur Verfügung, das nahezu perfekt geeignet ist, diese Formen mit relativ geringem Aufwand umfassend digital zu bestimmen.

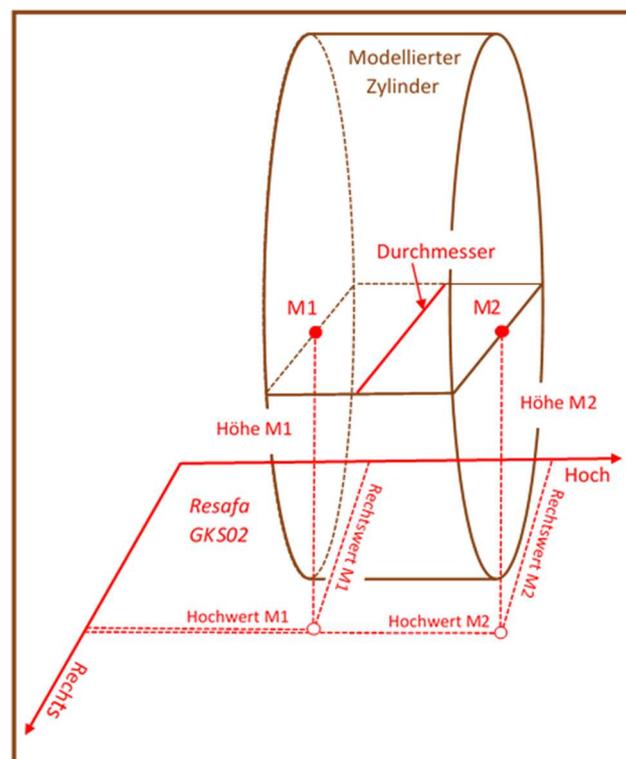
Sowohl die nördlichen als auch südlichen Arkaden der Basilika A sind daher mit einem feinen Raster von 6 x 6 mm gescannt worden. Somit wurde ein optimales Verhältnis von Strahldivergenz und Winkelschrittweite erreicht, welches ein entscheidender Einflussfaktor auf die Genauigkeit der abzuleitenden Ergebnisse ist. Zusätzlich wurde jeder Bogen von mindestens zwei Scannerstandpunkten aus verschiedenen Richtungen aufgenommen. Hierdurch konnten schleifende Schnitte vermieden und der Auftreffwinkel verbessert werden.

Um zukünftige Deformationen an der Basilika A mit Hilfe von TLS zu bestimmen, sind die in die markanten Weitarkaden eingestellten Doppelarkaden der Mittelschiffswände an der Nord- und der Südseite besonders geeignet, da sie eindeutige Kanten, Flächen und Formen aufweisen.

Eine Möglichkeit, um diese Deformationen an der Basilika A in einer *kommenden Wiederholungsmessung* anhand erneutem Laserscanning zu bestimmen, ist die *identische Modellierung* der gescannten Bögen zwingend. Hierzu wird nachfolgend folgender Vorschlag ausgeführt: Alle sechs Bögen der nördlichen Mittelschiffswand sowie die fünf nicht zugemau-

Tab. 3.4 Anfangswerte und Ausdehnung der Limitboxen der kleinen Arkadenbögen in CYCLON

Bogen	Anfangswert			Ausdehnung		
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Tiefe [m]
1	13 478 212,118	3 944 497,300	302,000	5,000	2,500	0,500
2	13 478 217,211	3 944 497,300	302,000	5,000	2,500	0,500
3	13 478 225,993	3 944 497,000	302,000	4,580	2,500	0,500
4	13 478 230,815	3 944 497,400	302,000	5,000	2,500	0,500
5	13 478 239,177	3 944 497,600	302,000	5,000	2,500	0,500
6	13 478 243,912	3 944 497,700	302,000	5,000	2,500	0,500
7	13 478 248,660	3 944 484,300	302,700	5,000	1,500	0,500
8	zugemauert					
9	13 478 235,259	3 944 484,285	302,000	5,000	2,500	0,500
10	13 478 230,792	3 944 484,285	302,000	5,000	2,500	0,500
11	13 478 222,592	3 944 484,405	302,000	5,000	2,500	0,500
12	13 478 217,096	3 944 484,200	302,000	5,000	2,500	0,500

**Abb. 3.34** Parameter des modellierten Zylinders

Tab. 3.5 Koordinaten (*Resafa GKS02*) und geometrische Parameter der modellierten Zylinder der kleinen Arkadenbögen der nördlichen und südlichen Mittelschiffswand der Basilika A

Bogen / Zylinder	*)	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	Durchmesser [m]	ESD [cm]
1	M1	13 478 214,608	3 944 496,634	302,178	3,950	0,030
	M2	13 478 214,659	3 944 497,433	302,136		
2	M1	13 478 219,431	3 944 496,708	302,144	3,965	0,025
	M2	13 478 219,462	3 944 497,389	302,137		
3	M1	13 478 228,218	3 944 496,884	302,208	3,875	0,019
	M2	13 478 228,213	3 944 497,428	302,214		
4	M1	13 478 232,993	3 944 496,849	302,182	3,857	0,011
	M2	13 478 232,982	3 944 497,439	302,171		
5	M1	13 478 241,602	3 944 497,617	301,841	3,854	0,028
	M2	13 478 241,604	3 944 497,094	301,837		
6	M1	13 478 246,385	3 944 497,792	301,714	3,819	0,028
	M2	13 478 246,407	3 944 497,137	301,709		
7	M1	13 478 245,906	3 944 484,216	301,929	3,176	0,020
	M2	13 478 245,906	3 944 484,216	301,929		
8		zugemauert				
9	M1	13 478 233,066	3 944 484,247	302,189	3,862	0,009
	M2	13 478 233,057	3 944 484,802	302,202		
10	M1	13 478 228,283	3 944 484,201	302,287	3,778	0,015
	M2	13 478 228,277	3 944 484,723	302,292		
11	M1	13 478 219,727	3 944 484,334	302,108	3,938	0,011
	M2	13 478 219,718	3 944 484,885	302,098		
12	M1	13 478 214,769	3 944 484,021	302,093	4,059	0,027
	M2	13 578 214,792	3 944 484,762	302,048		

*) M1: Mittelpunkt Grundfläche M2: Mittelpunkt Deckfläche

erten Bögen der südlichen Mittelschiffswand wurden mittels CYCLON durch die geometrische Regelfläche eines Kreiszylinders modelliert. Dazu wurde die georeferenzierte Punktwolke für

jeden Bogen durch Verwendung von „Limit Boxen“ mit dokumentierter Breite, Tiefe und Höhe (s. Tab. 3.4) begrenzt.

Die Nummerierung der Bögen beginnt hierbei am westlichen kleinen Bogen der nördlichen Mittelschiffswand und weiter fortlaufend im Uhrzeigersinn. In der jeweils festgelegten Box konnte aus der Punktwolke des Bogens ein Kreiszyylinder modelliert werden, der durch Mittelpunkt, Tiefe, Durchmesser und berechnete Standardabweichung (ESD, experimental standard deviation) eindeutig bestimmt ist (s. Tab. 3.5 und Abb. 3.34). Bei Verwendung der identischen Begrenzungswerte kann in einer zweiten Messepoche durch Vergleich der Koordinaten der Mittelpunkte eine mögliche Aussage über stattgefundenene Deformationen getroffen werden.

4. 3D - Bestandsdokumentation ausgewählter Objekte in Resafa

Mit der Einführung des terrestrischen Laserscannings (TLS) in den 1990er Jahren als geodätische Messmethode zur berührungslosen, geometrischen Erfassung von Objekten und Objektstrukturen war absehbar, dass sich dieses Messverfahren auch bei der Aufnahme von archäologischen Bauwerken bewähren würde. Da neben den Koordinaten der Oberflächenpunkte auch ihre Intensitätswerte ermittelt werden und somit ein direktes Grauwertbild vorliegt, stand das TLS als bildgebendes Verfahren in direkter Konkurrenz zur bewährten terrestrischen Photogrammetrie.

Nachdem die instrumentelle Entwicklung bezüglich Handhabung, kompakter Bauweise, Genauigkeit und Stromversorgung genügend weit vorangeschritten war, konnte der Einsatz dieser neuen Technologie bei der Messkampagne im Jahre 2006 erstmals erprobt werden. Lag hierbei die Zielsetzung anfänglich nur darin, die tachymetrischen Scans (s. Kap. 3.2.5) durch TLS für die Deformationsanalyse zu ersetzen, so zeichnete sich schon während der Messkampagne ab, dass gleichzeitig eine gesamte 3D-Objektdokumentation der Basilika A den Zeitrahmen nicht erheblich sprengen würde.

Nachdem sich dieser erste praktische Feldeinsatz in Resafa bewährt hatte und die häusliche Auswertung und Erstellung eines georeferenzierten 3D-Modells der gesamten Basilika A ermöglicht wurde, waren die Vorteile dieses Messverfahrens offensichtlich, so dass man sich entschloss, auch weitere wichtige Bauwerke durch TLS zu erfassen und die Methode in die laufenden Projekte einzubeziehen. Da bezüglich der Dokumentation detailreicher Strukturen wie z.B. Kapitelle, Mauerstrukturen, Risse usw. keine Erfahrungen vorlagen, wurde entschieden, zusätzlich die analoge und digitale Photogrammetrie einzusetzen; dies auch deshalb, um die bei TLS unvermeidbaren abgeschatteten Bereiche zu ergänzen (s. Kap.5). Die rechentechnische Kombination der digitalen Bildinformation mit den Punktwolken, erfasst durch TLS, werden dort nur beispielhaft behandelt, da hierzu anfangs nur unzureichend erprobte Software zur Verfügung stand. Mittlerweile sind heute zahlreiche Softwaretools verfügbar, die es ermöglichen das umfangreiche Datenmaterial von TLS und digitaler Photographie *gemeinsam* auszuwerten, sodass die Vorteile beider Verfahren zu einer *optimalen* 3D-Bestandsdokumentation führen.

4.1 Basilika A (Messkampagne 2006 und 2007)

Heister H., Kowoll D., Liebl W., Stephani M., Sternberg A.

Die Messkampagne 2006 wurde bereits in Kap. 3. ausführlich beschrieben. Hier erfolgt nun die Darstellung der Messmethode des Laserscannings (TLS) für die *Bestandserfassung* der Basilika A. Wie bereits oben erwähnt kam zusätzlich noch die terrestrische Photogrammetrie zum Einsatz, um die unvermeidbaren Nachteile des TLS zu kompensieren.

4.1.1 Messmethode und Konzeption

Für die Erfassung der Basilika A wurde 2006 der terrestrische Laserscanner HDS 3000 der Firma Leica Geosystems ausgewählt (s. Abb. 4.1). Das Gerät misst die Distanz nach dem Impulslaufzeitverfahren. Es ist als Panorama-Scanner ausgelegt mit zwei Scan-Fenstern, wodurch ein maximaler Scan-Bereich von 360° (horizontal) x 270°(vertikal) erreicht wird. Der Laserscanner verfügt zusätzlich über eine integrierte Digitalkamera mit einer Auflösung von 1024 x 1024 Pixel für automatisch kalibrierte Farbbild-Overlays. Weitere technische Details sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Vor dem Scannen können Bildausschnitt, Scan-Bereich und Auflösung frei definiert werden. Dadurch ist es möglich, bestimmte Bereiche mit einer höheren Datendichte zu erfassen. Dies war besonders vorteilhaft, um die Erfassung zur Dokumentation und Deformationsbestimmung, die ohne Zweifel die höchste Auflösung verlangte, zu kombinieren.

Tab. 4.1 Herstellerangaben für den terrestrischen Laserscanner Leica HDS 3000

Reichweite	1 m – 100 m
Positionsgenauigkeit	6 mm / 50 m
Distanzgenauigkeit	4 mm / 50 m
Divergenz	< 6 mm bis 50 m (0,12 mrad)
Geschwindigkeit	1800 Pkte. / s

Das Genauigkeitsspektrum des terrestrischen Laserscanners hängt von verschiedenen Faktoren ab; sie sind in KOWOLL U. STERNBERG 2007 näher erläutert. Neben dem Entfernungsmessverfahren ist dies insbesondere der Auftreffwinkel des Laserstrahls sowie die Oberflächen-

beschaffenheit und Materialeigenschaft. Deshalb können die in Tabelle 4.1 angegebenen Genauigkeitswerte auch nur als Anhalt interpretiert werden.



Abb. 4.1 Terrestrischer Laserscanner Leica HDS 300 mit spezieller Zielmarke und Wandadapter (2006)

Die Registrierung bzw. Georeferenzierung von Laserscans verlangt die Einpassung (Transformation) in ein bestehendes Festpunktfeld. Hierzu wurde das vorhandene Präzisionslage- und -Höhennetz durch zusätzliche tachymetrische Messungen zur Koordinatenbestimmung ergänzt (s. Kap. 3.3.2). Zur Erfassung der Zielpunkte beim TLS musste das bestehende Zentriersystem mit Wandadaptern um spezielle für den HDS 3000 geeignete Zielmarken (s. Abb. 4.1 rechts) ergänzt werden. Hierdurch war es möglich, alle Scans und damit 3D-Modelle mit höchster Genauigkeit in das Koordinatensystem *Resafa GKS02* zu transformieren.

4.1.2 Durchführung der Messungen mit TLS

Wie bereits erwähnt, wurden aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen die Scans mit verschiedenen Auflösungen durchgeführt. Für die 3D-Modellierung und die Visualisierungen sind für den Innenraum Punktabstände im Raster von 12 x 12 mm und für den Außenraum 15 x 15 mm festgelegt worden. Für die Deformationsuntersuchungen im Bereich der Arkaden wurden die Abstände auf 6 x 6 mm reduziert, um für diese spezielle Aufgabe die höchstmögliche Datendichte zu gewinnen. Die gesamte Erfassung der Basilika erfolgte von 21 Standpunkten (s. Abb. 4.2).

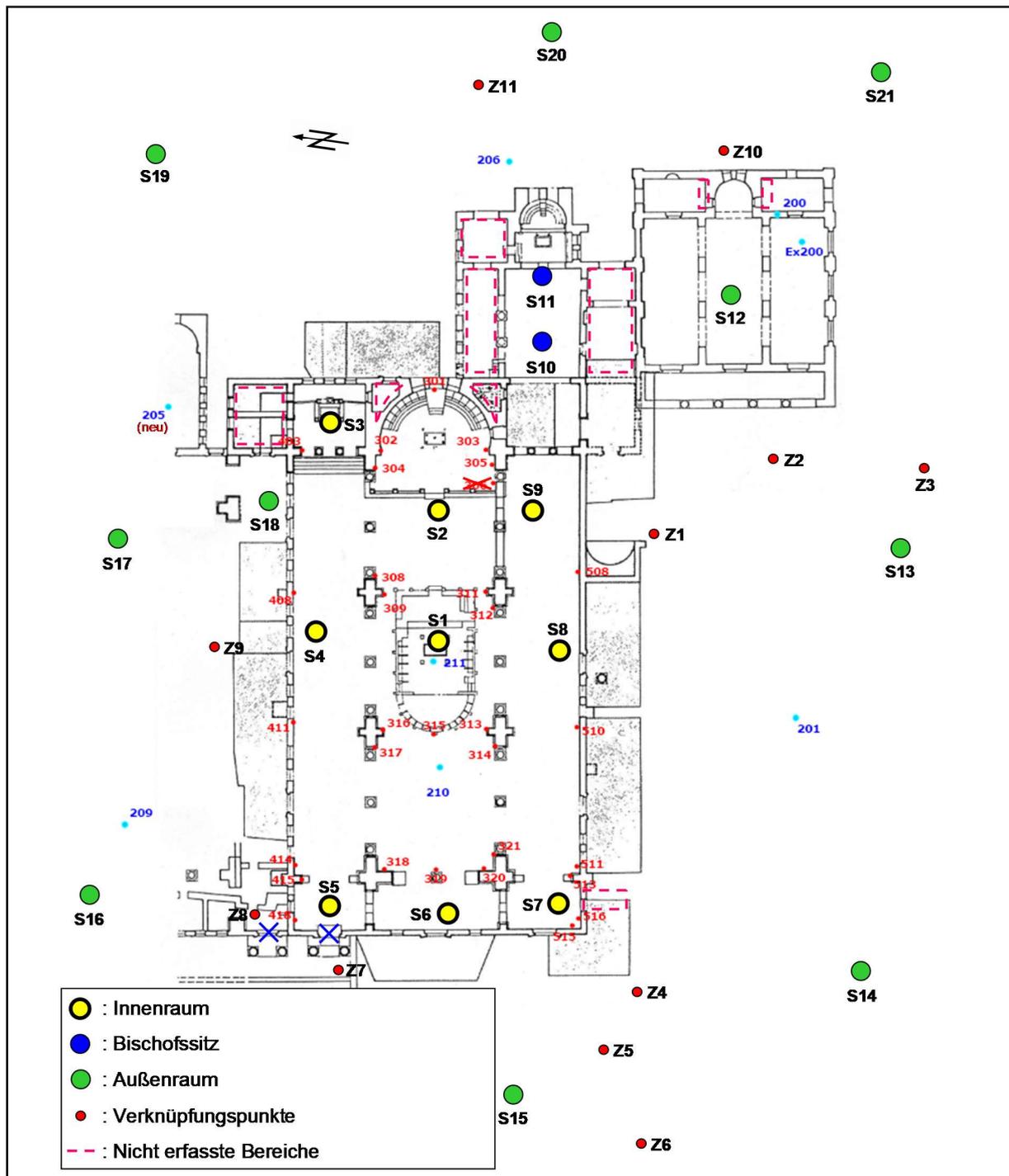


Abb. 4.2 Scannerstandpunkte zur Erfassung der Basilika A, Messkampagne 2006

Bei der Auswahl der 11 Scannerstandpunkte (S1, ... , S11) im Innenbereich wurde zur Gewinnung optimaler Messinformationen ein möglichst günstiger Auftreffwinkel auf markante Flächen angestrebt. Hierzu zählen vor allem die in die Weitarkaden eingestellten Doppelarkaden und die Apsis. Ein weiteres Kriterium für die Standortwahl war die Erfassung von möglichst vielen Zielzeichen bzw. Festpunkten, um die Verknüpfung der Punktwolken und

die Georeferenzierung mit höchster Genauigkeit zu gewährleisten; hierbei wurde eine Dichte zwischen 5 bis 11 koordinatenmäßig bekannten Punkten erreicht.

Im Außenbereich wurden aufgrund der weniger hohen Dichte bekannter Festpunkte vorrangig temporär aufgebaute und nicht vermessene Zielzeichen verwendet, die deshalb nur als reine Verknüpfungspunkte dienten (s. Abb. 4.2). Im Bereich der doppelgeschossigen Anlage, mit nur geringen Anschlussmöglichkeiten zu benachbarten Punktwolken, konnten die vermarkten und vorher in der Lage tachymetrisch bestimmten Festpunkte für die Registrierung genutzt werden. Die Scandauer war von Standpunkt zu Standpunkt unterschiedlich und lag zwischen 2 und 7,5 Stunden; diese Messzeit wurde zum einen durch die Aufbau- und Orientierungszeit, zum anderen vor allem aber durch die Größe des zu scannenden Bereiches bestimmt. Während dieser oft langen Messperioden mussten die starken Temperaturänderungen durch regelmäßige Temperaturerfassung berücksichtigt werden. Einmal musste wegen eines Sandsturmes die Messung abgebrochen werden.

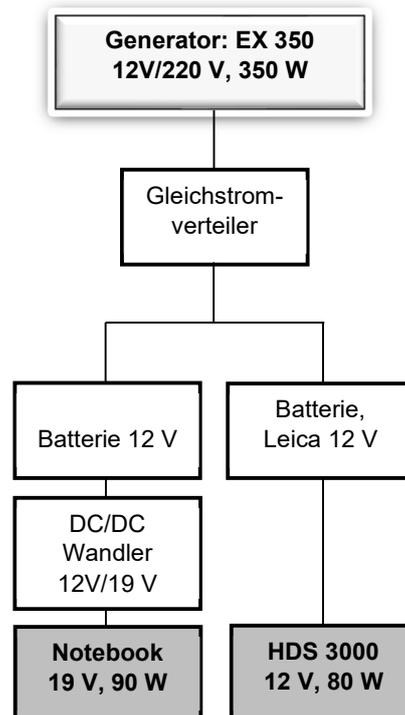
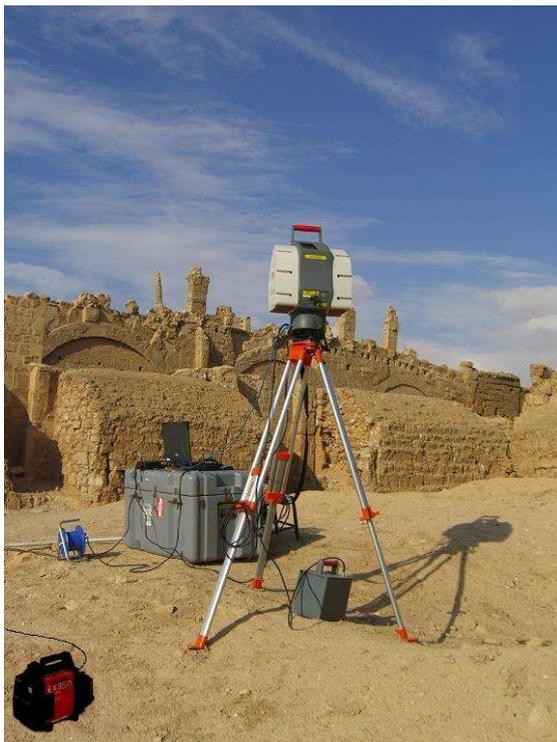


Abb. 4.3 Scanner Leica HDS 3000 mit Notebook und Generator Honda EX 350 (links), Konzept der unterbrechungsfreien Stromversorgung (rechts) (2006)

Von größter Bedeutung für einen erfolgreichen Messablauf war die Sicherstellung der unterbrechungsfreien Stromversorgung von Laserscanner und Notebook, das zur Steuerung des Scanners und Abspeicherung der Messdaten diente. Die im Zubehör des Scanners

vorgesehenen zwei Batterien sind jeweils für eine Nutzung von 4 Stunden ausgelegt. Durch Anschluss des Laptops verringerte sich die Nutzungszeit auf circa 2,5 Stunden. Für einen reibungslosen Ablauf wurde deshalb der tragbare Generator EX 350 der Fa. Honda (s. Abb. 4.3) mit einer Leistung von 350 Watt bei 220 V AC~ eingesetzt, der zusätzlich über einen 12V DC=Ausgang verfügt. Somit konnten zwei 12V Batterien als Puffer zwischengeschaltet werden, um die Qualität des Gleichstroms zu garantieren und unvermeidbare Stromausfälle des Generators zu überbrücken.

Außerdem konnten zu allen Scans mit der geräteinternen Kamera 360° Panoramabilder von jedem Standpunkt angefertigt werden. Diese dienen vorrangig dem Auswerter zur Orientierung, sind natürlich auch für weiterführende Anwendungen nutzbar (s.a. Kap. 4.1.3).

4.1.3 Auswertung der Laserscans zum georeferenzierten digitalen 3D-Modell der Basilika A

Die Weiterverarbeitung der durch TLS gewonnenen Daten erfolgte ausschließlich mit dem für den Scanner HDS 3000 vorgesehen Auswerteprogramm CYCLONE (s.a. Abb. 3.24) der Fa. Leica Geosystems. Für eine detaillierte Beschreibung der notwendigen Arbeitsschritte wird wieder auf KOWOLL U. STERNBERG 2007 verwiesen. Nachfolgend werden nur die wichtigsten Fakten und Ergebnisse zusammengestellt.

Nach Abschluss der Laserscanaufnahme lagen 21 einzelne Rohdatensätze der jeweiligen Standpunkte getrennt vor. Ein einzelner Rohdatensatz besteht dabei aus mehreren Punktwolken. Diese sind jedoch bereits zueinander orientiert, da sie von einem identischen Standort ohne Veränderung der Geräteposition aufgenommen wurden. Die einzelnen Punktwolken sind unterschiedlichen Bereichen des Objektes zugeordnet. Weiterhin liegen mit gleicher Orientierung die Daten der vom jeweiligen Standpunkt gescannten Zielzeichen vor.

Als erster Arbeitsschritt erfolgt die Registrierung der einzelnen Rohdatensätze. Hierzu wird ein weiterer Datensatz importiert, der alle verwendeten Zielzeichen mit den dazugehörigen Koordinateninformationen in Lage und Höhe im System *Resafa GKS02* enthält.

Anschließend erfolgt dann die Verknüpfung der einzelnen Rohdatensätze über die jeweils identischen Zielzeichen. Gleichzeitig wird über den importierten Datensatz mit den Punktkoordinaten die Georeferenzierung aller vorhandenen Rohdaten durchgeführt, wodurch dann alle Koordinateninformationen des Scannens im Bezugssystem *Resafa GKS02* vorliegen.

Insgesamt sind in die Berechnung der Registrierung 158 Zielzeichen eingegangen. Als Ergebnis wird dabei auch eine Genauigkeitsinformation angegeben, die Restklaffung der Koordinaten für jedes Zielzeichen. Im Maximum lag die 3D-Komponente der Restklaffungen bei 6 mm und somit innerhalb der Messgenauigkeit des HDS 3000. Anhand der angegebenen Werte wurde auch deutlich, dass die Abweichungen in der Lage mit durchschnittlich 4-5 mm höher sind als in der Höhe; hier betragen sie durchschnittlich lediglich 1-2 mm. Mit den erreichten Genauigkeiten lassen sich jedoch alle gesteckten Zielsetzungen realisieren.

Ein weiterer Arbeitsschritt diente der Bereinigung der registrierten / georeferenzierten Punktwolke. Durch die Verknüpfung aller 357 gescannten Punktwolken entstand ein Datensatz mit einem Umfang von insgesamt ca. 84,7 Millionen einzelnen Punkten. Beim Scannen lässt sich nicht vermeiden, Punkte im Umfeld zu erfassen, deren Anzielung zufällig war und die für die weitere Verarbeitung und Modellierung ohne Bedeutung, ja hinderlich sind. Diese Vielzahl von „Nicht-Objektpunkten“ führt zu einer sehr unübersichtlichen Darstellung des eigentlichen Objektes. Für eine anschaulichere Darstellung und als Voraussetzung für weitere Arbeiten mit der Punktwolke wurde diese durch Eliminierung fehlerhafter und unbrauchbarer Punkte bereinigt. Nach diesem Arbeitsschritt konnten dann alle einzelnen Punktwolken zu einer einzigen, dem digitalen 3D-Modell der Basilika A, vereinigt werden.

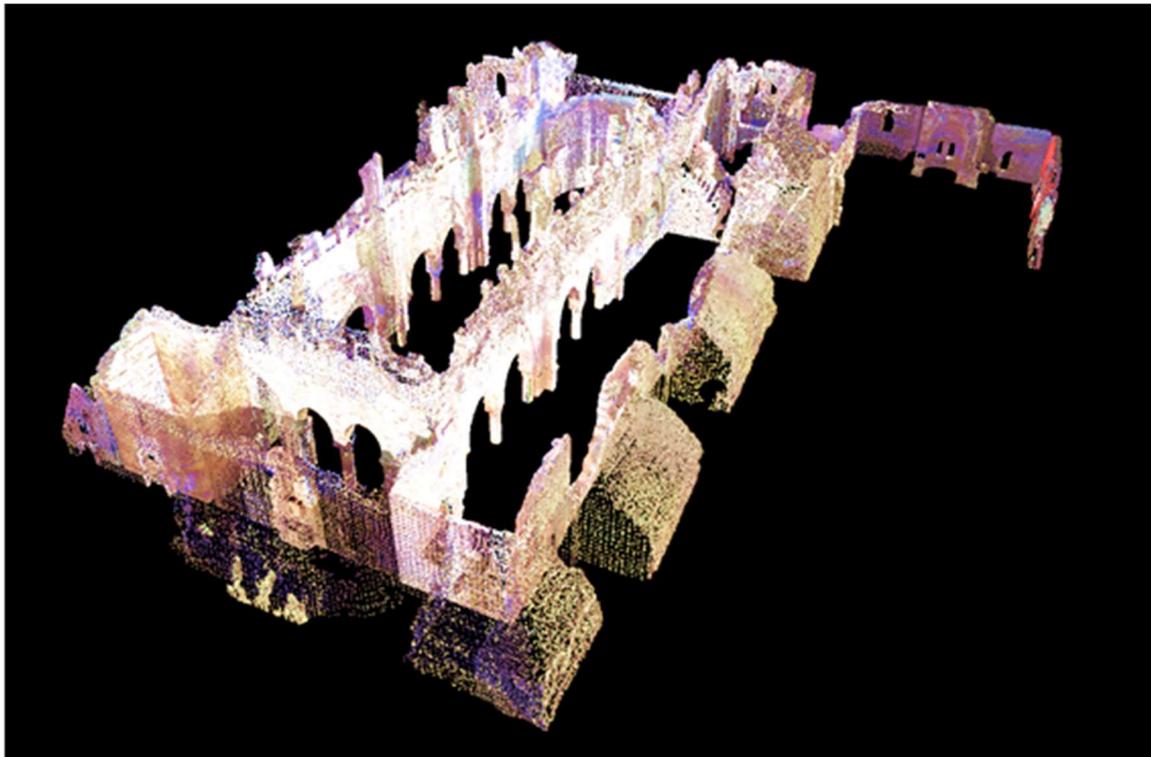


Abb. 4.4 Dreidimensionales, georeferenziertes Modell der Basilika A (bereinigt) (2006)

Abschließend können die einzelnen Objektpunkte noch mit den Farbwerten des Panoramabildes codiert werden (s. Abb. 3.25). Durch diese realitätsnahe Darstellung wird die Übersicht innerhalb der Punktwolke nochmals gesteigert. Die bereinigte Punktwolke kann für weitere Untersuchungen im gleichen Programm bearbeitet oder für Anwendungen in anderen Programmen exportiert werden. Abbildung 4.4 zeigt das vollständige und bereinigte, farbcodierte 3D-Modell der Basilika A.

Alle Daten der TLS-Aufnahme wurden im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

4.1.4 Abgeleitete geometrische Informationen

Zur Überprüfung der Statik und für die Planung von Konsolidierungs- und Restaurierungsmaßnahmen im Innenbereich der Basilika A war es notwendig, an ausgewählten Stellen geometrisch korrekte Informationen über die Schiefstellung und Dicke der Außenmauern der Seitenschiffe zu gewinnen. Hierzu eigneten sich in besonderem Maße die bereits durchgeführten Scans bzw. das in Abschnitt 4.1.3 gewonnene georeferenzierte 3D-Modell der Basilika A.

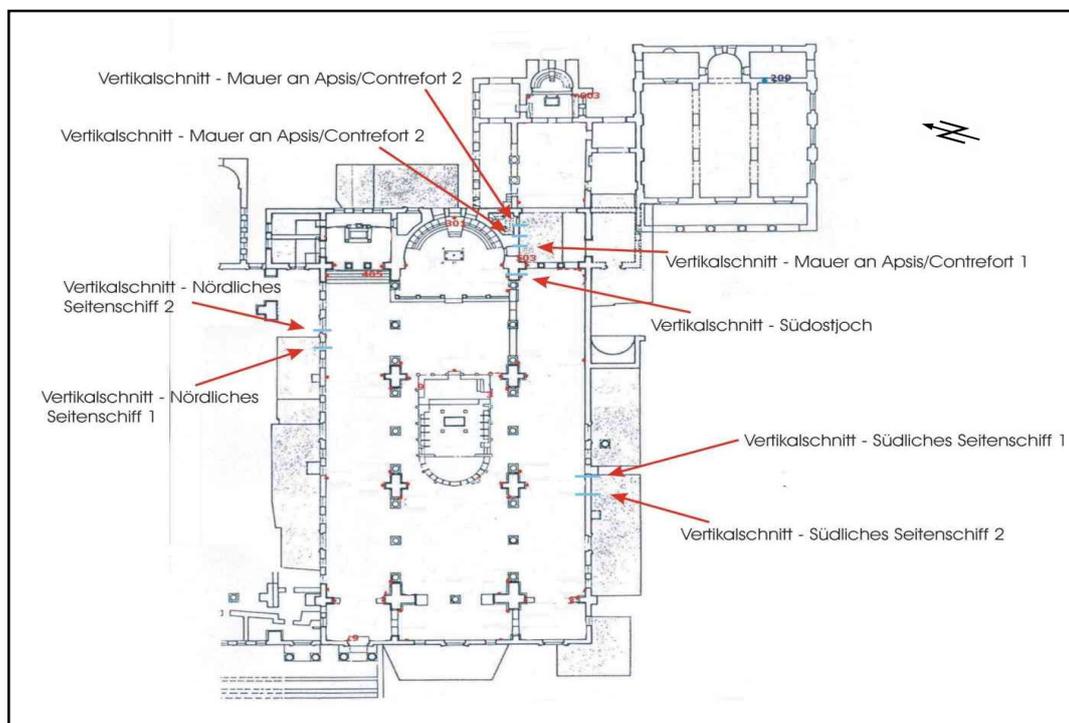


Abb. 4.5 Lage der Vertikalschnitte in der Basilika A (2007)

Vorort wurden während der Messkampagne 2007 die kritischen Bereiche (s. Abb. 4.5) festgelegt, fotografiert und koordinatenmäßig bestimmt (NICHELMANN 2007), so dass die interessierenden Stellen schnell und zuverlässig im 3D-Modell aufzufinden waren. In häuslicher Ausarbeitung konnten dann die entsprechenden Bereiche nachbearbeitet werden.

Insgesamt wurden 8 Vertikalschnitte (s. Abb. 4.5) mit Hilfe des Programms *AutoCAD* ausgewertet, von denen hier zwei beispielhaft dargestellt sind. Abbildung 4.6 zeigt in der oberen Hälfte ein Foto des kritischen Bereichs mit der markierten Lage der Vertikalschnitte. Im unteren Teil der Abbildung ist dann der extrahierte Vertikalschnitt sowie das Ergebnis der Auswertung zu sehen mit Angabe des Überhangs, der Höhe und dem Neigungswinkel bezogen auf die Lotrechtstellung des Objektes.

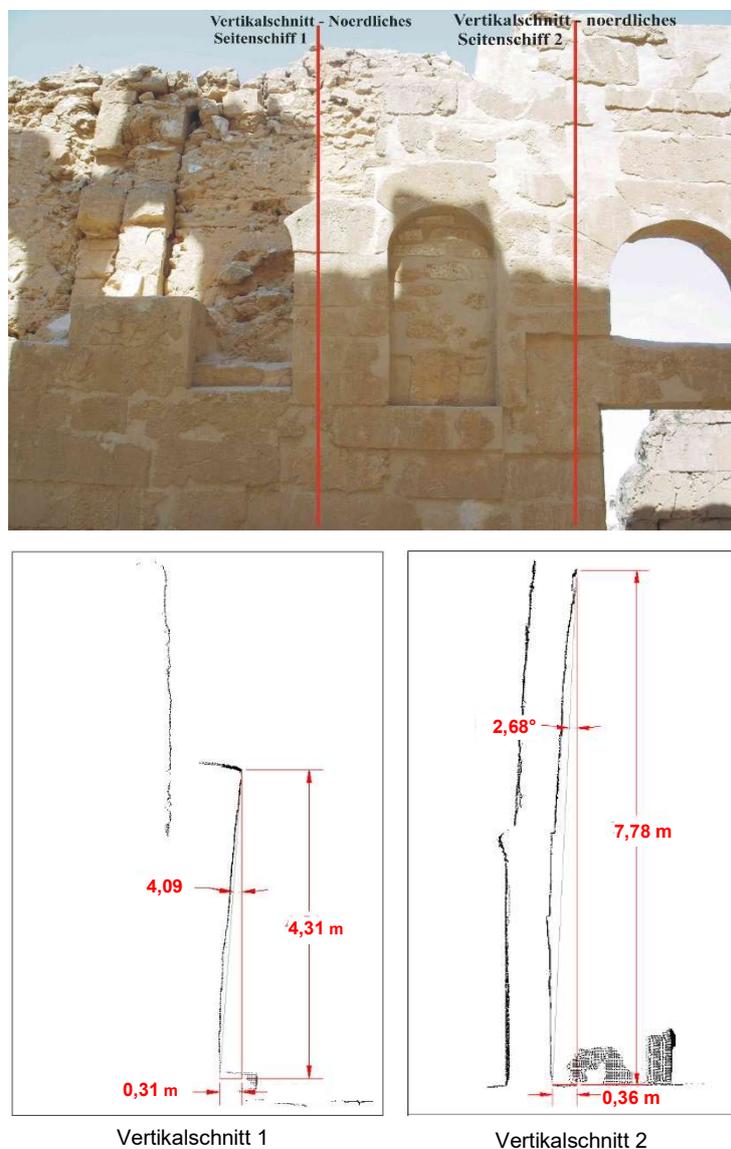


Abb. 4.6 Vertikalschnitte am nördlichen Seitenschiff der Basilika A (2007)

Die Punktwolken im Bereich aller Schnitte, Fotos sowie ihre Lage und die Zusammenstellung aller Ergebnisse einschließlich der berechneten Neigungswinkel sind wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

4.1.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der Meßkampagne 2006 wurde erstmals in Resafa mit dem terrestrischen Laserscanner HDS 3000 der Fa. Leica Geosystems die Scannertechnologie eingesetzt, anfangs mit der Zielsetzung, Deformationen der Basilika A abzuleiten, dann jedoch, um eine vollständige 3D-Dokumentation des gesamten Gebäudes im Koordinatensystem *Resafa GKS02* zu realisieren. Die fast vollständige Erfassung der Basilika A mit dem terrestrischen Laserscanner ermöglichte zusätzlich die 3D-Visualisierung des Bauwerkes aus unterschiedlichen Betrachtungsrichtungen. Hierdurch konnten unvermeidbare Lücken in der Datenerfassung mittels TLS detektiert werden. In diesem Zusammenhang wurden auch Lösungsansätze präzisiert, um Scanner- und photogrammetrische Aufnahmen, die mit der Teilmesskammer ROLLEI SLX Distagon50 erstellt wurden, so zu kombinieren und gemeinsam auszuwerten, dass die Vorteile beider Messtechniken zu einem optimalen, lückenlosen Ergebnis führen (s. a. Kap. 5.)

Nach den verheerenden kriegerischen Auseinandersetzungen in den letzten 10 Jahren in diesem Gebiet dürfte auch *Resafa*, insbesondere die Basilika A von Zerstörungen nicht verschont geblieben sein, so dass dieser digitalen Dokumentation eine besondere Bedeutung zukommen wird.

In zukünftigen Projektphasen können die entstandenen Daten der geodätischen Messkampagnen in ein neu zu schaffendes Geoinformationssystem (GIS) „*Resafa*“ integriert werden, um dann eine Kombination der heterogenen Datenbestände und anderer Informationen zu realisieren. Das GIS ermöglicht eine strukturierte Verknüpfung, eine anschauliche Aufbereitung und eine einfache Aktualisierung des gesamten Datenbestandes. Die bestehenden Daten können sowohl für die Arbeiten zum Erhalt der Ruinen wie auch im Rahmen der kulturtouristischen Erschließung genutzt werden.

4.1 Zentralbau (Messkampagne 2008)

Heister H., Liebl W., Sternberg A., Stephani M.

Die Messkampagne zur Erfassung des Zentralbaus (s. Abb. 4.7) fand vom 15.09. bis 27.09.2008 statt. Teilnehmer der Kampagne waren H. Heister, UniBwM, Neubiberg (techn. Leitung), W. Liebl, UniBwM, Neubiberg, A. Sternberg, UniBwM, Neubiberg und M. Stephani, TU München. Die Messarbeiten wurden durchgeführt im Rahmen des Teilprojektes 4 „Vorbereitende Untersuchungen, Planungen und Ausführung von Konsolidierungs- und Sicherungsmaßnahmen“, des DA1, die unter der Leitung von Dorothee Sack, TU Berlin standen. Die Zielsetzung war eine präzise 3D-Bestandsdokumentation des gesamten Bauwerks mittels terrestrischem Laserscanning (TLS), wobei auch Aspekte eventueller späterer Deformationen einzubeziehen waren.



Abb. 4.7 Zentralbau, Innenraum (linkes Bild) und Ansicht von Süd-Osten (rechtes Bild) (2008)

4.2.1 Messmethode und Konzeption

Zur Erfüllung der Aufgabenstellung erfolgte eine Gliederung der Arbeiten in nachfolgende Abschnitte:

- *Erweiterung des Ingenieurnetzes von 2002 im Bereich des Zentralbaus;*
 - Erkundung und Vermarkung der Netzpunkte,
 - Präzisions-Nivellement mit Anschluss an das bestehende Nivellement-Netz,
 - Präzisions-Tachymetrie mit Anschluss an das bestehende Lagenetz,
- *3D-Erfassung des Zentralbaus durch Terrestrisches Laserscanning (TLS);*
 - Erkundung und Vermarkung der Verknüpfungspunkte (koordiniert),
 - Erkundung der Aufnahmestandpunkte,
 - Durchführung der Scanneraufnahme und Signalisierung zusätzlicher Verknüpfungspunkte (temporär),

- *Auswertung und Kontrolle der Messungen.*

An geodätischem Instrumentarium wurde eingesetzt:

- 1 Digitales Präzisions-Nivellier Leica DNA03
- 2 Code-Invarlatten 2m
- 1 Code-Invarlatte 60 cm
- 1 Elektronischer motorisierter Tachymeter Leica TCRP 1201 mit Fernbedienung
- 4 Präzisions-Reflektoren Leica GPH1P
- 2 Corner Cubes
- 1 Terrestrischer Laserscanner Z+F IMAGER 5006 mit Aufsatzkamera
- 10 Zielzeichen mit Adaptern
- 9 Zielzeichen (Halbkugel)
- + umfangreiches Zubehör

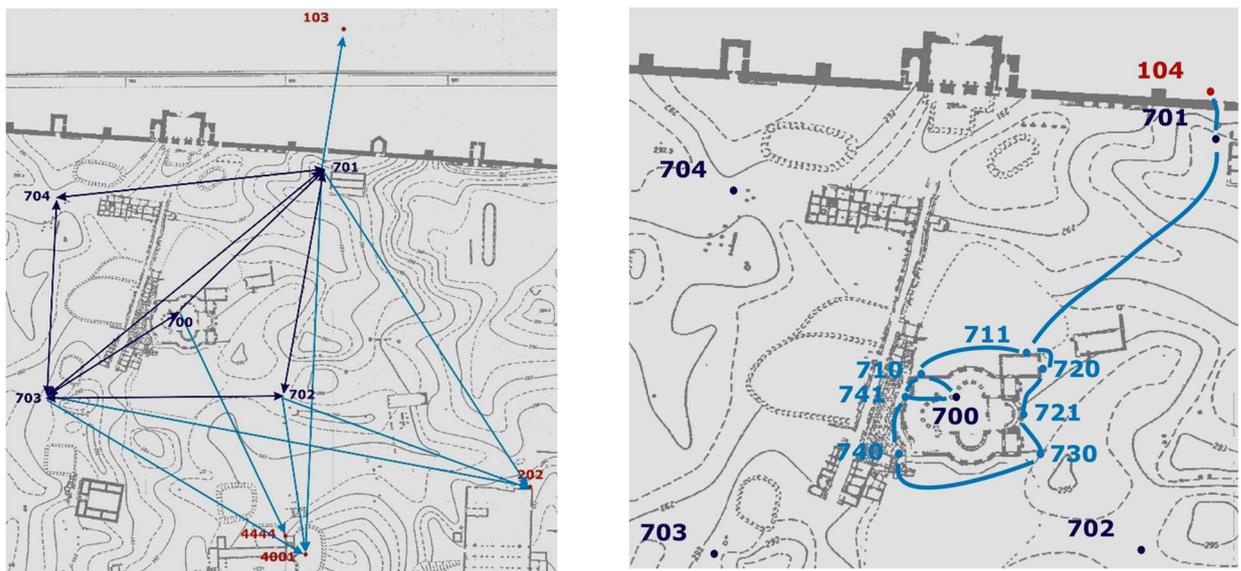


Abb. 4.8 Erweiterung des Lagenetz der Stufe II (links) und des Präzisions-Höhennetzes (rechts) um den Zentralbau (Messkampagne 2008)

Die Erkundung führte zu folgendem hierarchischen Netzaufbau:

Aufbauend auf dem im Jahr 2002 angelegten Ingenieurnetz (*Resafa GKS02*, s. Abb. 3.11) erfolgte eine Erweiterung durch 5 Netzpunkte (Nr. 700 – 704) der Stufe II in Richtung Westen (s. Abb. 4.8 links). Somit konnten im Außenbereich um den Zentralbau vier, im Innenraum ein weiterer Punkt erkundet und durch Messingstehbolzen mit Zentrierbohrung vermarktet werden. Der Anschluss erfolgte dabei über 4 Punkte des alten Präzisions-Lagenetzes (Nr. 103, Nr. 202, Nr. 4001 und Nr. 4444).

Im Außen- und Innenraum des Zentralbaus wurden dann weitere 22 Objektpunkte der Stufe IV in unterschiedlicher Höhe (s. Abb. 4.9) erkundet und durch spezielle, bereits in der Basilika A

eingesetzte Wandadapter mit Gewindebohrung vermarktet (s. Abb. 3.5 und 4.1). Mit diesem Konzept konnte die Verbindung der Messverfahren Nivellement, Tachymetrie und TLS über identische, 3D-bestimmte Punkte sichergestellt werden. Diese koordinierten Objektpunkte dienten zur Verknüpfung und Georeferenzierung der durch TLS erfassten Punktwolken im System *Resafa GKS02*. Zur Verbesserung der Verknüpfung wurden während der Scanneraufnahme noch weitere 22 temporäre Zielmarken signalisiert (s. Abb. 4.10).

Acht der vermarkten Objektpunkte wurden durch ein Präzisionsnivellement verknüpft, um eventuelle Setzungen durch nachfolgende Wiederholungsmessungen nachweisen zu können. Hierfür erfolgte ebenfalls eine Anbindung an das vorhandene Präzisions-Höhennetz von 2002 (s. Abb. 4. 8 rechts).



Abb. 4.9 Vermarkung der Objektpunkte am Zentralbau (2008)



Abb. 4.10 Signalisierung temporärer Zielmarken (2008)

Zur Dokumentation wurden für diese Punkte Einmessskizzen gemäß der Vorlage von 2006 (s. STERNBERG U. KOWOLL 2007) angefertigt. Sie sind wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

Der gesamten Punktnummerierung wurde folgendes Schema zugrunde gelegt:

Alle Punktnummern, beginnend mit 7... sind den Messungen zuzuordnen, die in Zusammenhang mit der geometrischen Erfassung des Zentralbaus stehen.

Punkte der Stufe II

Punktgruppe 700–704 5 Netzpunkte

Punkte der Stufe IV

Punktgruppe 71x	3 Objektpunkte an der nördlichen Außenseite
Punktgruppe 72x	5 Objektpunkte an der westlichen Außenseite
Punktgruppe 73x	3 Objektpunkte an der südlichen Außenseite
Punktgruppe 74x	2 Objektpunkte an der östlichen Außenseite
Punktgruppe 75x	9 Objektpunkte im Innenbereich
Punktgruppe Tx	22 Temporäre Zielmarken

4.2.2 Durchführung der Messungen

Präzisions-Nivellement

Zur Festlegung der Höhe im Bezugssystem *Resafa GKS02* wurde ein Präzisions-Nivellement mit Anschluss an das bestehende Ingenieurnetz aus dem Jahre 2002 sowohl im Innen- als auch Außenbereich des Zentralbaus durchgeführt. Dabei wurden die Höhen folgender neun Netzpunkte 700, 701, 710, 711, 720, 721, 730, 740 und 741 (s.a. Abb. 4.8 rechts) mit dem hochpräzisen Digitalnivellier Leica DNA 03 bestimmt. Der Höhenanschluss erfolgte über den Punkt 104 des Bezugsrahmens außerhalb der Stadt.

Gemäß dem Datenfluss in Abbildung 3.24 konnte die Auswertung der Nivellements-Messungen wieder mit dem Programm *CAPLAN* als freie Netzausgleichung durchgeführt werden. Alle hierdurch ermittelten Höhen wurden anschließend so korrigiert, dass sich die endgültigen Höhenangaben in Tabelle 4.2 auf die Mitte des Höhenbolzens und auf die Oberkante des Messingstehbolzens beziehen. Die erreichten Standardabweichungen der Höhenkoordinaten liegen zwischen 0,2 – 0,5 mm im Mittel bei $s_{\text{Höhe N}} = 0,3$ mm.

Tab. 4.2 Endgültige Koordinaten und Höhen im Bezugssystem *Resafa GKS02* des erweiterten Präzisions-Lage- und Höhennetzes des Zentralbaus (Messkampagne 2008)

Punkt Nr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	S_{Lage} [mm]	S_{Höhe} [mm]	Vermarkung
700	13 478 023,8480	3 944 689,9548	293,28317	0,8	0,4	Stehbolzen
701	13 478 112,5272	3 944 787,5994	294,15897	0,7	0,4	Stehbolzen
702	13 478 097,2368	3 944 627,3469	294,12843	0,8	0,7	Stehbolzen
703	13 477 941,7654	3 944 622,8670	293,40222	0,8	0,6	Stehbolzen
704	13 477 970,0996	3 944 739,0587	292,24229	0,9	0,7	Stehbolzen
710	13 478 010,2547	3 944 697,0434	295,23560	1,5	0,3	Niv.-Bolzen
711	13 478 051,4372	3 944 705,1458	295,29881	1,5	0,3	Niv.-Bolzen
712	13 478 039,5731	3 944 698,0865	300,23418	1,5	1,4	Niv.-Bolzen
720	13 478 053,0733	3 944 697,2298	294,88407	1,5	0,3	Niv.-Bolzen
721	13 478 047,1639	3 944 682,9996	296,26997	1,5	0,3	Niv.-Bolzen
722	13 478 045,7074	3 944 697,4711	300,95201	1,5	1,4	Niv.-Bolzen
723	13 478 047,3031	3 944 684,4697	300,38701	1,5	1,4	Niv.-Bolzen
724	13 478 047,4610	3 944 675,6285	300,39244	1,5	1,4	Niv.-Bolzen
730	13 478 051,7411	3 944 672,2034	296,17371	1,5	0,4	Niv.-Bolzen
731	13 478 026,1538	3 944 666,9076	295,03385	1,5	1,3	Niv.-Bolzen
733	13 478 041,3920	3 944 670,0391	299,86873	1,5	1,3	Niv.-Bolzen
740	13 478 006,0252	3 944 666,8683	293,08377	2,2	0,4	Niv.-Bolzen
741	13 478 006,8186	3 944 690,7124	293,28464	1,5	0,3	Niv.-Bolzen
750	13 478 045,3446	3 944 684,2901	294,10327	2,2	1,0	Niv.-Bolzen
751	13 478 039,5908	3 944 679,8662	295,14063	2,2	1,0	Niv.-Bolzen
752	13 478 039,2647	3 944 688,2258	294,90146	2,2	0,9	Niv.-Bolzen
753	13 478 008,7777	3 944 695,3068	293,76594	2,2	1,0	Niv.-Bolzen
754	13 478 006,2580	3 944 679,1392	295,13085	2,2	1,0	Niv.-Bolzen
755	13 478 031,1522	3 944 668,3226	295,55177	2,2	1,0	Niv.-Bolzen
756	13 478 024,8001	3 944 699,4318	295,42135	2,2	0,9	Niv.-Bolzen
757	13 478 039,8392	3 944 674,6991	297,62990	1,5	0,9	Niv.-Bolzen
758	13 478 039,0986	3 944 693,3434	298,22848	1,2	0,8	Niv.-Bolzen

Präzisions-Tachymetrie

Als Voraussetzung für die 3D-Erfassung bzw. Georeferenzierung - und damit Einbindung in das Bezugssystem *Resafa GKS02* - des Zentralbaus mit dem terrestrischen Laserscanner wurden alle vermarkten Netz- und Objektpunkte durch eine hochgenaue tachymetrische Netzmessung in Lage und Höhe mit dem motorisierten Tachymeter TCRP 1201 von Leica Geosystems bestimmt. Für diese Neumessung wurden die fünf Netzpunkte 700 - 704 als Standpunkte verwendet. Vier Punkte des vorhandenen Resafa-Netzes: 103, 202, 4001 und 4444 dienten als Anschlusspunkte (s a. Abb. 4.8 links). Das tachymetrische Höhennetz, das vor allem den 22 Objektpunkten galt, wurde an die acht Punkte des Präzisions-Höhennetzes angeschlossen.

Alle Tachymetermessungen konnten ebenfalls erfolgreich mit dem Programm *CAPLAN*, getrennt als Lagenetz- und Höhennetausgleichung, ausgewertet werden.

Die Lagenetausgleichung wurde zunächst als freie Netzausgleichung zur Kontrolle der inneren Geometrie des Netzes durchgeführt. Daraufhin erfolgte der Lageanschluss an die bekannten Festpunkte. Die ermittelten Standardabweichungen der Lagekoordinaten liegen zwischen 0,8–2,6 mm im Mittel $s_{\text{Lage}} = 1,6$ mm.

Das tachymetrische Höhennetz, das sich vorrangig aus Mehrfachmessungen (Zenitdistanzen und Strecken) zu den Objektpunkten ergab, wurde gleichermaßen als freies Höhennetz ausgeglichen und anschließend auf die 8 Punkte des Präzisions-Höhennetzes transformiert.

Die hierbei ermittelten Standardabweichungen der endgültigen tachymetrisch bestimmten Höhen liegen zwischen 0,2 – 1,4 mm, im Mittel $s_{\text{Höhe T}} = 0,9$ mm.

Alle Koordinaten und Höhen einschließlich ihrer Standardabweichungen sind der Tabelle 4.2 zu entnehmen.

Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Für eine bestmögliche 3D-Erfassung des Zentralbaus kam erstmals in Resafa der terrestrische Laserscanner IMAGER 5006 der Fa. Zoller + Fröhlich (Z+F) zum Einsatz. Im Gegensatz zu dem im Jahr 2006 eingesetzten terrestrischen Laserscanner HDS 3000 der Fa. Leica mit Impulslaufzeitverfahren bestimmt der IMAGER 5006 die Entfernung nach dem Phasenvergleichsverfahren. Dies ermöglicht eine höhere Messrate und Genauigkeiten im Millimeterbereich. Ein weiterer entscheidender Vorteil für den Einsatz in der klimatisch extrem schwierigen Region um Resafa ist das „stand alone“ Konzept des IMAGER. Durch einen

integrierten PC mit 60 Gigabyte Festplatte, einem leistungsfähigen Akku inklusive Wechselakku und einem integrierten Bedienfeld mit Display wird sämtliche externe Zusatzhardware im Feld überflüssig und ein vollkommen kabelloser Betrieb ermöglicht (s. Abb. 4.11).



Abb. 4.11 Einsatz des terrestrischen Laserscanners IMAGER 5006 von Z+F (2008)

Ein weiterer Vorteil liegt in der Vielfalt der Scanoptionen bezüglich unterschiedlicher Punktdichten und damit der Möglichkeit den Zeitaufwand der Aufgabenstellung anzupassen. Alle wichtigen Spezifikationen des IMAGER 5006 sind in Tabelle 4. 3 zusammengefasst.

Tab. 4.3 Spezifikationen des terrestrischen Laserscanners IMAGER 5006

Eindeutigkeitsbereich		79 m	
Auflösung der Entfernung		0,1 mm	
Datenerfassungsrate		< 500000 Pixel/sek.	
Strahldivergenz		0,22 mrad	
Strahldurchmesser (Distanz 1 m)		3 mm kreisrund	
Auflösungsstufen	Pixelzahl / 360°	Scandauer für 360°	Dateigröße ca.
preview	1.250	25 Sek.	3 MB
middle	5.000	1 Min 40 Sek.	45 MB
high	10.000	3 Min 22 Sek.	180 MB
super high	20.000	6 Min 44 Sek.	720 MB
ultra high	40.000	26 Min 40 Sek.	2.880 MB

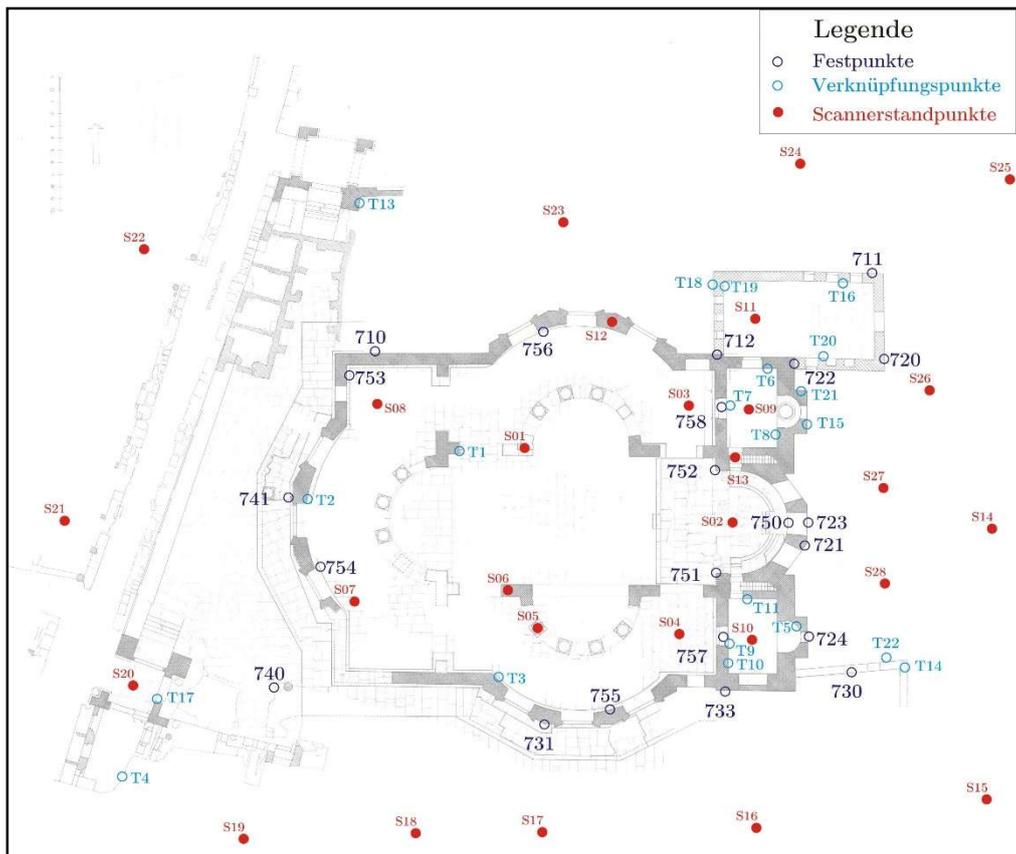


Abb. 4.12 Übersicht der Scanner-Standpunkte und Objektpunkte zur Verknüpfung der Scans (Messkampagne 2008)

Zusätzlich ist es möglich, eine digitale Farbkamera auf dem Scanner zu adaptieren (s. Abb. 4.11). Pro Standpunkt können somit 28 digitale Photos registriert werden, die dann den gesamten Messbereich abdecken. Diese dienen in diesem Falle der Orientierung des Auswerters, erlauben aber zusätzlich auch durch Farbmapping eine automatisierte Einfärbung der Punktwolken mit Echtfarbinformationen.

Für eine bestmögliche Erfassung des Zentralbaus wurden insgesamt 28 Standpunkte (s. Abb. 4.12, S01 bis S28) in unterschiedlicher Höhe erkundet. Neben der Vollständigkeit der Erfassung war die Aufnahme von möglichst vielen Zielzeichen ein wichtiges Kriterium der Standortwahl, um die Verknüpfung der einzelnen Punktwolken und ihre Georeferenzierung mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Insgesamt führten die Scans auf den 28 Standpunkten zu einer Datenmenge von ca.17 Gigabyte. Dabei mussten während des gesamten Messablaufs 22 koordinierte (710 bis 758) und 22 temporäre Zielpunkte (T1 bis T22) signalisiert werden. In Abhängigkeit von der jeweiligen Entfernung zum Messobjekt wurden die unterschiedlichen Auflösungsstufen „high“ und „superhigh“ festgelegt.

4.2.3 Auswertung und digitales, georeferenziertes 3D-Modell des Zentralbaus

Zur Auswertung der Scanner-Messungen wurde die Z+F Software *Laser Control* eingesetzt, welche speziell für den IMAGER entwickelt wurde und viele Funktionen zur Visualisierung von Laserscans sowie umfangreiche Messfunktionen für die Auswertung vor Ort bietet. Zusätzlich ist eine schnelle Registrierung der Scandaten über Pass- und identische Punkte mittels Bündelblockausgleichung möglich. Weiterhin verfügt die Software auch über ein Tool zur Einfärbung aller gemessenen Punkte mit den durch die kalibrierte Digitalkamera erfassten Echtfarben-Photos. Aber auch durch die ebenfalls zur Verfügung stehenden Intensitätswerte der Distanzmessungen lässt sich eine informative Graubild Darstellung des aufgenommenen Objektes erzielen (s. Abb. 4.13).

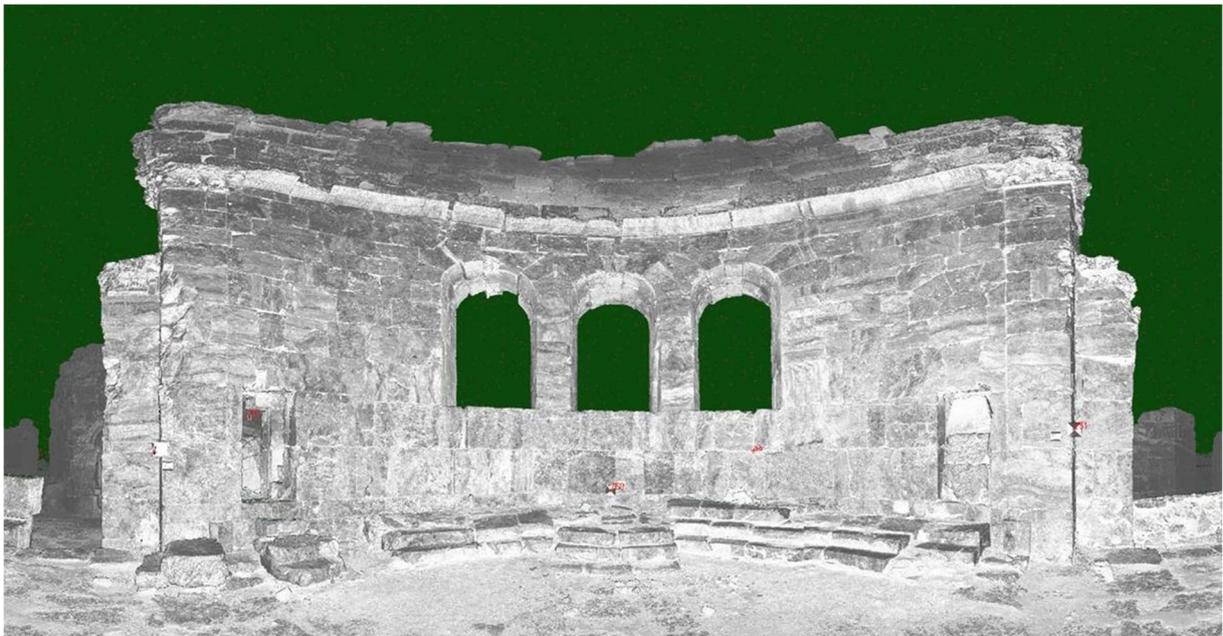


Abb. 4.13 Verzerrte Grauwertdarstellung des Intensitätsbildes des Innenbereichs des Zentralbaus (Sicht von Westen) (2008)

Für die Registrierung wurde zunächst ein weiterer Datensatz aller verwendeten Zielzeichen mit den zugehörigen Koordinateninformationen in Lage und Höhe importiert. Anschließend erfolgte die Verknüpfung der einzelnen Scans über identischen Zielzeichen. Parallel hierzu wird die Georeferenzierung über den importierten Koordinaten-Datensatz vollzogen.

Nach Abschluss dieser Auswerteschritte liegt ein *bereinigter* Datensatz im *Laser Control* Datenformat *.zfs des gesamten 3D-Modells des Zentralbaus im Bezugssystem *Resafa GKS02* vor. Ein Ausschnitt der 3D-Punktwolke ist in Abbildung 4.14 wiedergegeben.

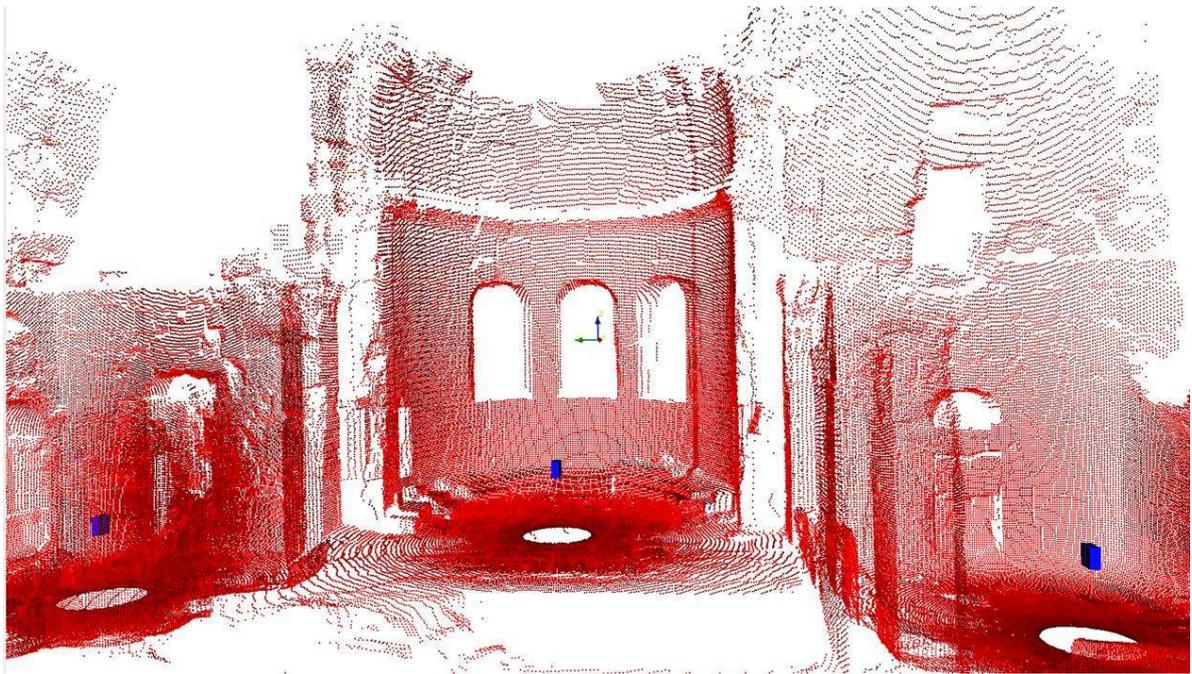


Abb. 4.14 Ausschnitt der 3D Punktwolke des Innenbereichs des Zentralbaus (Sicht von Westen) (2008)

Als Genauigkeitskriterium für die einzelnen Punkte des Scans und damit des 3D-Modells kann die aus der Auswertung zur Verfügung stehende Standardabweichung für die Verknüpfungspunkte herangezogen werden. Hiervon haben nur 13 der 191 Punkte den Schwellenwert von 7mm überschritten. Die durchschnittliche Standardabweichung konnte zu $s_{x,y,z} = 3,2$ mm ermittelt werden, ein unter den gegebenen Bedingungen hervorragendes Ergebnis, das auch allen Ansprüchen und Zielsetzung unterschiedlicher Weiterverarbeitung vollkommen genügt, s.a. GUSSONE M, HEISTER H, LIEBL W, OBERHOLLENZER I, SACK D U. SHASH H 2011 oder SCHUMANN A 2014.

Weiter technische Einzelheiten sind dem unveröffentlichten Bericht HEISTER, LIEBL, STEPHANI, STERNBERG, 2008 zu entnehmen. Die wichtigsten Daten sind wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

4.3 Die historische Stadtmauer vom Osttor bis zum Kurtinenabschnitt 15, sowie Einzelobjekte (Messkampagne 2010)

Heister H., Liebl W., Sternberg A., Krause M., Priebus Chr.

Die Messkampagne im Herbst des Jahres 2010 hatte zum Ziel, im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes (GZ: SA 1391 / 4-1) „Die Stadtmauer von Resafa (Nordsyrien), Bauforschung zur Klärung ihrer Entstehung und ihrer Veränderungen“, eine präzise 3D-Dokumentation mit Hilfe des terrestrischen Laserscannings (TLS) des Osttores einschließlich des sehr gut erhaltenen nord-östlichen Abschnitts der Stadtmauer (s. Abb. 4.15 rot markiert) durchzuführen. Falls der Zeitrahmen es erlauben würde, sollten noch weitere ausgewählte Einzelobjekte erfasst werden (s. Abb. 4.15 blau markiert).

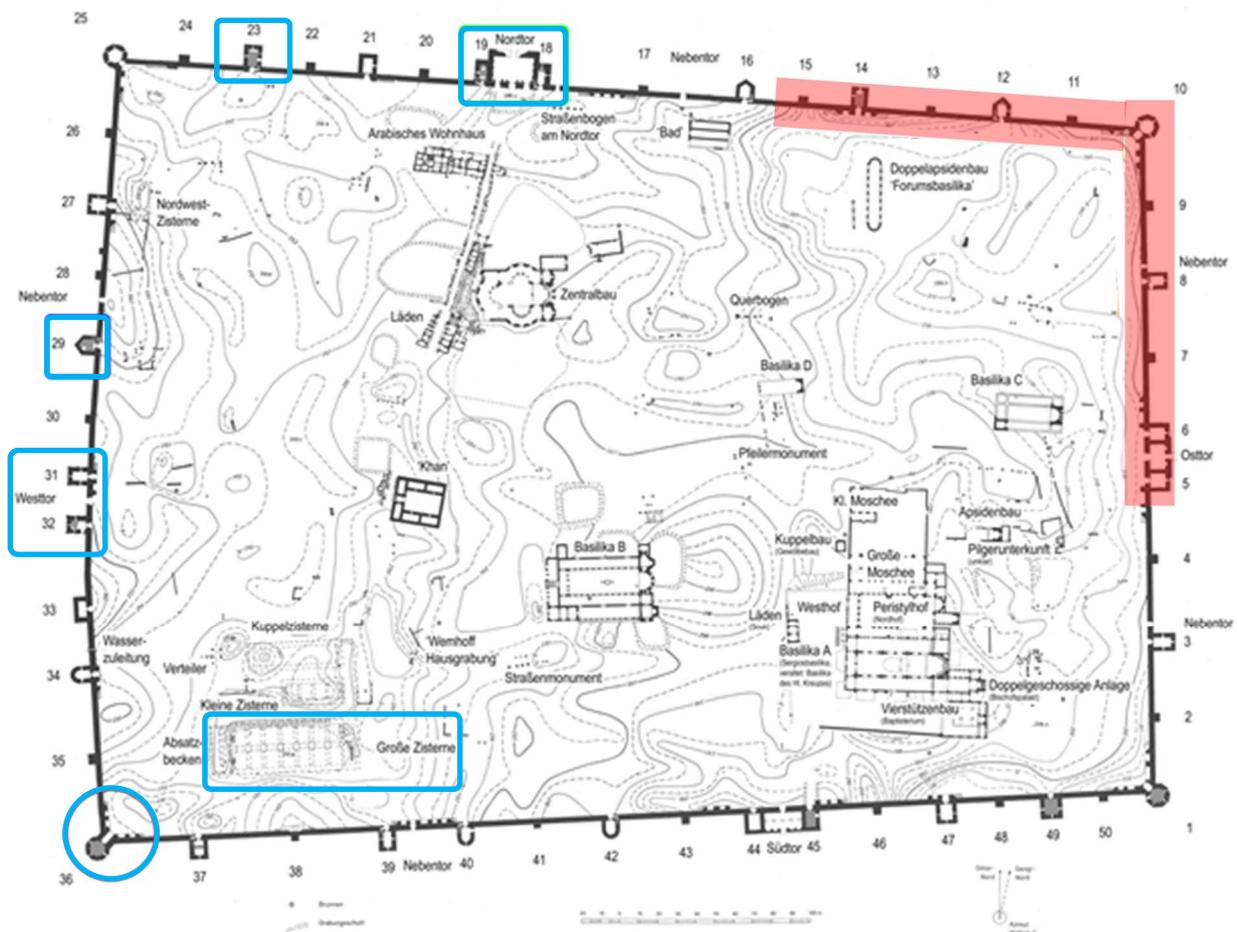


Abb. 4.15 Geplante Objekte, die durch terrestrisches Laserscanning in der Messkampagne 2010 erfasst werden sollten

Diese im Wesentlichen durch das TLS geprägte Messkampagne fand vom 7.09. bis 28.09.2010 statt. Teilnehmer waren H. Heister (techn. Leitung), W. Liebl, A. Sternberg, M. Krause und Chr. Priebus, alle Angehörige der UniBw München, Neubiberg.

4.3.1 Messmethode und vorbereitende Arbeiten

Die 3D-Bestandserfassung des Osttores sowie des sich daran anschließende ca. 350 m langen Teils der Stadtmauer (s. Abb. 4.16) stellten an Vorbereitung, Planung und Durchführung eine besondere Herausforderung. Dies lag zum einen in der lang gestreckten Ausdehnung des Aufnahmeobjektes, zum anderen an der detailreichen und verschachtelten Baustruktur mit sehr engen Aufnahmeräumen (s. Abb. 4.17) und letztlich auch an der zur Verfügung stehenden Zeit von nur ca. 2 Wochen vor Ort.



Abb. 4.16 Der durch TLS zu erfassende Bereich der Stadtmauer einschließlich des Osttores (2010)

Deshalb wurde bereits im Jahr 2009 ein Messkonzept entworfen, das vorsah, das bestehende Resafa-Netz (s. Abb. 3.11) zur genauen Georeferenzierung der Scanneraufnahmen um zusätzliche, dauerhaft vermarkte Punkte entlang der Mauer (innen und außen) zu erweitern. Die schematische Anordnung dieser Punkte (rot) ist aus der Abbildung 4.18 zu ersehen. Zusätzliche Verknüpfungspunkte (orange) waren auf der Mauer vorzusehen, um zum einen die Georeferenzierung der Scans – aufgenommen jeweils von außerhalb *und* innerhalb der Stadtmauer (blaue Standpunkte) – zu verbessern, zum anderen die Registrierung aller Scans in einem einheitlichen Modell zu ermöglichen.



Abb. 4.17 Der Wehrgang und beengte Aufnahmestandpunkte (2010)

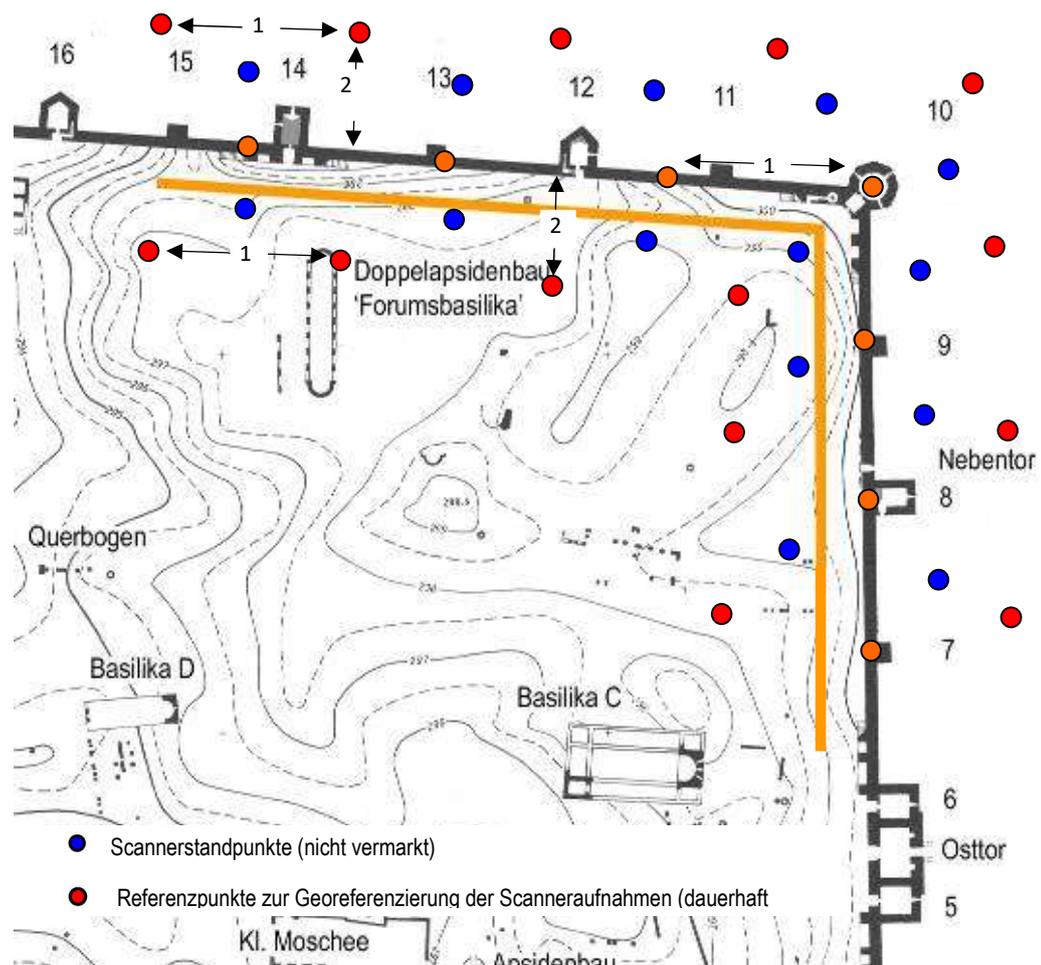


Abb. 4.18 Schematisches Messkonzept zur geplanten Bestandsdokumentation der Stadtmauer von Resafa durch TLS (2009)

Nach diesem Konzept wurden im August/September 2009 durch Studierende der Hochschule Karlsruhe, Technik und Wirtschaft (Günter Hell, Institut für Geomatik, IfG) die Referenzpunkte erkundet, vermarktet und tachymetrisch vermessen. Die Auswertung der Ergebnisse konnte im Rahmen der Vorbereitung der Messkampagne 2010 an der UniBwM durchgeführt werden. Dabei wurde an die Polygonpunkte 800 bis 804 (s. Abb. 4.19 u. Kap. 4.6, Abb. 4.41), die bereits im Jahre 2006 durch Anlage eines Ringpolygons koordiniert worden waren (KOWOLL U. STERNBERG 2007) angeschlossen. Die Koordinatenberechnung durch eine strenge Ausgleichung erfolgte mit Hilfe des Programms *CAPLAN* (s. Abb. 3.24). Die endgültigen Koordinaten einschließlich ihrer Genauigkeiten können der Anlage I, Tabelle I.8 entnommen werden.



Abb. 4.19 Übersicht der Referenzpunkte zur Aufnahme der Stadtmauer und des Osttores durch TLS (Messkampagne 2010)

Dieses so ausgearbeitete Messkonzept hatte vor allem noch den Vorteil, dass durch spezielle Signalisierung der Referenzpunkte / Verknüpfungspunkte (s.a. nachfolgendes Kap. 4.3.2) auf der Mauer ein *gleichzeitiges* Scannen mit zwei Scannern von außen und innen ermöglicht wurde und somit eine erhebliche Zeitersparnis erreicht werden konnte.

Um eine lückenlose Erfassung der Anlage zu gewährleisten, kam zusätzlich die digitale Photogrammetrie zum Einsatz, wie dies auch schon bei der Aufnahme der Basilika A 2006 erfolgreich durchgeführt worden war (s. Kap. 5.1).

Für die Messkampagne 2010 und die damit verbundenen Aufgabenstellungen wurden folgende Arbeitsschritte festgelegt:

- Überprüfung der vorbereitenden Arbeiten von 2009,
- Ergänzung des Festpunktfeldes um Referenzpunkte, zusätzliche Vermarkung,
- 3D-Erfassung von Osttor und Stadtmauer im vorgegebenen Bereich durch Terrestrisches Laserscanning (TLS),
 - Erkundung und Signalisierung der Verknüpfungspunkte,
 - Erkundung der Aufnahmestandpunkte,
 - Durchführung der Scanneraufnahme und Signalisierung zusätzlicher Verknüpfungspunkte (temporär),
- Auswertung und Kontrolle der Messungen vor Ort.

An geodätischem Instrumentarium wurde hierfür eingesetzt:

- 2 Terrestrische Laserscanner Z+F IMAGER 5006 mit Zubehör,
- 10 Zielzeichen mit Adaption (Resafa-System),
- 30 Kugelzielzeichen für verschiedene Adaptionen,
- 10 Z+F Auto-Targets,
 - Diverse Papiertargets für temporäre Zielzeichen,
- 1 Kern-Pfeilerplatte,
 - Lotstäbe, Spinnen usw. für Zielzeichenaufstellung,
- 2 Laptops,
- 2 Externe Festplatten (Datensicherung, Software) sowie umfangreiches Zubehör für Vermarkung und Vermessung.

4.3.2 Durchführung der TLS- Messungen und erste Ergebnisse

Bei der Erkundung und Freilegung der im Jahre 2009 koordinierten Punkte wurde festgestellt, dass hiervon nur noch 23 verwendbar, dagegen 3 Punkte aufgrund von Beschädigungen unbrauchbar waren (s. Abb. 4.19). Insgesamt lagen nur 4 Punkte auf der Mauerkrone, 9 Punkte im Außenbereich sowie 10 Punkte im Innenbereich der Stadtanlage. Alle Punkte dienten im Rahmen der Georeferenzierung als Anschluss an das übergeordnete Bezugssystem *Resafa GKS02*.

Aufbauend auf den positiven Erfahrungen – einwandfreie Funktion unter den vorherrschenden klimatischen Bedingungen und rauem Arbeitsumfeld – der Messkampagne 2008 (s. Zentralbau, Kapitel 4.2) mit erstmaligem Einsatz des IMAGER 5006 der Firma Z+F wurde erneut dieses Instrument für den Messeinsatz ausgewählt. Dieser Nahbereichsscanner, nach dem Phasenvergleichsverfahren arbeitend, zeichnet sich besonders durch seine hohe Aufnahme- und Genauigkeiten im Millimeterbereich aus. Weitere Spezifikationen können der Tabelle 4.3 entnommen werden.

Aufgrund der Größe und komplexen Geometrie des aufzunehmenden Messobjektes kamen – wie bereits erwähnt - in dieser Messkampagne *zwei* Laserscanner dieses Typs *parallel* zum Einsatz (s. Abb. 4.20). Erstmals wurden dabei in *Resafa* als Zielzeichen so genannte Sphären mit einem Durchmesser von 150 bis 250 mm verwendet (s. Abb. 4.21 links).



Abb. 4. 20 Paralleler Einsatz der zwei Laserscanner IMAGER 5006 von Z+F (2010)

Diese konnten sowohl auf Stative und Lotstäbe als auch auf selbst gefertigte, feste Eisenstative (Pyramiden, s. Abb. 4.21, rechts) adaptiert werden. Letztere hatten den Vorteil, dass sie wegen ihres hohen Gewichtes und guten Standfestigkeit über die gesamte Messperiode auf ausgewählten Punkten fixiert werden konnten; dies galt besonders für die schwer zugänglichen Punkte auf der Stadtmauer.



Abb. 4.21 Kugelzielzeichen (Sphären) auf Stativ (links) und selbst gefertigte Eisenstative (Pyramiden) (rechts) (2010)

Durch Positionierung dieser Kugelzielzeichen auf der Mauer (s. Abb. 4.22) und gleichzeitiges Messen im Außen- und Innenbereich konnte ein optimaler Arbeitsablauf und die direkte Verknüpfung entsprechender Scans erreicht werden.



Abb. 4.22 Positionierung der Eisenstative (Pyramiden) mit Kugelzielzeichen (Sphären) auf der Stadtmauer (2010)

Wegen der komplexen und verschachtelten baulichen Situation mussten während des Messvorganges immer wieder zusätzliche temporäre Zielmarken eingeschaltet werden, die auf Papier vor Ort gedruckt wurden. Erfolgreich eingesetzt wurden ebenfalls so genannte Z+F Auto-Targets, codierte Schwarz-Weiss-Zielzeichen, die von der Auswertesoftware *Laser Control* automatisch detektiert werden können (s. Abb. 4.23).

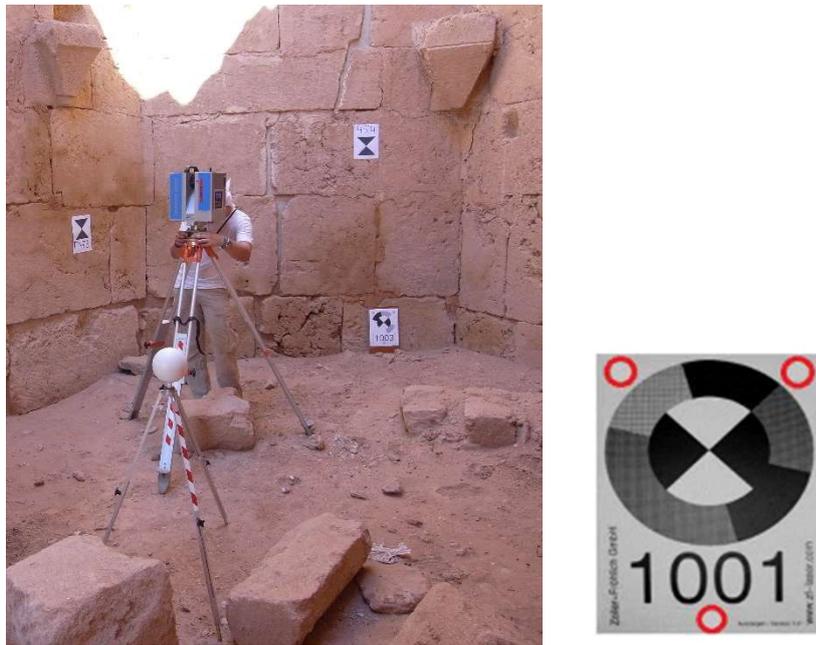


Abb. 4.23 Einsatz verschiedener temporärer Zielmarken, Sphären sowie auch die Z+F Auto-Targets (unten rechts) (2010)

In den sehr engen Bereichen, wie z.B. Treppenaufgängen, war eine Verknüpfung der Scans nur über spezielle Softwarelösungen wie ICP (Iterative Closest Point) Algorithmen zu erreichen; sie ermöglichen über markante Bereiche, korrespondierende Punkte zu identifizieren und im anschließenden, iterativen Prozess so lange zu drehen und zu verschieben, bis die Punkt-zu-Punkt-Abstände aller Punktpaare so gering wie möglich werden. Dieser völlig automatisierte Prozess führt dann zu einer passpunktlosen Registrierung, die aber nicht immer befriedigende Lösungen ergibt, und oft auch mit Genauigkeitsverlusten verbunden ist.

In einer sorgfältigen Vorerkundung eines jeden Messabschnitts wurden alle Standpunkte sowie die notwendigen Zielzeichen und deren Anbringung festgelegt und dokumentiert, um so im darauffolgenden Arbeitsschritt, dem Scannen, einen zügigen, geordneten Arbeitsablauf zu gewährleisten. Durch die Planung wurde sichergestellt, dass von jedem Scanner-Standpunkt

aus mindestens 4 Zielzeichen sichtbar waren, die auch von anderen Standpunkten angezielt werden konnten, um damit eine zuverlässige und überbestimmte Registrierung aller Scans zu erreichen. Ein Übersichtsplan des Osttores (s. Abb. 4.24) zeigt beispielhaft die gesamte Anordnung von Aufnahmestandpunkten, koordinierten Zielpunkten (Festpunkte) und temporären Zielzeichen. Alle Pläne, die die Aufnahmesituation entlang der Stadtmauer dokumentieren, sind im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], zusammengestellt.

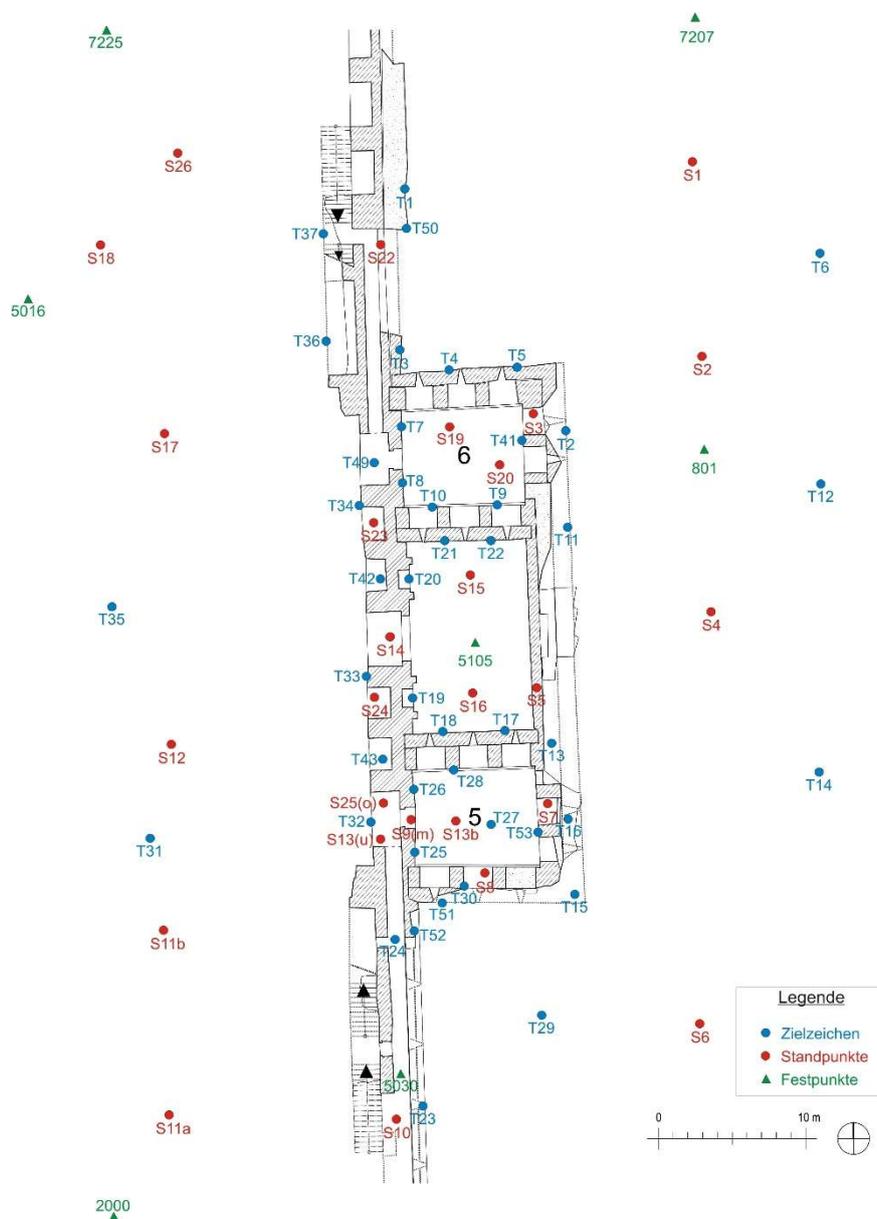


Abb. 4.24 Übersicht der Scanner-Standpunkte (S, rot), Festpunkte (grün) und zusätzliche temporäre Zielzeichen (T, blau) bei der Aufnahme des Osttores, Messkampagne 2010

Das Laserscanning selbst wurde danach in verschiedenen Aufnahmemodi (s.a. Tab. 4.3) durchgeführt, „high“ für die gebäudeinterne Erfassung sowie „superhigh“ für die Außenfassade und die detaillierten Strukturen. Somit konnte eine Messung pro Standpunkt mit Auf- und Abbau in durchschnittlich ca. 10 Minuten durchgeführt werden. Für Scans in extrem engen Gewölben oder Treppenaufgängen kam zur Aufstellung des Scanners eine Pfeilerplatte zum Einsatz (s. Abb. 4.17 rechts), weil die Verwendung eines gewöhnlichen Statives in der räumlichen Enge, meist eine ungünstige Aufnahmeposition ergab, zuweilen eine Messung sogar unmöglich machte.

Zur Erfassung der gesamten Stadtmauer vom Kurtinenabschnitt 5/6 (Osttor) bis 15 waren, wie Tabelle 4.4 ausweist, 113 Scanner-Standpunkte notwendig. Diese konnten durch 23 Festpunkte und 205 zusätzlichen temporären Zielzeichen mit Hilfe der Z+F Software *Laser Control* verknüpft werden, um so die Generierung eines gesamten 3D-Modells zu ermöglichen. Das auszuwertende Volumen der Rohdaten belief sich dabei auf 52,6 GB. Aufgrund dieser hohen Datenmenge wurden, wie Tabelle 4.4 ausweist, vier Scan-Abschnitte gebildet, die dann getrennt ausgewertet wurden.

Tab. 4.4 Statistische Zusammenstellung des TLS zur 3D-Aufnahme von Osttor und Stadtmauer

Scan-Abschnitt	Scanner Standpunkte	Zielzeichen		Abweichungen		Datenmenge [GB]
		sichtbar	nichtauswertbar	Max. [mm]	Mittel [mm]	
Osttor	26	248	25	14,6	9,8	14,7
Ost-Mauer	25	272	37	14,4	9,3	12,5
N-O-Turm	26	277	45	12,5	8,2	9,2
Nord-Mauer	36	271	20	11,6	6,5	16,2
Summe bzw. Mittel	113	1068	132 (12,4%)	13,3	8,5	52,6

Über die Gesamtzahl von 1068 eingescannten Zielzeichen ergab sich, dass jedes Zielzeichen durchschnittlich 5-mal angezielt wurde. Bemerkenswert ist noch die Zahl der nicht

auswertbaren Ziele, die mit ca. 12 % relativ hoch erscheint. Dies wurde meist durch eine zu große Entfernung, unzureichende Beleuchtung oder auch teilweise Abdeckung verursacht. Der Ausfall macht auch deutlich, dass die hohe Anzahl an unterschiedlichen Zielzeichen unbedingt notwendig ist, um die Vorgabe von jeweils 4 brauchbaren Zielen pro Standpunkt zu gewährleisten. Nur hierdurch war dann auch die hervorragende Genauigkeit, die über alle Scanabschnitte durch eine mittlere Abweichung von 8,5 mm charakterisiert werden kann, zu erreichen. Der gesamte Arbeitsablauf ist der Abbildung 4.25 zu entnehmen.

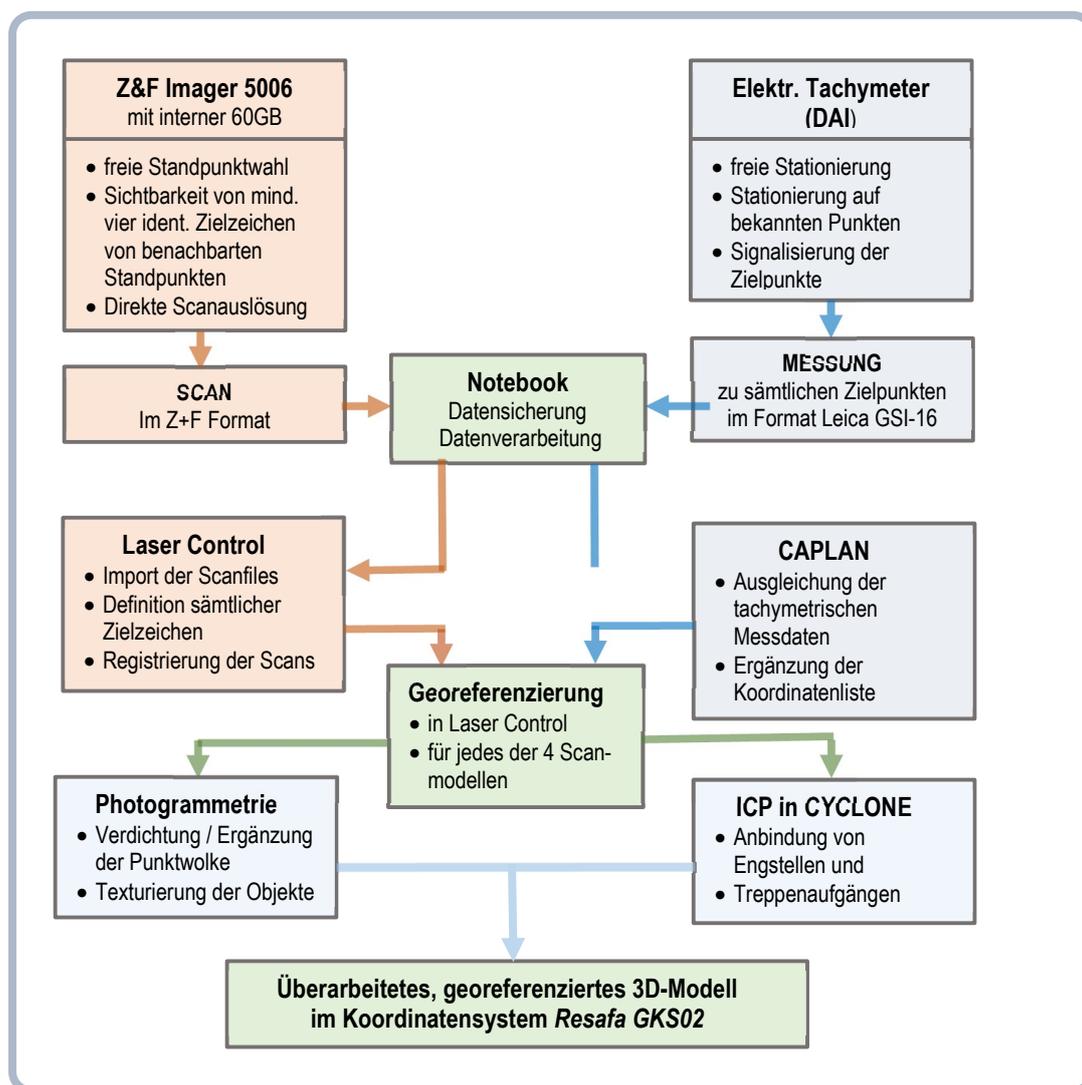


Abb. 4.25 Workflow beim Scannen der Stadtmauer Resafas (2010)

Schließlich konnte die Überführung aller vier Scanmodelle in ein gesamtes 3D-Modell - vom lokalen in das übergeordnete System *Resafa GKS02* - durch getrennte Georeferenzierungen

und anschließender Transformation auf die jeweiligen Festpunkte im Bereich des Modellabschnittes erfolgen. Die Güte dieser Georeferenzierung wurde an den Nahtstellen der

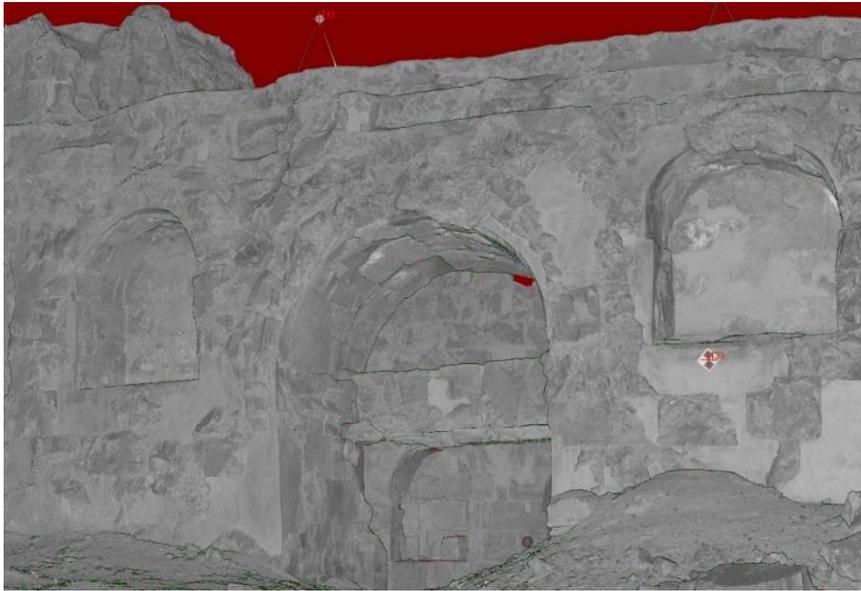


Abb. 4.26 2D-Intensitätsbild eines Scanner-Standpunktes in Laser Control (am Osttor) (2010)

Modelle überprüft und lag im Mittel im Bereich der in Tabelle 4.4 angegebene Abweichungen. Um eine Reduzierung der Datenmenge zu ermöglichen, wurden alle Daten zunächst gefiltert und nicht benötigte Teilbereiche, wie etwa der rückwärtige Raum, entfernt. Eine erste Visualisierung der Ergebnisse konnte für jeden Scan durch das Intensitätsbild und einen Punktwolkenausschnitt erfolgen, wie in den Abbildungen 4.26 und 4.27 am Beispiel des

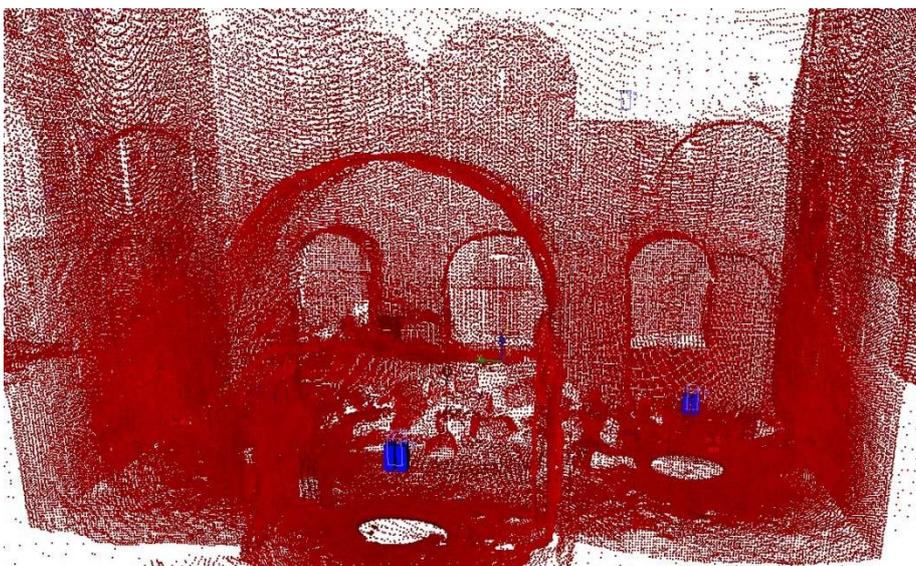


Abb. 4.27 3D-Ansicht eines Punktwolkenausschnittes des Osttores in Laser Control (2010)

Osttores dargestellt. Weitere Eindrücke über Aufnahmesituationen beim terrestrischen Laserscanning werden in den Abbildungen 4.28 wiedergegeben. Die gesamten Messarbeiten sowie eine vorläufige Auswertung, um die Richtigkeit und Qualität der Aufnahme vor Abreise sicherzustellen, konnte dank des vorgestellten Messkonzeptes und der straffen Durchführung in 5 Tagen abgeschlossen werden. Somit blieb noch Zeit, weitere vorgegebene Objekte durch TLS zu erfassen; sie werden im nächsten Kapitel 4.4 näher beschrieben.



Abb. 4.28 Terrestrisches Laserscanning an Osttor und Stadtmauer (Messkampagne 2010)

Alle bereinigten Datenmodelle wurden im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) (weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8]) zur weiteren

Bearbeitung und für spezielle Anwendungen im Rahmen des o.a DFG-Projektes hinterlegt (HOF 2020).

4.3.3 Laserscans der Türme 23, 29, 36 und des Westtores (32)

Wie bereits erwähnt, konnten die Aufnahmearbeiten der historischen Stadtmauer und des Osttores vorzeitig abgeschlossen werden. In einem fünften Arbeitsabschnitt der Messkampagne 2010 wurden zusätzlich noch die Türme T23, T29, und T36 sowie der südliche Turm des Westtors (T32) gescannt (s. Abb. 4.29). Außerdem konnte noch der Innen- und Außenbereich der großen Zisterne im Südwesten der Stadt durch 20 Scans erfasst werden (s. Kapitel 4.4).

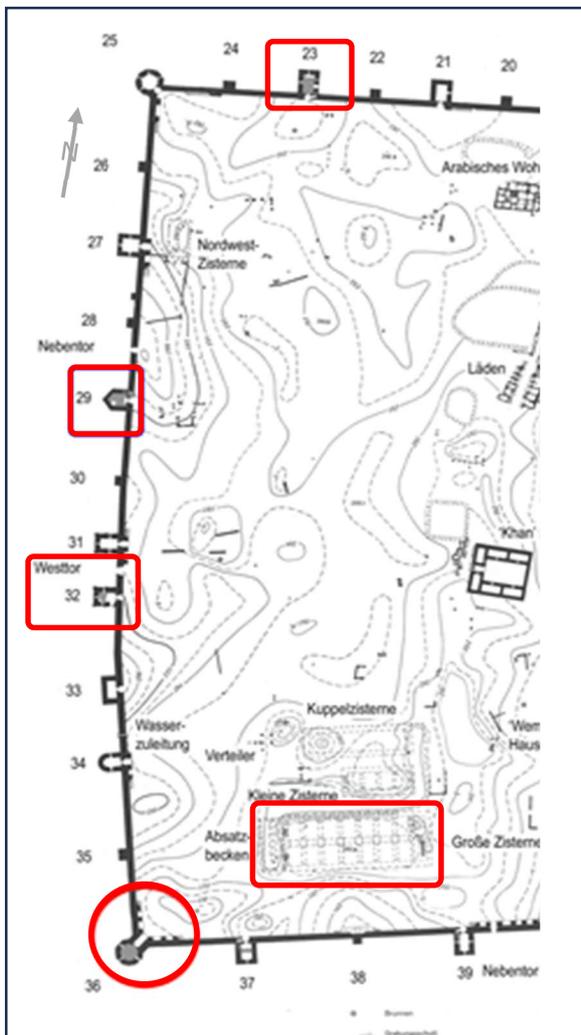


Abb. 4.29 Zusätzliche durch TLS erfasste Objekte in der Messkampagne 2010

Die angeführten Objekte sind in Absprache mit der Grabungsleitung nur durch lokale Scans erfasst worden, wobei im Wesentlichen die Innenräume und Gewölbe von Interesse waren (s. Abb. 4.30), insbesondere das bei T36 relativ gut erhaltene steinerne Gewölbe. Dabei kamen, falls mehrere Scans erforderlich wurden, nur temporäre Zielmarken zum Einsatz, um den Übergang in die verschiedenen Bereiche und damit schließlich die Registrierung zu ermöglichen.



Abb.4.30 TLS zu 3D-Aufnahme des Gewölbes im Turm T29 (2010)

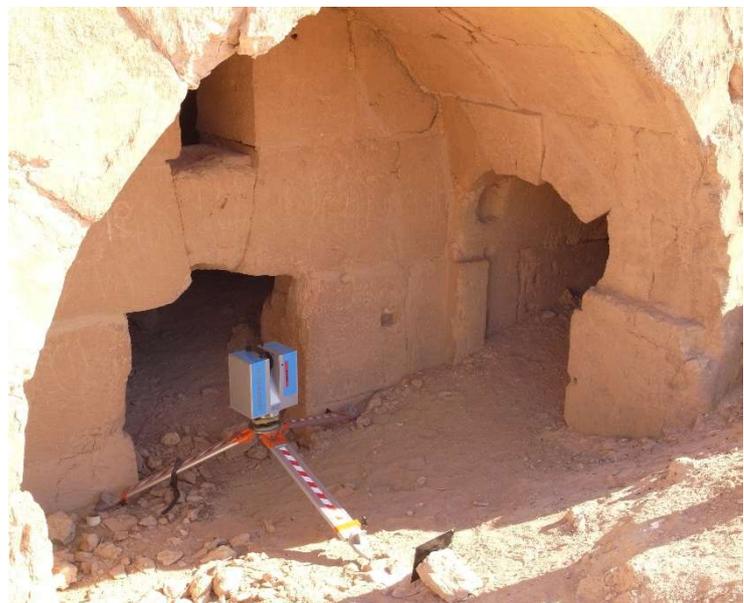


Abb. 4.31 Schwierige Aufnahmestandpunkte zum Scannen des Tums T23. Links: Mit dem Scanner am Austritt der Treppe zum ersten Obergeschoß des Turmraumes. Rechts: Der Scanner steht vor der (heute halbhoch verschütteten) Zugangstür zum Erdgeschoßraum des Turmes (2010)

Ähnlich wie bei der Aufnahme der Stadtmauer waren auch hier durch die baulichen Gegebenheiten schwierige Aufnahmesituationen zu überwinden (s. Abb. 4.31).

Die statistischen Daten sind in Tabelle 4.5 zusammengestellt und zeigen einen Überblick über das erzeugte Datenmaterial und die erreichten Genauigkeiten. Die Daten selbst sind wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) hinterlegt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

Tab. 4.5 Statistische Zusammenstellung des TLS zur 3D-Aufnahme der Türme 23, 29, 32, 36 und der großen Zisterne

Scan-Abschnitt	Scanner Standpunkte	Zielzeichen		Abweichungen		Datenmenge [GB]
		sichtbar	nicht auswertbar	Max. [mm]	Mittel [mm]	
Turm 23	6	33	1	5,7	2,5	0,843
Turm 29	1	-	-	-	-	0,151
Westtor 32	1	-	-	-	-	0,586
Turm 36	1	-	-	-	-	0,155
Gr. Zisterne	20	127	2	12,9	5,2	5,610
Summe bzw. Mittel	29	160	3	9,3	3,8	7,345

4.4 Große Zisterne (Messkampagne 2010)

Heister H., Liebl W., Sternberg A., Krause M., Priebus Chr.

Als weiteres Zusatzprojekt konnte nach Abschluss der Arbeiten an der Nord-Ost-Mauer erstmals eine 3D-Dokumentation durch TLS der großen Zisterne im Süd-Westen der Stadtanlage durchgeführt werden. Sie diente neben drei weiteren westlich gelegenen kleineren Zisternen während der Blütezeit *Resafas* als Hauptwasserspeicher. Dies war besonders wichtig, da das Grundwasser damals wie heute von schlechter Qualität war. Somit war eine gesicherte Versorgung mit Trinkwasser für die Besiedlung und Entwicklung von *Resafa* von großer Bedeutung (HOF 2019). Außer der vollständigen, korrekten dimensionellen Erfassung dieses

sehr ausgedehnten und eindrucksvollen unterirdischen Bauwerks (s. Abb. 4.34) war die Volumenbestimmung aus präzisen Scannerdaten ein weiteres wichtiges Ziel, da hierdurch auch eine verbesserte Schätzung der Einwohnerzahl *Resafas* abgeleitet werden kann. Die bereits in der Vergangenheit vorgenommenen Angaben über das Speichervolumen beruhten alle auf *genäherten* Dimensionsbestimmungen und variierten zwischen 15-16.000 m³ (s. Hof 2019, S. 226). Durch eine vollständige Scanneraufnahme des Innenraums der großen Zisterne konnten erstmals zuverlässige Maße und Volumina abgeleitet werden. Da, wie bereits oben erwähnt, das Bauwerk vollständig unter der Erdoberfläche liegt, erschien es sinnvoll, eine Georeferenzierung der 3D-Dokumentation anzustreben, da nur so eine korrekte Zuordnung des gesamten Gebäudekomplexes zu den anderen oberirdischen baulichen Anlagen der Stadt ermöglicht werden konnte.

4.4.1 Durchführung der TLS-Aufnahme

Schon während der Erkundung zeigte sich, dass diese Georeferenzierung, die koordinatenmäßige Anbindung an das Datum *Resafa GKS02*, messtechnisch schwierig würde, da nur über jeweils zwei Öffnungen am westlichen und östlichen Ende der Zisterne eine schmale Sichtverbindung zum Außenraum bestand. Der einzige Zugang zum Innenraum, ein treppenartiger Tunnel, der an seiner niedrigsten Stelle nur 80 cm hoch war, ermöglichte keine weitere Anbindung; hierüber konnte lediglich das benötigte Instrumentarium ins Innere transportiert werden.



Abb. 4.32 Verknüpfungspunkte für das TLS vom Außen- zum Innenbereich der großen Zisterne (2010)

An jeder der vier Öffnungen wurde deshalb ein Festpunkt vermarktet, Pkt. Nr. 5056, 5057, 5059, 5060, und mit dem RTK-GPS-System 1200 von Leica eingemessen (s. Abb. 4.32 und Abb. 4.33); die Koordinatengenauigkeit liegt in Lage und Höhe bei ca. 1 – 2 cm. Auf diesen vier vermarkten Punkten konnten dann mittels Lotstäben Zielkugeln so positioniert werden, dass ihre Erfassung sowohl vom Innen- als auch im Außenraum der Zisterne ermöglicht wurde. Dadurch war sowohl die angestrebte Georeferenzierung als auch messtechnische Anbindung zwischen allen Scans, außen und innen, kontrolliert (überbestimmt) durchführbar.

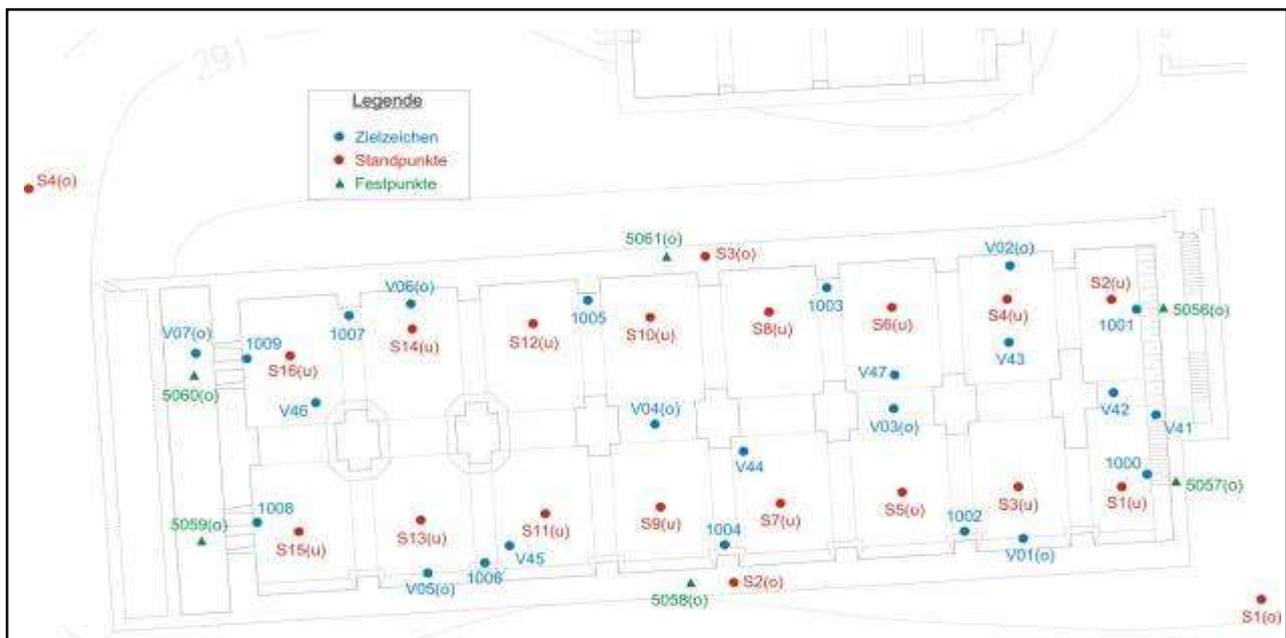


Abb. 4.33 Übersichtsplan der TLS-Aufnahme der großen Zisterne (die mit (o) gekennzeichneten Punkte befinden sich im Außenbereich, die mit (u) im Innenbereich)

Für die äußere TLS-Aufnahme der Deckenplatte der Zisterne wurden zwei weitere Festpunkte, Nr. 5058 und 5061, mittels GPS koordiniert. Somit konnte nunmehr über 6 Festpunkte und 7 zusätzliche temporäre Zielmarken eine genaue und zuverlässige Registrierung und Georeferenzierung der vier Scans im Außenbereich erreicht werden.

Der aus insgesamt 16 Segmenten bestehende Innenbereich der Zisterne wurde mit jeweils einem Scanner-Standpunkt pro Segment im Aufnahmemodus „high“ vollständig erfasst (s. Abb. 4.34). Zusätzlich wurden noch 17 temporäre Zielzeichen, 10 Auto-Targets und 7 Zielkugeln, so positioniert, dass eine optimale Registrierung gewährleistet war. Die gesamte Messanordnung im Inneren der Zisterne ist aus Abbildung 4.33 ersichtlich.



Abb. 4.34 Terrestrisches Laserscanning im Innenbereich der großen Zisterne (2010)

Die Zusammenstellung der erreichten Genauigkeiten und Datenmenge ist der Tabelle 4.5 zu entnehmen. Das gesamte 3D Modell der bereinigten Punktwolke, erstellt über einen 3D-Drucker, wird durch Abbildung 4.35 repräsentiert.

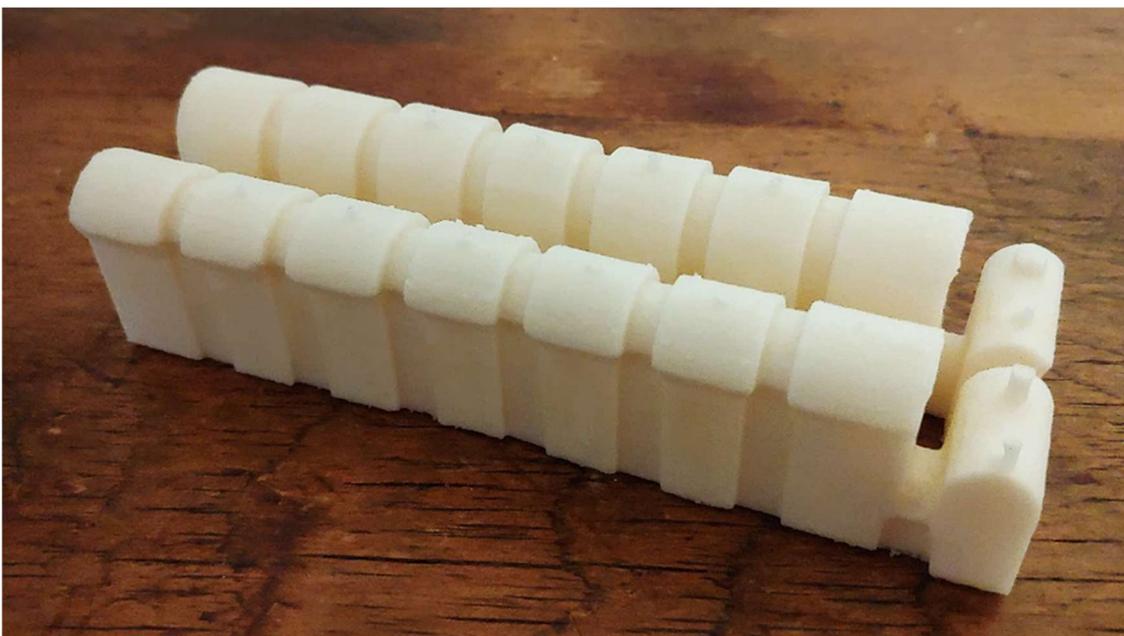


Abb. 4.35 3D-Modell der großen Zisterne *Resafa*, ausgedruckt von der bereinigten Gesamtpunktwolke

4.4.2 Volumenbestimmung

Nach der erfolgreichen Registrierung und Georeferenzierung aller 20 Standpunkte in *Laser Control* wurde zur Vereinfachung bei den weiteren Berechnungen und Modellierungen eine Verschmelzung zu einer einheitlichen Gesamtwolke durchgeführt, wobei gleichzeitig die Punktmenge um 50% reduziert wurde. Diese Punktmenge erwies sich hier als vollkommen ausreichend, um die Struktur der Anlage noch vollständig und geometrisch ausreichend korrekt zu repräsentieren. Anschließend konnte noch im Außenraum durch Ausschneiden nicht benötigter Bereiche eine weitere Reduktion der Datenmenge erreicht werden.

Die verbleibende Punktwolke wurde zu einem Oberflächenmodell aus Dreiecken vermascht. Durch diese sogenannte Triangulation erhält die Punktwolke ein nahezu realistisches Aussehen; gleichzeitig muss für die Volumenberechnung ein geschlossenes Modell erzeugt werden, welches nach Möglichkeit keinerlei Lücken oder Öffnungen aufweist. Durch Fehler im Triangulationsalgorithmus mussten jedoch manche Dreieckflächen von Hand korrigiert oder entfernt werden, um eine vollkommen geschlossene und repräsentative Oberfläche zu gewährleisten. Aus diesem geschlossenen 3D-Modell konnte zunächst ein geometrisch korrekter Grundriss und Längsschnitt abgeleitet werden, aus dem die wichtigsten geometrische Informationen ersichtlich sind (s. Abb. 4.36).

Demnach beträgt die Breite im Mittel ca. 19,6 m und die Länge ca. 60,0 m, einschl. des Zugangsbauwerks im Osten 63,5 m. Aus dem Grundriss leitet sich eine Grundfläche von (in Abb. 4.36 in dunkelgrau) 1078 m² ab. Wie weiterhin im Längsschnitt ersichtlich, fällt der Boden von West nach Ost um 15 cm ab. Dies dürfte im Wesentlichen auf Sandablagerungen zurückzuführen sein. Für ein speicherbares Wasservolumen wurde die maximale Füllstandshöhe auf einer Höhe von 288,67m ermittelt. Sie wird die durch die Tropfkante des Zulaufs im S-W der Zisterne am besten geometrisch repräsentiert und ist in der Punktwolke gut erkennbar. Die Höhe des darunter liegenden Zisternenboden liegt auf 276,85 m. Somit ergibt sich an dieser Stelle eine Füllhöhe von 11.82 m.

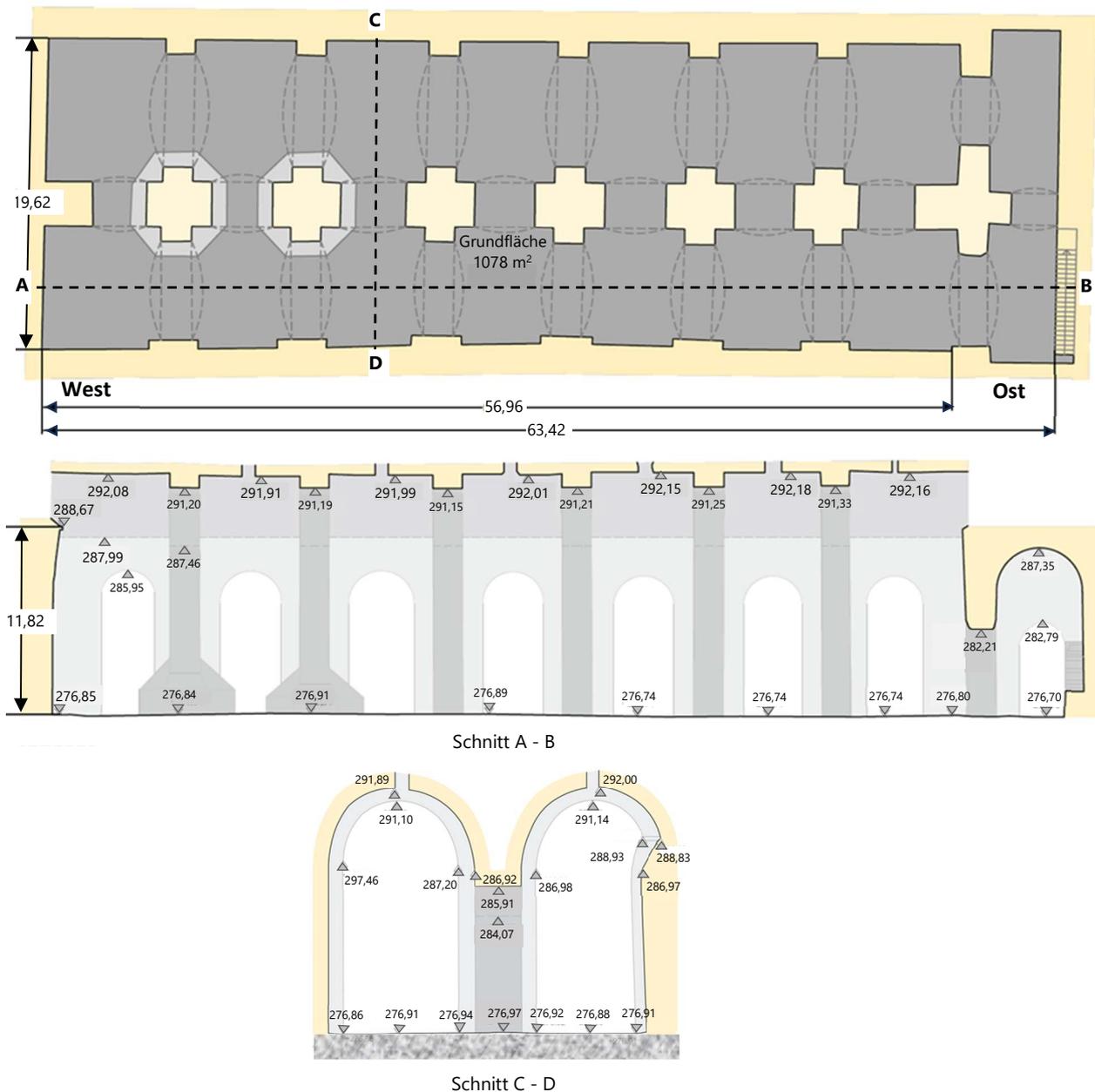


Abb. 4.36 Grundriss, Längs- und Querschnitt der großen Zisterne in Resafa

Zunächst konnte aus dem geschlossenen 3D-Modell das Gesamtvolumen der Zisterne, das unter einem Niveau vom 293,00 m liegt und sich bis zum tatsächlichen Zisternenboden erstreckt, zu 14.316,5 m³ ermittelt werden (s. Abb. 4.37). In einem zweiten Berechnungsschritt wurde das Volumen unter der maximalen Füllhöhe von 288,76m bestimmt, wiederum bezogen auf die tatsächliche Höhenlage des Zisternenbodens. Dies entspricht dem maximal speicherbaren Wasservolumen und ergibt sich zu 12.194,5 m³.

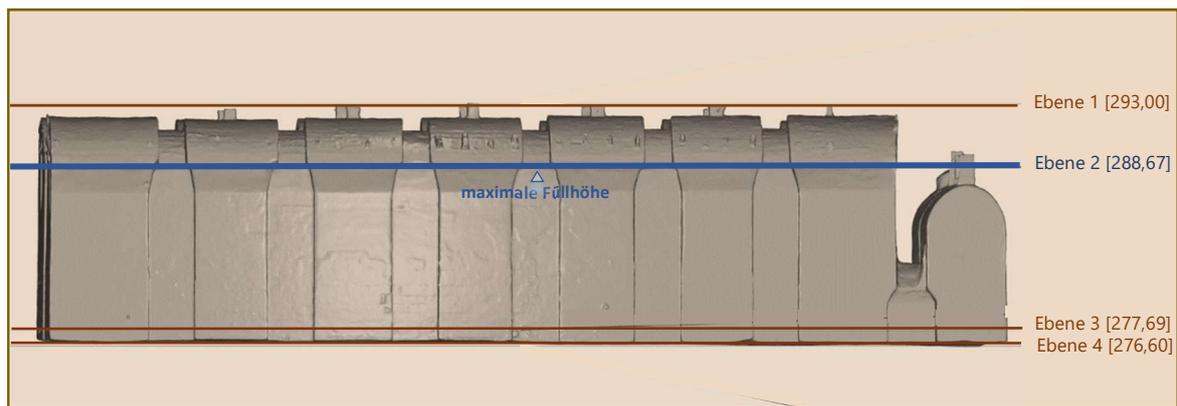


Abb. 4.37 Volumenbestimmung der großen Zisterne *Resafa* in verschiedenen Schnittebenen

Die Volumenberechnungen in dem durch Scannerdaten erzeugten 3D-Modell wurden alle in einer Standardprozedur von *Cyclone* durchgeführt (s. GRAF u. PIMPI 2024). Unter den o.a. Vorgaben wurden die Berechnungen in verschiedenen Schnittebenen (s. a. Abb. 4.37 und Tab. 4.6) wiederholt, um das Ergebnis zu verifizieren bzw. um Modellierungsunsicherheiten zu detektieren. Dabei sollte die Summe des Volumens unter (A) und über (B) einer Schnittebene dem Gesamtvolumen entsprechen. Aus den Differenzen leitet sich eine Modellierungsunsicherheit von ca. 30 m³ ab. Dies dürfte vorrangig auf Abschattungen im Scannen und damit verbundenem Modellierungsfehler zurückzuführen sein. Als bestmögliches Ergebnis kann dennoch mit hoher Zuverlässigkeit im Rahmen der dargelegten Messunsicherheit für das Speichervolumen der großen Zisterne von *Resafa* **12.210 m³** angegeben werden.

Tab. 4.6 Volumenberechnungen der großen Zisterne von *Resafa* in verschiedenen Schnittebenen

Schnittebene Nr.	Höhe [m]	Volumen A [m ³] über Schnittebene	Volumen B [m ³] unter Schnittebene	Gesamtvolumen [m ³] A + B
1	293,00	0,01	14.316,50	14.316,51
2	288,67	2.139,34	12.194,52	14.333,86
3	277,69	13.447,00	930,83	14.377,83
4	276,60	14.381,59	0,60	14.382,19

Alle Daten der unter Kapitel 4.4 beschriebenen Bauwerke stehen zur weiteren Verarbeitung im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], zur Verfügung.

4.5 Bestandsdokumentation Basilika B und C (Messkampagne 2010)

Zusätzlich konnten während der Messkampagne 2010 noch die Ruine der Basilika B und Fragmente der Basilika C mit Hilfe des terrestrischen Scannens messtechnisch erfasst werden.



Abb. 4.38 Ansicht der Basilika B (2010)

Basilika B

Die Kirche wurde bisher nur teilweise ausgegraben. Erhalten ist nur im Osten ein Teil des südlichen Langhauses, der als 18,5 Meter hoher Turm aufragt (s. Abb. 4.38). Die messtechnische

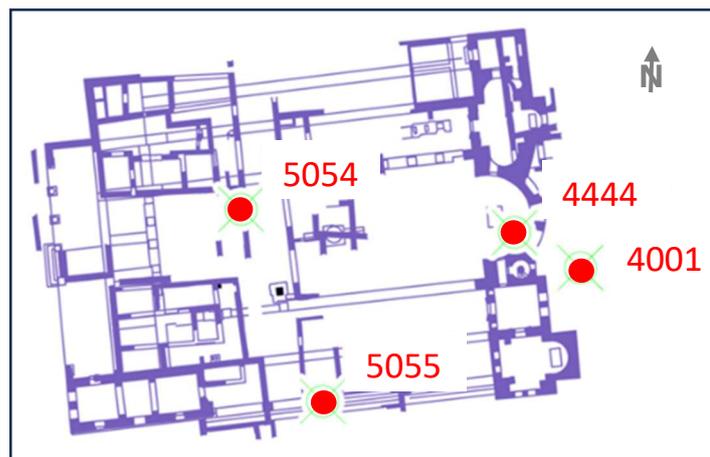


Abb. 4.39 Lageplan der B mit Festpunkten zur Georeferenzierung Basilika

Aufnahme erfolgte über zwei Scannerstandpunkte, die über die Punkte 4001, 4444, 5054 und 5055 in das Koordinatensystem *Resafa GKS02* eingebunden wurden (s. Abb. 4.39). Die Messungen und ihre Auswertungen sind im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen

Archäologischen Institut, Berlin (DAI) , weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], zusammengestellt.

Basilika C

Die Basilika C besaß, nach einigen ausgegrabenen Fragmenten zu urteilen, eine mit farbigen Mosaiken verkleidete Apsis. Diese wurden wieder mit Erdreich überdeckt, so dass nur noch wenige Überreste der Apsis sichtbar sind. Diese wurden über einen Scannerstandpunkt erfasst und über die Festpunkte 5015, 5051, 5052 und 5053 georeferenziert (*Resafa GKS02*, s. Abb. 4.40). Die Messergebnisse sind wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI) zusammengestellt, weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8].

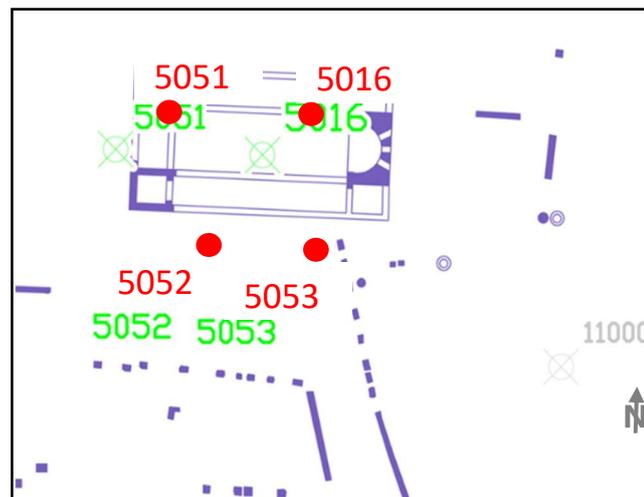


Abb. 4.40 Lageplan der Basilika C mit Festpunkten zur Georeferenzierung

4.6 Ringpolygonzug um die Stadtmauer von Resafa (Messkampagne 2006)

Zusätzlich wurden im Rahmen der Messkampagne 2006 Neupunkte außerhalb der Stadtmauer von *Resafa* und im nahen Umfeld tachymetrisch bestimmt, da diese für verschiedene archäologische Aufgaben benötigt wurden. Als Ausgangsbasis für die archäologische Aufnahme der Stadtmauer unter dem Gesichtspunkt der Bauforschung und Denkmalpflege wurde deshalb ein Ring-Polygonzug mit zwölf Punkten außerhalb, entlang der Stadtmauer erkundet, durch Eisenrohr mit Nagel in Holzpflöck vermarktet und mit einem Leica TPS 1103 Tachymeter der Technischen Universität Berlin eingemessen (s. Abb. 4.41). Zusätzlich wurden

drei neue Festpunkte im Umland von *Resafa* ebenfalls durch Nagel in Betondecke vermarktet und durch polares Anhängen an bekannte Festpunkte tachymetrisch bestimmt.

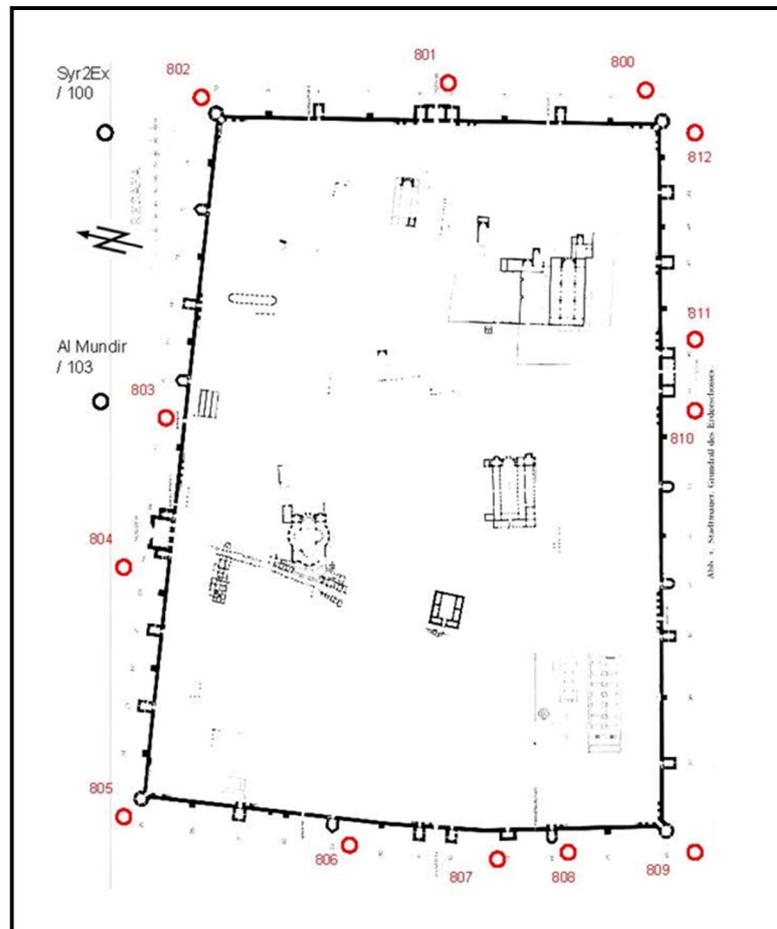


Abb.: 4.41 Lage des Ringpolygons um die Stadtmauer von *Resafa*

Tabelle 4.7 zeigt die ausgeglichenen Koordinaten im System *Resafa GKS02* und Höhen mit ihren Standardabweichungen.

Dem IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in *Resafa* Bd. 8.1, [8], können alle Einmessskizzen der neu bestimmten Punkte einschließlich einer online Punktdokumentation entnommen werden. Die neuen Punkte 120,121,122 dienten vorrangig als Referenzpunkte für weitere Ausgrabungen extra muros.

Tab. 4.7 Lage- und Höhenkoordinaten des Ringpolygons im System Resafa GKS02

Punkt Nr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	S_{Lage} [mm]	S_{Höhe} [mm]	Vermarkung
800	13478385,140	3944432,595	300,111	1,9	0,7	Rohr mit Nagel in Holz
801	13478381,680	3944616,524	300,560	2,6	0,7	Rohr mit Nagel in Holz
802	13478370,948	3944791,265	300,255	2,8	0,7	Rohr mit Nagel in Holz
803	13478113,784	3944808,967	293,229	4,0	0,9	Rohr mit Nagel in Holz
804	13477993,936	3944814,827	291,110	4,9	1,0	Rohr mit Nagel in Holz
805	13477804,633	3944813,924	289,605	6,6	1,1	Rohr mit Nagel in Holz
806	13477791,870	3944644,003	291,824	6,8	1,2	Rohr mit Nagel in Holz
807	13477788,511	3944518,700	293,718	6,9	1,2	Rohr mit Nagel in Holz
808	13477794,633	3944455,176	293,225	6,8	1,2	Rohr mit Nagel in Holz
809	13477804,827	3944368,830	289,674	6,6	1,1	Rohr mit Nagel in Holz
810	13478145,578	3944388,905	296,900	5,1	1,0	Rohr mit Nagel in Holz
811	13478195,718	3944388,988	299,084	4,5	0,8	Rohr mit Nagel in Holz
812	13478353,042	3944398,477	300,713	2,3	0,8	Rohr mit Nagel in Holz
120	13478249,697	3944248,099	302,522	4,2	3,3	Messingbolzen in Decke
121	13478350,692	3944068,961	302,678	4,5	4,0	Messingbolzen in Decke
122	13478223,018	3944271,899	304,348	1,5	2,4	Messingbolzen in Decke

5. Terrestrisch-photogrammetrische Arbeiten von 2006 – 2010

Stephani M., Heister H., Kowoll D., Liebl W., Lopens T., Nichelmann K., Sternberg A.

Wie im Kapitel 1.3 bereits kurz angedeutet, haben in *Resafa* photogrammetrische Arbeiten schon immer einen bedeutenden Beitrag zur Dokumentation der archäologischen Objekte und Fundplätze extra und intra muros geliefert. Einen ausführlichen historischen Überblick der vorangegangenen Arbeiten und des hierfür eingesetzten Instrumentariums hat STEPHANI 2024 in einem kurzen Rückblick zusammengefasst, der in Anlage I, Beitrag I.1 wiedergegeben wird.

Mit dem Einsatz der Scannertechnologie zur Bestandsaufnahme ausgewählter Objekte in *Resafa* - erstmals im Jahre 2006 an der Basilika A - hat insbesondere die *terrestrische Photogrammetrie* wieder an Bedeutung gewonnen. Dabei wurden die gezielt ergänzenden photogrammetrischen Aufnahmen mit der Absicht durchgeführt, um

- in einer Nachbearbeitung Texturen der Objekte einfügen und
- feine Strukturen besser auflösen zu können sowie
- unvermeidbare Lücken bei den Scanneraufnahmen zu schließen.

Diese ersten Einsätze von Laserscannern in *Resafa* für archäologische Vorhaben erfolgten relativ früh, als einerseits die Instrumente in ihrer Auflösung noch vergleichsweise grob, andererseits, die Softwaretools zur Integration, Fusion oder Kombination mit anderen Techniken, wie z.B. der digitalen Photogrammetrie, noch wenig entwickelt waren. Daher konnten die Vorteile dieser beiden Aufnahmetechniken – Scannen und digitale terrestrische Photogrammetrie - in den damaligen Auswertungen zunächst nur beispielhaft verifiziert werden, zeigten jedoch bereits zu diesem frühen Zeitpunkt ihr hohes Potential für eine zukünftig breitere Anwendung.

Mittlerweile ist die Softwareentwicklung so weit fortgeschritten, etwa die Software ELCOVISION 10 der PMS AG, dass z.B. aus photogrammetrischen 3D-Modellen vollautomatisch Punktwolken in Laserscanner Qualität des aufgenommenen Objektes erzeugt werden können. Diese Punktwolken sind in andere digitale Datenmodelle, z. B. den Punktwolken aus TLS, integrierbar und ermöglichen die optimale Nutzung beider Technologien zu einem sehr detaillierten 3-D-Modell mit RGB-Texturierung.

In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst über die Erfassung von terrestrisch-photogrammetrisch Daten einzelner Bauwerke in *Resafa* berichtet, danach werden erste Ansätze möglicher Auswertungen zur damaligen Zeit skizziert.

An dieser Stelle soll hervorgehoben werden, dass den seiner Zeit in *Resafa* gewonnenen Daten eine besondere Bedeutung zukommt, da sie mit aktueller Software für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen genutzt werden können, besonders als Grundlage für die Erzeugung von realistischen, geometrisch korrekten und im Detail hoch qualitativen 3D-Modellen.

5.1 Photogrammetrische Aufnahme der Basilika A im Jahre 2006

Neben der geometrischen Erfassung der *Basilika A* durch Laserscanning (s. Kap. 4.1) wurde in der Messkampagne 2006 zusätzlich eine photogrammetrische Aufnahme durchgeführt. Zur Vervollständigung der 3D-Dokumentation durch TLS und zur bildhaften Dokumentation des Erhaltungszustands wurde der Innen- und Außenraum mit zahlreichen *Einzelbildern* dokumentiert. Obwohl bereits der Übergang von der computergestützten analytischen Photogrammetrie zur rein digitalen Auswertung realisiert war, mangelte es noch an digitalen Aufnahmegereäten, die auf großflächige Bildebenen (chips) aufzeichnen konnten. Dies war dann auch der Hauptgrund für einen „Umweg“, der es dennoch ermöglichte, mit großflächigen *digitalen* Bildern zu arbeiten. Hierfür wurde eine sog. Teilmesskammer mit kalibrierter Optik

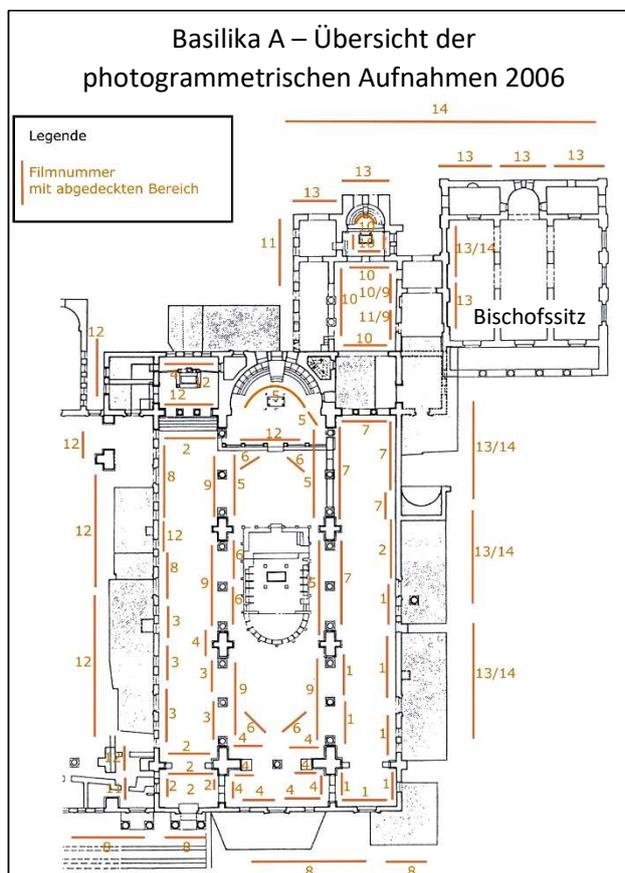


Abb. 5.1 Photogrammetrische Dokumentation der Basilika A (2006)

sowie dem Negativformat 6 cm x 6 cm und Farbfilm eingesetzt. Insgesamt konnte das gesamte Bauwerk mit einer Mittelformatkamera mit 168 Einzelbildern auf Farbfilm in großen Teilen abgedeckt werden. Anschließend wurden die analogen Farbbilder professionell gescannt und so in digitale Bildvorlagen mit hoher Auflösung überführt.

Bei der Planung der Aufnahme wurde zunächst darauf geachtet, dass sich die Einzelbilder nur geringfügig überdecken, da diese ja vornehmlich zur Visualisierung der Innen- und Außenfassaden auf der Grundlage der Scannerdaten verwendet werden sollten. Kleinere Teile der *Basilika A*, die durch TLS nur unzureichend abzudecken waren, wurden mit Stereoaufnahmen erfasst. Eine genaue Übersicht der photogrammetrisch erfassten Bereiche findet sich in Abbildung 5.1.

Zum Einsatz kam die fokussierbare analoge Teilmesskammer Rollei SLX (s. Abb. 5. 2 und Tab. 5.1). Ausschließlich verwendet wurde das Weitwinkelobjektiv Distagon mit einer nominalen Brennweite von $f = 50$ mm, immer mit der Entfernungsraste auf unendlich (also ein Fixfocus Einsatz). Bedingt durch diese einheitliche Brennweite und das große Format der Rollei SLX ergaben sich bei der Aufnahme große Abbildungsmaßstäbe, eine wichtige Voraussetzung für die Detailtreue beim Vergrößern der Bilder für die Visualisierung.

Die entstandenen analogen Farb-Diapositive wurden nach der Entwicklung mit dem hochauflösenden Luftbildscanner Zeiss-SCAI mit einer Auflösung von 14 μm digitalisiert. Pro RGB-Bild stand eine unkomprimierte TIF-Datei von durchschnittlich 93 MB Größe zur Verfügung. Die feine Auflösung bei der Digitalisierung ist notwendig, um eine hohe Detailtreue zu gewährleisten. Wie bereits erwähnt boten Digitalkameras zu dieser Zeit weder so große Originalformate noch die durch das Scannen der analogen Vorlagen erreichte hohe Auflösung.



Abb. 5.2 Rollei SLX (2006)

Tab. 5.1 Spezifikation der Rolle SLX

Kameratyp	Einäugige Spiegelreflexkamera
Nennformat /Effektivformat	6 x 6 cm/ Netto: 56 x 56 mm
Produktions- und Verkaufszeitraum	Von 1974 bis 1984
Belichtungsfunktionen	TTL- Messung bei Arbeitsblende, Blendenautomatik
Verschlussart	1/500 s-30 s, B
Filmeinsätze	6 x 6 (jeweils für Typ: 120 und 220), keine Wechselmagazine
Autofokus	Nein, Entfernungsrasten
Blitzfunktionen	Synchronisation bei allen Zeiten, keine TTL- Messung

5.1.1 Kombination von Laserscanning und photogrammetrischer Aufnahme am Beispiel der Basilika A, (Messkampagne 2006)

Als beispielhafte Verknüpfung der zwei unterschiedlichen Messverfahren wurde die kleine Apsis des Bischofssitzes im Südosten der Basilika A gewählt (s. Abb. 5.1). Von diesem Objektbereich existiert ein Rolle SLX Bildpaar mit leicht konvergenten Aufnahmeachsen, wodurch sich die beiden Bilder zu mehr als 90% überdecken und daher geeignet sind stereoskopisch betrachtet zu werden.

Zunächst mussten die jeweiligen Daten für die gewählte Örtlichkeit bereitgestellt werden. Aus der Punktwolke der Laserscans wurde der entsprechende Bereich in dem Programm *CYCLONE* separiert. Die circa 5,4 Millionen Punkte sind im TXT- Format mit ihren Koordinaten im System *Resafa GKS02* exportiert worden.

Für die weiteren Arbeitsschritte kamen erste Versionen der Programme *metigo PanPro* und *metigo StereoPro* der Firma fokus GmbH, Leipzig, zum Einsatz (s. Intern. Links [3] und [4]), die in der Diplomarbeit von KOWOLL U. STERNBERG 2007 ausführlich beschrieben sind. Mit *PanPro* können digitale Aufnahmen in einem vorliegenden Koordinatensystem über entsprechende Passpunkte photogrammetrisch orientiert (gelagert und ausgerichtet) werden. *metigo StereoPro* bildet aus so orientierten Bildpaaren ein Anaglyphenmodell. Mit geeigneten

Hilfsmitteln (z.B. rot-grün Brillen) ist die dazu notwendige räumliche Betrachtung der darin enthaltenen Details möglich. In diesem dreidimensionalen Raum können manuell oder automatisch Koordinaten zur weiteren Verwendung abgegriffen werden. Durch Vorgabe eines gewählten räumlichen Punktabstandes im Stereomodell wurden im vorderen Bereich des Bischofssitzes, rund um die Apsis, 16.713 Objektpunkte automatisch generiert. Sie bildeten eine Punktwolke, ähnlich der des Laserscanners.

Für die anschließende Zusammenführung der beiden unterschiedlich umfangreichen Punktwolken aus Laserscanning und Photogrammetrie wurde das Programm *metigo StereoPro* verwendet. Eine detailgetreue Darstellung des Objektes setzt vor der eigentlichen Texturierung voraus, sämtliche Punkte zu Dreiecken zu vermaschen (eine sog. 3D-Delaunay-Triangulation), um daraus ein repräsentatives Oberflächenmodell zu generieren. Anschließend kann dann die geschlossene Oberfläche lückenlos texturiert werden, sofern für alle Bereiche Bilddaten vorliegen. Die importierte gescannte Punktwolke und die berechneten Punkte des Stereomodells sind in diesem Beispiel getrennt trianguliert worden. Abbildung 5.3 zeigt die Vermaschung der Laserscan-Punktwolke aus der auch deutlich hervorgeht, dass ein abgeschatteter Bereich keine gescannten Punkte enthält (s. rote Umrandung).

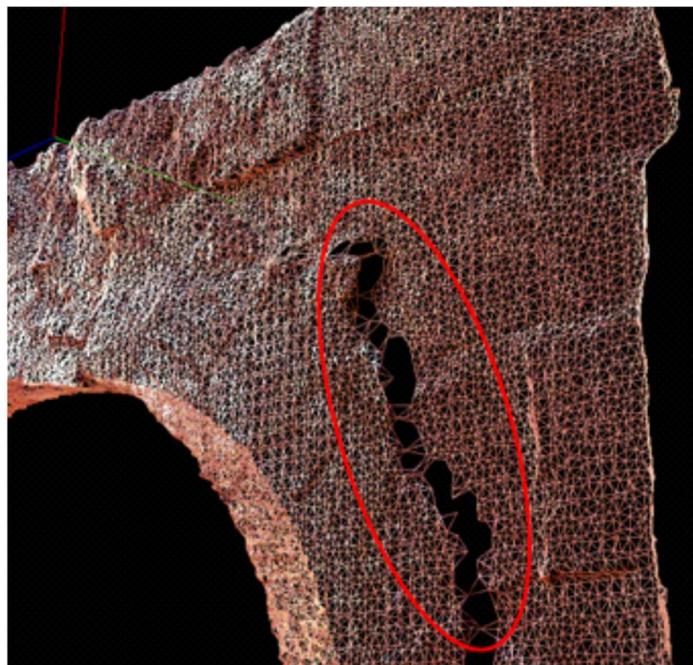


Abb. 5.3 Triangulierter Ausschnitt der *gescannten* Punktwolke der kleinen Apsis des Bischofssitzes (2006)



Abb. 5.4 Texturierter Teilausschnitt der kleinen Apsis des Bischofssitzes (2006)

Die Kombination der beiden triangulierten Punktwolken, generiert aus der TLS Aufnahme und aus dem Stereobildpaar mit anschließender Texturierung führte dann zu der gewünschten geschlossenen Darstellung (s. Abb. 5.4). Dieses Beispiel zeigt anschaulich wie durch das Laserscanning nicht erfasste Bereiche durch digitale Photogrammetrie vervollständigt und texturiert werden können.



Abb. 5.5 Anaglyphen Stereomodell (Bischofssitz 2006)

Stereobildpaare ermöglichen neben der Erzeugung von gemeinsamen 3D-Punktmodellen auch eine stereoskopische Betrachtung des aufgenommenen Objektes. Um diese Visualisierungsvariante zu zeigen, wurden die beiden RGB-Bilder des Stereomodells zunächst in Grauwertbilder gewandelt und danach zur Bildtrennung bei ihrer Überlagerung das Anaglyphenverfahren eingesetzt (s. Abb. 5.5). Zur Betrachtung ist eine geeignete Rot-Grün-Brille notwendig.

Mittels der Animationssoftware in *metigo StereoPro* (Demonstrationsassistent) kann in diesem Anaglyphen Stereomodell jeder beliebige Punkt räumlich angefahren und die Umgebung beurteilt werden. Zusätzlich ermöglicht diese Software eine virtuelle Betrachtung des Objektraumes; hierzu wurde beispielhaft ein kurzer „Spaziergang“ durch den Bischofssitz erzeugt, der im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], hinterlegt ist.

5.1.2 Ergänzende photogrammetrische Aufnahme und 3D-Modellierung der Basilika A (Messkampagne 2007)

Auf den vielversprechenden Erfahrungen der Kampagne von 2006 aufbauend, stand die nächste Messkampagne 2007 allein unter dem Ziel, umfassendere Grundlagen für eine möglichst vollständige 3D-Visualisierung der Basilika A zu schaffen.

Dabei waren folgende Fragen von besonderem Interesse:

- Mit welchem Aufwand können kleine Lücken der Punktwolke sinnvoll ergänzt werden, und welche adäquate Software kann dafür eingesetzt werden?
- Welche Anzahl und Verteilung der Passpunkte zur Auswertung der Bilder in einer Bündelblockausgleichung ist sinnvoll?
- Wie ist die Leistungsfähigkeit von rein digitalen photogrammetrischen Aufnahmekameras mit kurzen Brennweiten (die zwischenzeitlich auf den Markt gekommen waren) abzuschätzen?

Diesen Herausforderungen stellte sich K. Lopens in seiner Diplomarbeit (LOPENS 2008) an der Universität der Bundeswehr, München, der die Messkampagne 2007 in *Resafa*, unterstützt von K. Nichelmann, bestritt. Dazu sollte das bereits *vorhandene* photogrammetrische Bildmaterial ergänzt und teilweise erneuert werden.

Mit der Software *RiScan Pro* texturierte Lopens Teile der vorgegebenen Punktwolke von 2006 und beschrieb die gewählte Vorgehensweise im Detail.

Ein wesentlicher Beitrag für die einfachere photogrammetrische Auswertung der Bilder war die zusätzliche Einführung von eingemessenen Passpunkten – teils signalisierte Zielzeichen, teils signifikante natürliche Objektpunkte (s. Abb. 5.6). Zusätzlich wurde auch jeder Kameraaufnahmeort koordiniert, was bei genügend vorliegenden Passpunkten zwar nicht zwingend notwendig ist, aber zu einer schnelleren und sicheren Zuordnung der Bildbereiche beitrug. Die Messungen wurden mit dem elektronischen Tachymeter Leica TCR 703 durchgeführt. Die Auswertung führte zu 3D-Koordinaten im System *Resafa GKS02*.

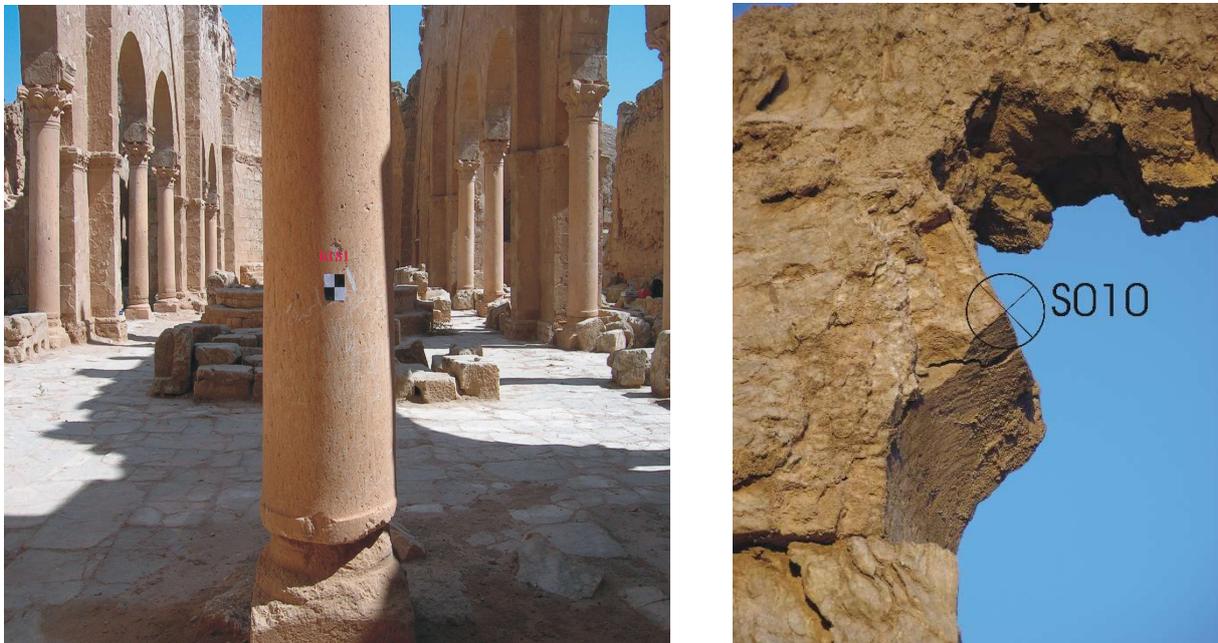


Abb. 5.6 Passpunkte als Zielzeichen (links) oder natürlicher Objektpunkt (rechts) (2007)

Ein Überblick der Kamerastandpunkte und Passpunkte ist in der Abbildung 5.7 wiedergegeben. Insgesamt wurden ca. 215 Standpunkte und ca. 400 Passpunkte koordiniert. Die Standardabweichung lag bei $s_{\text{Photo}} < 2\text{cm}$. Alle Koordinaten und Genauigkeitsinformationen sind im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], hinterlegt.

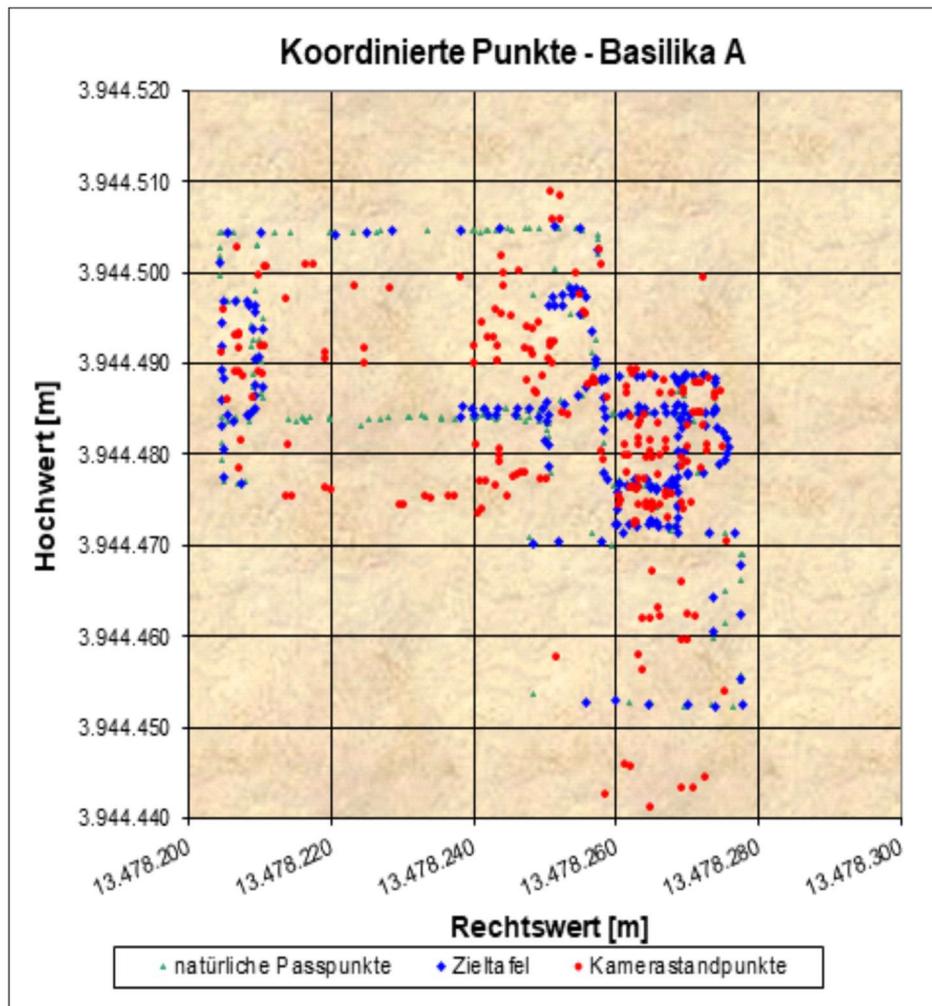


Abb. 5.7 Photogrammetrische Aufnahme- und Passpunkte (2007)

Zur Aufnahme der Bilder wurde in dieser Messkampagne die digitale Fixfocus Kamera Rollei d7 metric⁵ eingesetzt (s. Abb. 5. 8). Die technischen Daten können der Tabelle 5.2 entnommen werden.



Abb. 5.8 Rollei d7 metric⁵ (2007)

Tab. 5.2 Technische Daten der Rollei d7 metric⁵

Kameratyp:	integrierter Farbmonitor 2,5"
Sensor:	2/3" CCD-Chip mit 2552 x 1920 Pixel
Verschlusszeiten:	1 /1.000 – 1 Sek., elektronischer Verschluss
Speicher:	Flexibles Speichersystem
Empfindlichkeit:	entsprechend ISO 100/21°
Bildaufzeichnung:	Verlustfreie Rohdaten, ohne Kompression, 6,4 MB pro Aufnahme
Abmessungen:	151 x 102 x 106 mm (BxHxT)
Gewicht:	ca. 650 g (ohne Batterien und Speichermedium)
Objektiv:	Rollei D-Apogon f=7 mm (vergl. 28mm Kleinbild)

Insgesamt wurden 301 digitale Bilder mit der Rollei d7 metric⁵ neu erfasst, wodurch 100% des Innenbereiches und 75% des Außenbereiches abgedeckt wurden. Alle Aufnahmen können wieder im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], entnommen werden.

An dieser Stelle soll ein Vergleich der beiden photogrammetrischen Aufnahmekammern von 2006 (analoge Rollei SLX) und von 2007 (digitale Rollei d7 metric⁵) eingeschoben werden. Dazu stelle man folgende Überlegung, welche auch den damaligen Übergang von der analogen zur digitalen Fotografie wiedergibt, an: Bei einer Aufnahmeentfernung von z.B. 10m erzielt die Rollei SLX mit ihrer Brennweite von 50 mm einen Bildmaßstab von 1:200, während er bei der Rollei D7 (Brennweite 7mm) 1:1430 beträgt. Da aber letztere einen doppelt so großen Aufnahmewinkel besitzt, kann man die Aufnahmeentfernung auf die Hälfte (5m) reduzieren, um den gleichen Bereich am Objekt abzudecken, allerdings immer noch mit einem Bildmaßstab von nur 1:715. Berücksichtigt man ferner, dass die analogen Bilder mit 14 µm gescannt wurden, dagegen die Pixelgröße der digitalen Kamera bei 5 µm liegt, erreicht man selbst bei dem kleineren Bildmaßstab der Rollei d7 metric⁵ in etwa die gleiche Auflösung am Objekt. Damit ist der Einsatz dieser digitalen Kamera nachweislich geeignet, zumal sie auch noch andere Vorteile

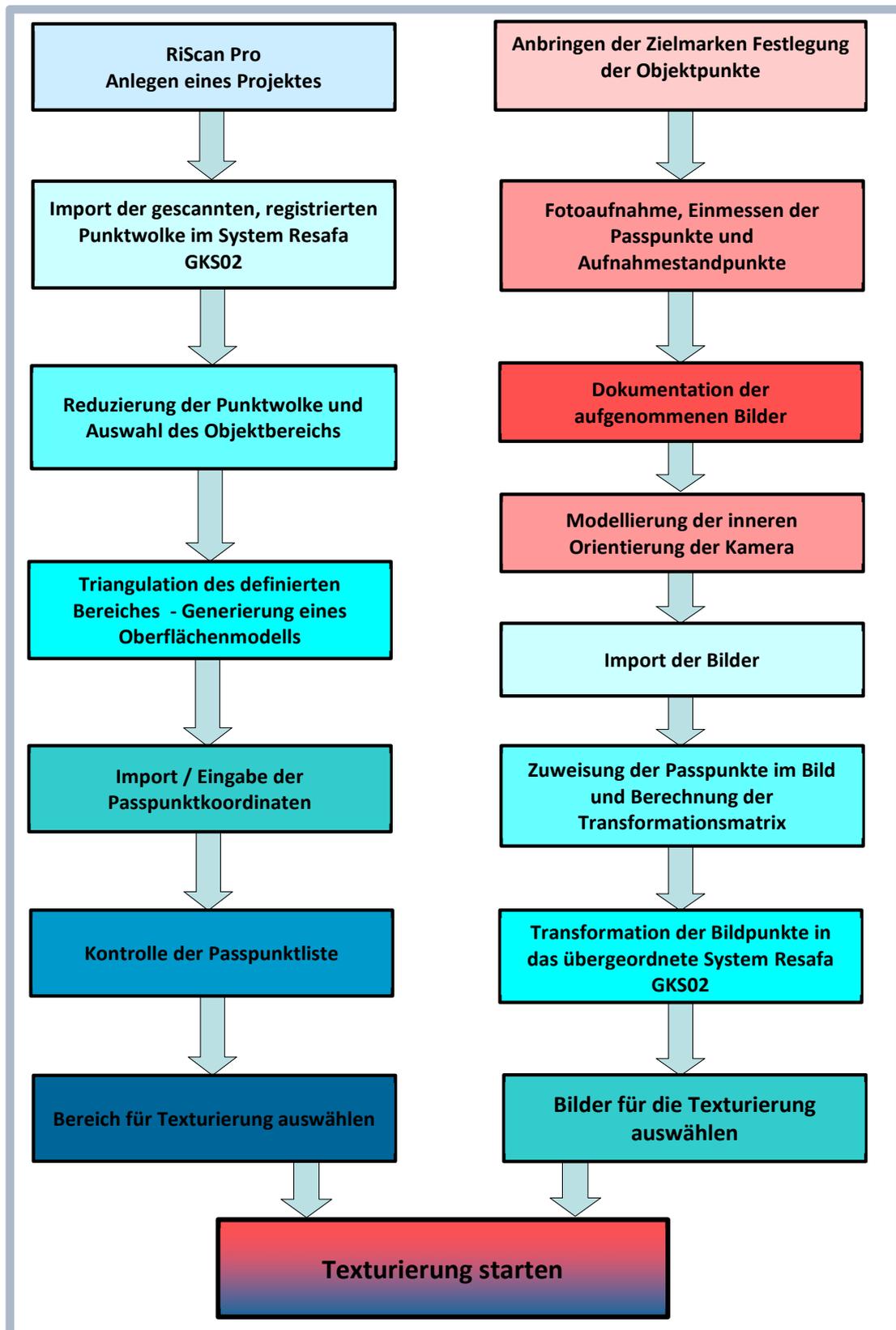


Abb. 5.9 Workflow zur Kombination / Fusion von Laserscan-Punktwolken und digitalen Bildern (2007)

besitzt, vor allem die digitale Speicherung der Bilder im Gerät. Dank der sprunghaften Entwicklung der digitalen Photographie in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten, besonders der CMOS-Technologie, stehen heute hervorragende digitale Vollformat und sogar Mittelformatkameras zur Verfügung, die wegen ihrer sehr hohen Auflösung und Bildqualität die analoge Aufnahmetechnik gänzlich verdrängt haben.

Die sich anschließende Bearbeitung, wie die Berücksichtigung der Parameter der inneren Orientierung und Verzeichnung des Objektivs, sowie die absolute Orientierung (Berechnung der Koordinaten des Projektionszentrums und die Lage jedes Bildes im 3D-Raum) bis hin zur Zusammenführung mit den Scanneraufnahmen der Basilika A von 2006 wurde dieses Mal überwiegend mit dem Programm *RiScan Pro* der Fa. Riegl, Österreich (s. Intern. Link [5]) durchgeführt.

Die weitere Vorgehensweise zur Kombination und auch die Fusion der Laserscan-Punktwolken mit den digitalen Bildern ist aus dem Workflow in Abbildung 5.9 ersichtlich. Eine detaillierte Beschreibung hierzu kann wieder der Diplomarbeit von LOPENS 2008, entnommen werden.

Am Beispiel des südlichen Teils des Ostjoches der Basilika A sollen jedoch einige Arbeitsschritte beispielhaft erläutert werden. Nach dem Import der Punktwolke, bereits im Koordinatensystem *Resafa GKS02* registriert, erfolgt eine Reduzierung der Daten und die Auswahl des gewünschten Objektbereiches (Abb. 5.10). Danach wird über eine 3D-Delauny-Triangulation das Oberflächenmodell aufbereitet (s. Abb. 5.11). Hierbei wird sichtbar, dass im Scan nicht erfasste Bereiche auch nicht korrekt trianguliert werden können und somit eine Lücke im Oberflächenmodell bilden, vgl. schwarzer Bereich in beiden Abbildungen, insbesondere bei den Ausschnittvergrößerungen rechts.

Da jetzt beide Datensätze – Oberflächenmodell des Scans und digitales Bild – im gleichen Koordinatensystem vorliegen, kann jedem Dreieck des Oberflächenmodells die entsprechende digitale Bildinformation zugewiesen werden. Das Ergebnis ist für den ausgewählten Objektbereich – das Ostjoch – in Abbildung 5.12 dargestellt. Hierfür wurde das texturierte 3D-Modell zunächst nur aus der Punktwolke des Laserscan generiert. Das bedeutet, dass die Lücken der Punktwolke immer noch zu unvollständigen, schwarzen Bereichen im texturierten Modell führen. Dieser Mangel kann dann in einem weiteren Bearbeitungsschritt über Stereobildpaare und entsprechender Auswertesoftware behoben werden. Diese Möglichkeit wird im nachfolgenden Kapitel 5.1.3 beschrieben.

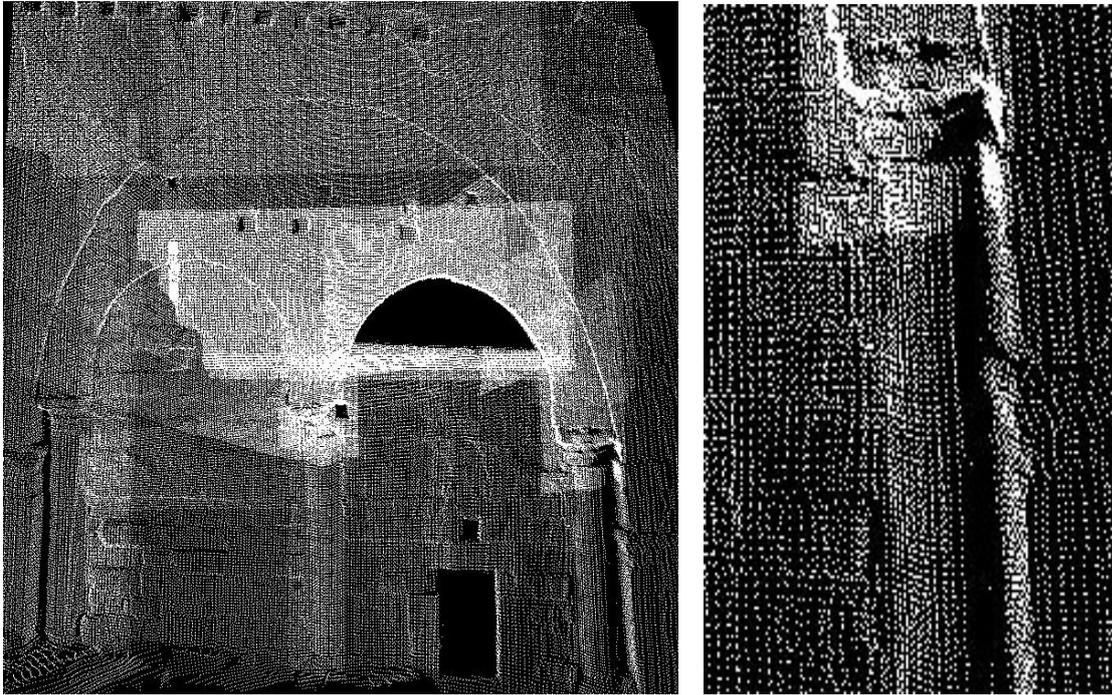


Abb. 5.10 Punktwolke des Ostjochs (Südseite) (2007)

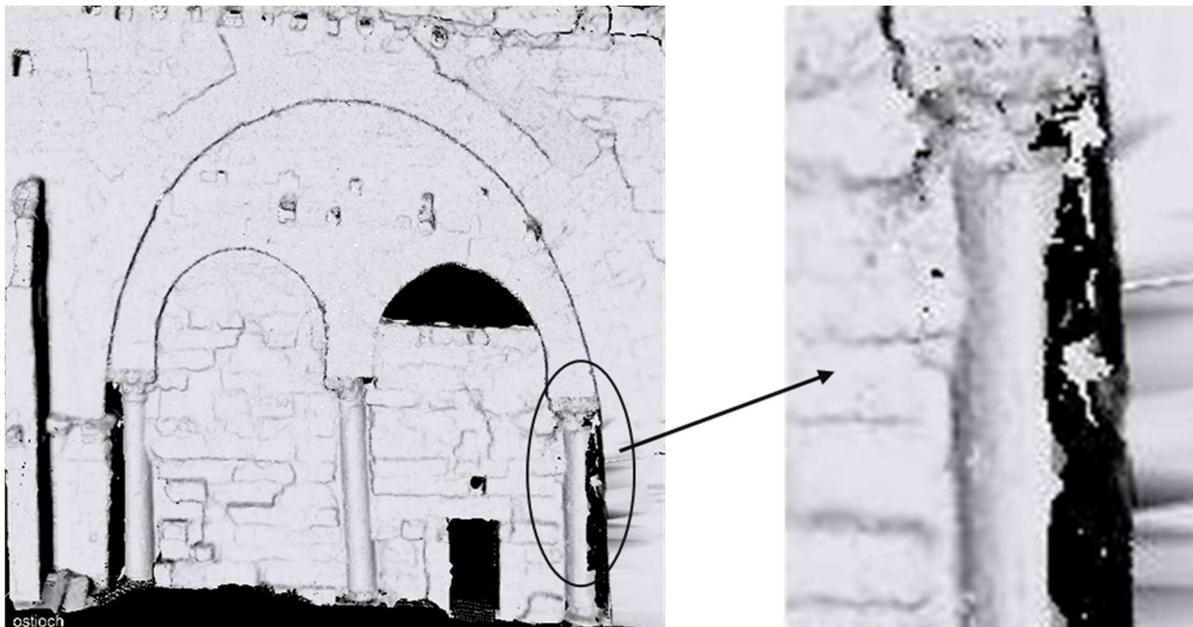


Abb. 5.11 Oberflächenmodell des Ostjochs (Südseite) (2007)



Abb. 5.12 Texturiertes 3D-Oberflächenmodell des Ostjochs (Südseite) mit unvollständigen, schwarzen Bereichen (2007)

5.1.3 Erzeugung eines verbesserten 3D-Oberflächenmodells mit Hilfe von Stereo-Aufnahmen (Messkampagne 2007)

Liegen von *einem* Objektbereich zwei Bilder von unterschiedlichen Standpunkten und in etwa parallelen Aufnahmerrichtungen vor, können sie über korrespondierende Punkte relativ zueinander orientiert werden. Dies erfolgte mit der Software *metigoStereoPro* automatisiert (heute *metigo 3D*, s. Intern. Link [3]). Anschließend ist es möglich über mindestens 3 Passpunkte die Position und Lage der Bilder im Raum - im Bezugssystem *Resafa GKS02* - und damit auch für jedes einzelne Bildpixel zu berechnen (absolute Orientierung). Somit ist auch aus dem Stereomodell die Möglichkeit gegeben, über eine 3D-Triangulierung ein Oberflächenmodell

des ausgewählten Objektbereiches zu erzeugen. Der in Abbildung 5.13 gezeigte Ausschnitt des Ostjoches besteht aus 68188 Punkten; die Triangulierung führte dann zu 134642 Dreiecken, die mit den beiden Bildern der Stereoaufnahmen texturiert wurden. Der gesamte Vorgang läuft nahezu automatisiert mit der erwähnten Software ab. Eine detaillierte Beschreibung findet sich abermals in LOPENS 2008.



Abb. 5.13 3D-Oberflächenmodell, links trianguliert, rechts durch Stereoaufnahmen texturiert (Ausschnitt aus dem Ostjoch) (2007)



Abb. 5.14 Durch Stereoaufnahmen texturierter Ausschnitt aus dem Ostjoch (2007)

Vergleichend wurde die Texturierung ebenfalls mit *RiScan Pro* durchgeführt. Hierbei sind einige Bereiche ohne Texturierung erkennbar (schwarze Stellen links unten, s. Abb. 5.14). Dabei stellt

sich die weitgehend autonome Triangulation mit *metigoStereoPro* - im Gegensatz zur manuellen Triangulation in *RiScan Pro* als vorteilhafter heraus.

Wie bereits erwähnt ermöglicht die Software *metigoStereoPro* aus Stereobildpaaren ein Anaglyphenmodell zu erzeugen (s. Abb. 5.15). Hierbei wird das linke Bild rot und das rechte blau-grün eingefärbt. Mit einer entsprechenden rot/grün Brille erfolgt die notwendige Bildtrennung zur räumlichen Betrachtung. Einige weitere Anaglyphenmodelle sind im IANUS-Datenportal [9] beim Deutschen Archäologischen Institut, Berlin (DAI), weitere Hinweise in Resafa Bd. 8.1, [8], zusammengestellt.



Abb. 5.15 Anaglyphenmodell einer Detailaufnahme (2007)

Hiermit wurde dargelegt, dass die terrestrische Stereophotogrammetrie sowohl zur Erzeugung als auch zur Ergänzung gescannter Objekte herangezogen werden kann, um ein 3D-Oberflächenmodell zu erzeugen. Ferner wird durch die digitalen Farbbilder eine fotorealistische 3D-Darstellung der mit einem Laser gescannten Objekte ermöglicht. Von den Modellen kann in *RiScan Pro* eine Animation erzeugt werden, die als AVI Datei exportiert mit einem Videoplayer visualisiert werden kann.

Insgesamt ermöglicht das im IANUS Datenportal des DAI (s.o.) zusammengestellte Bild- und Datenmaterial der Messkampagne 2007 in Kombination mit der bereits 2006 erzeugten Laser Punktwolke die Generierung eines vollständigen, georeferenzierten und fotorealistischen 3D-Modells der Basilika A von *Resafa*.

5.2 Weitere Erfahrungen bei der Zusammenführung von Punktwolken generiert durch Laserscanning und photogrammetrischen Stereo-Aufnahmen (Messkampagne 2010)

Bereits in den vorangegangenen Kapiteln wurden Möglichkeiten zur Verdichtung, Ergänzung und somit zur Qualitätssteigerung von 3D-Punktwolken, die durch terrestrisches Laserscanning erstellt wurden, mit photogrammetrischen Methoden vorgestellt. In der Messkampagne 2010 (s.a. Kapitel 4.3) sollten weitere Möglichkeiten zur Integration dieser beiden Messmethoden erprobt werden.

Tab. 5.3 Vor- und Nachteile von Laserscanning und Photogrammetrie

Laserscanning	Photogrammetrie
hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit	sehr hohe Genauigkeit und Auflösung
homogene Genauigkeit in x,y,z	entfernungsabhängige Genauigkeit
hoher Automatisierungsgrad	Automatisierung eingeschränkt
längere Aufnahmezeit	kurze Aufnahmezeit
keine bzw. eingeschränkte Farbqualität	sehr hohe Farbqualität (RGB + NIR)
niedriger Interpretationsgehalt	sehr hoher Interpretationsgehalt
nur für statische Objekte	auch für bewegte Objekte
unabhängig von der Objektbeleuchtung	hohe Beleuchtungsabhängigkeit
Ecken & Kanten nur indirekt ableitbar	Ecken & Kanten direkt ableitbar

Dafür werden zunächst die Vor- und Nachteile der photogrammetrischen Aufnahme gegenüber dem Laserscanning in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Dabei wird deutlich, dass die beiden Verfahren weitestgehend komplementäre Eigenschaften aufweisen und sich somit ideal ergänzen.

Für den Teilabschnitt der nördlichen inneren Stadtmauer zwischen den Türmen 12 und 13 (s. Abb. 5.16) wurden, ähnlich der Vorgehensweise im vorangegangenen Kapitel, mit der Software *metigo 3D* aus 7 Stereobildpaaren, aufgenommen mit der digitalen Kamera Rollei d7 metric⁵, zwei Punktwolken mit je ca. 2,1 Millionen Punkten erzeugt. Die Rechenzeit betrug für jedes Modell ca. 30 bis 100 Minuten auf einem handelsüblichen PC. Dieser gingen für Anlegen des Projektes, den Import der Bilddaten, sowie der absoluten Orientierung nochmal 30 – 40 Minuten voraus.



Abb. 5.16 Resafa – Stadtmauer östlicher Teil (2010)

Die so erzeugten photogrammetrischen Punktwolken wurden anschließend im *.RGB-Format aus *metigo 3D* exportiert und zur weiteren Visualisierung in *CYKLONE* importiert (s. Abb. 5.17). Für die Lagerung und Orientierung der Stereomodelle zueinander, in *metigo 3D* über Passpunkte und Verknüpfungspunkte, ist ein geodätisches Aufnahmenetz (s. Kap. 4.3.1) mit einer homogenen Genauigkeit (s. Anlage I.7) notwendig.



Abb. 5.17 Aus photogrammetrischen Punktwolken zusammengesetztes Segment der Nordmauer (Turm 12/13) (2010)

Anschließend kann die photogrammetrisch generierte Punktwolke dem Gesamtmodell der Nordmauer aus Laserscan-Daten überlagert werden (s. Abb. 5.18). Aufgetretene Differenzen zwischen den Punktwolken sind ein Maß für die Qualität dieser Zusammenführung. Sie betragen in diesem Beispiel zwischen 2 – 4 cm.



Abb. 5.18 Zusammenführung von photogrammetrischer (braun) und gescannter Punktwolke (grün)

Abschließend kann festgehalten werden, dass eine Verdichtung von Punktwolken, welche durch terrestrisches Laserscannen erzeugt wurden, mit Hilfe der Stereophotogrammetrie zu qualitativ besseren, vollständigeren Ergebnissen führt; insbesondere dann, wenn beim Scannen komplizierter Objekte unvermeidbare Lücken entstanden sind. Da man die gescannten Objekte oft auch texturieren möchte, sollten die dafür notwendigen Farbbilder so erstellt werden, dass Stereoauswertungen leicht möglich sind. Dafür benötigt man zwar mehr Bilder als zur einfachen Texturierung, aber der Mehraufwand dafür steht in keinem Verhältnis zum Gewinn an Vollständigkeit und Anschaulichkeit.

Hinweise und Erfahrungen bei der Verwendung von Stereoaufnahmen, wie auch weitere Ergebnisse können der Arbeit von KRAUSE U. PRIEBUS 2011 entnommen werden.

6. Zusammenfassung und abschließende Bewertung

Heister H., Liebl W., Stephani M.

Die vorliegende Zusammenstellung geodätischer und photogrammetrischer Arbeiten in *Resafa / Sergiupolis, Syrien* über die Zeitspanne 2000 – 2010 stellt eine Dokumentation über die angewandten Meß- und Auswertemethoden, erste Ergebnisse sowie über das archivierte Datenmaterial dar.

In dem angegebenen Zeitrahmen wurden die Messkampagnen im Wesentlichen durch die Mitarbeiter des Geodätischen Labors der Universität der Bundeswehr München durchgeführt, unterstützt von Diplomanden des Studiengangs Vermessungswesen. Die Zielsetzungen können wie nachfolgend zusammengefasst werden:

- Festlegung eines neuen Geodätischen Datums für die laufenden Vermessungsarbeiten und unterschiedlichen archäologischen Teilprojekte in *Resafa*;
- Anlage eines geodätischen Überwachungsnetzes zur Detektion von Deformationen im Bereich der *Basilika A* und des *Zentralbaus*;
- Durchführung von Wiederholungsmessungen;
- Georeferenzierte 3D-Bestandsdokumentation der Basilika A und ausgewählter Objekte mit Hilfe des terrestrischen Laserscannings (TLS);
- Vermessungstechnische Unterstützung und Beratung.

Die teilweise 2002 unter der Grabungsleitung von Thilo Ulbert, Deutsches Archäologisches Institut Berlin, durchgeführten Arbeiten an der Basilika A wurden ab 2006 unter der Grabungsleitung von Dorothee Sack, Technische Universität Berlin, kontinuierlich fortgesetzt und sind im Weiteren der Untersuchung der Stadtmauer mit den Methoden der Historischen Bauforschung sowie der Erstellung von Restaurierungs- und Sanierungskonzepten der Basilika A und des Zentralbaus zuzuordnen.

Das Resafa – Bezugssystem GKS02

Mit der Aufgabenstellung, für die Basilika A ein geodätisches Monitoring durchzuführen, erhob sich bereits 1999 die Frage nach einem geeigneten Koordinatensystem. Für die bis dahin durchgeführten geodätischen und photogrammetrischen Arbeiten waren individuelle, lokale

Koordinatensysteme bzw. das von Tremel 1977 angelegte geodätische Netz genutzt worden. Da wesentliche Punkte dieses Netzes bei der ersten Erkundungsreise 2002 nicht mehr auffindbar waren, war die Notwendigkeit nach neuen geodätischen Grundlagen, insbesondere eines neuen Referenzsystems, für alle beabsichtigten aber auch zukünftig durchzuführenden Arbeiten ab 2006 gegeben.

Zur messtechnischen Festlegung dieses neuen Referenzsystems konnte erstmalig in *Resafa* das GPS (Global Positioning System) eingesetzt werden, das eine 3D-Koordinatenbestimmung im globalen System WGS84 ermöglichte.

Darauf aufbauend wurde für die praktische Anwendung ein *lokales Gauß-Krüger-Koordinatensystem* aufgebaut, das eine ebene Behandlung aller geodätischen Messgrößen im Umfeld von *Resafa* ermöglicht. Ein weiterer praktischer Nutzen dieses neuen geodätischen Datums war die darauf basierende Einführung von differentiellem GPS (DGPS), wodurch eine einfache Koordinierung und leichte Auffindung von Objekten und Fundstellen im *Resafa GKS02* System ermöglicht wurde.

Deformationsmessungen an der Basilika A

Nachdem im Jahre 2002 die ersten Messungen, die „Nullmessung“, in Lage und Höhe stattfanden, wurde im Jahr 2006 trotz der relativ kurzen Zeitspanne die erste Wiederholungsmessung durchgeführt, die sich jedoch sinnvollerweise nur auf die Höhenkomponente bezog. Eine statistisch fundierte Deformationsanalyse auf Grundlage eines Vergleichs der beiden Epochen von 2002 und 2006 ergab signifikante Setzungen von ca. 2mm im Übergangsbereich von der Apsis zur südöstlichen Arkade. Neben dem Präzisionsnivellement wurde ebenfalls erstmals in *Resafa* die Technologie des präzisen terrestrischen Laserscannings (TLS) eingesetzt. Ein graphischer Vergleich der georeferenzierten Punktwolke des TLS zu den vektorisierten Seitenrissen von 1976/77 zeigte über diesen Zeitraum von ca. 30 Jahren deutliche Setzungsdifferenzen im Ostjoch der südlichen Arkade von ca. 1 dm, der in seiner Größenordnung der von 2006 bestimmten Setzung entspricht .

3D-Bestandsdokumentation ausgewählter Objekte

Bereits im Rahmen der Messkampagne im Jahr 2006 wurde das terrestrische Laserscanning zur vollständigen Bestandsdokumentation der *Basilika A* eingesetzt. Hierbei wurde das gesamte Datenmaterial in das *Resafa – Bezugssystem GKS02* transformiert, so dass ein vollständiges 3D-

Objektmodell der Basilika A in einem einheitlichen Koordinatensystem für alle weiteren Arbeiten, Analysen sowie für die Übernahme in andere Bearbeitungs-Software geschaffen wurde. Umfangreiche photogrammetrische Aufnahmen ermöglichen eine Ergänzung der 3D Erfassung mittels TLS durch zusätzliche Informationen über Farbgebung und Textur.

In den Jahren 2008 und 2010 wurden die Arbeiten zur präzisen 3D-Dokumentation mit Hilfe des TLS intensiv fortgesetzt. Somit entstanden zum einen vom *Zentralbau* und von großen Teilen der *Stadtmauer* umfassende und geometrisch genaue 3D-Datenmodelle. Zusätzlich konnte in der Messkampagne 2010 noch die große Zisterne gescannt werden, so dass erstmals eine korrekte Volumenberechnung möglich war.

Eine ausführliche Dokumentation aller geodätischen Arbeiten mit Bezug zu den archäologischen Aktivitäten ist auch in der Veröffentlichungsreihe von *Resafa* in dem Bd. *Resafa 8.1* zu finden.

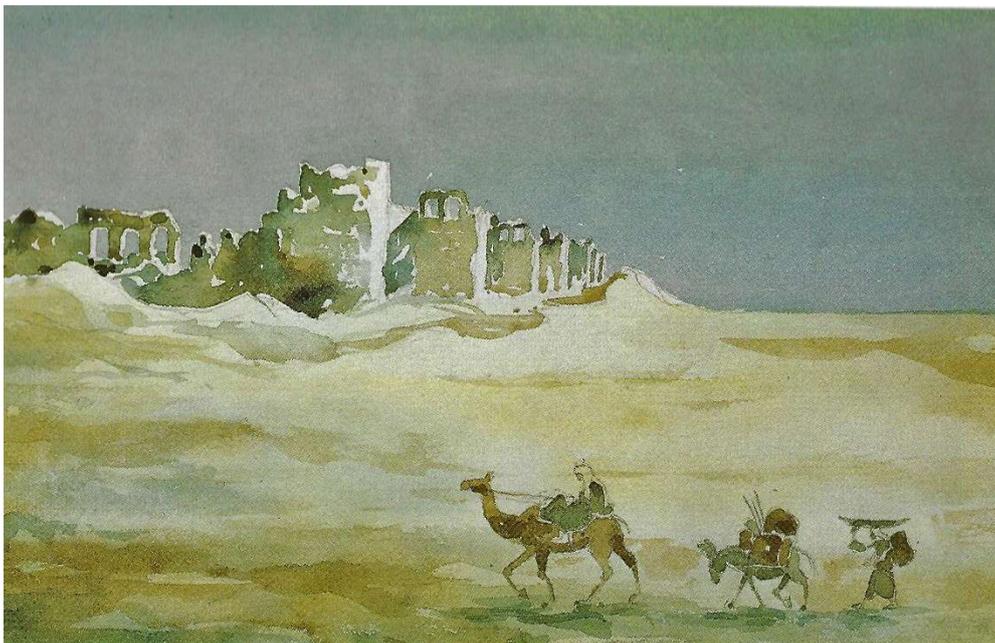


Abb. 6.1 Vollmondnacht außerhalb der Stadtmauer *Resafas*, Aquarell W. Karnapp

Leider mussten die Arbeiten und weitere Messkampagnen wegen der ab 2011 durch die ISIS stattfindenden Kämpfe im Gebiet um *Ar Raqqah* und *Resafa* eingestellt werden. Bedauerlicherweise konnten bis heute keine weiteren Reisen in dieses Gebiet stattfinden. Unter diesem Aspekt stellen die archivierten Laserscans zahlreicher Objekte der Ruinenstadt sowie

die umfangreichen photogrammetrischen, digitalen Aufnahmen eine einzigartige Quelle dar, um zum einen den damaligen Status der Ruinenstadt bildhaft und zugleich geometrisch genau zu dokumentieren, zum anderen aber auch bereits begonnene archäologische Forschungsarbeiten fortzuführen. Möge die Ansicht von W. Karnapp (s. Abb. 6.1) ein Sinnbild davon sein, dass die ursprünglichen Einwohner – das Beduinenvolk der nordsyrischen Wüstenregion - bald wieder um *Resafa* in Frieden leben können.

7. Nachweis der Abbildungen und Tabellen

7.1 Abbildungen

- Abb. 1.1** Karte von Syrien , S. 1 aus Internet Link [1] mit Änderungen, 2022
- Abb. 1.2** Ansicht von Resafa, Aquarell o .J., Walter Karnapp (in Privatbesitz), S. 3, D. SACK
- Abb. 1.3** Stadtplan von *Resafa*, Karnapp 1954/1963, S. 4, aus KARNAPP 1985
- Abb. 1.4** *Resafa* Basilika A, Innere Westwand (Digitalisierter Fassadenplan), S. 7 aus ULBERT 1986
- Abb. 2.1** Das durch GPS bestimmte Referenznetz, Messkampagne 2002, S. 12, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 2.2** Vermarkung des Exzentrums auf SYR 2 (links) und SYR 3 (rechts), Messkampagne 2002, S. 13, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 2.3** Ellipsoidische und kartesisch-geozentrische Koordinaten, S. 13, Heister
- Abb. 2.4** Präzisions-Nivellement der Referenzpunkte, Messkampagne 2002, S.16 aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 2.5** GPS- und nivellitische Höhen, S. 19, Heister
- Abb. 3.1** Basilika A, Resafa (Ansicht von NW), S. 20, Heister 2002
- Abb. 3.2** Schematisches Mikro-Netz in Bereich der Basilika A, S. 21, HEISTER 2000
- Abb. 3.3** Prinzip der Konvergenzmessungen, S. 22, HEISTER 2000
- Abb. 3.4** Teilnehmer der Messkampagne 2002 (v.l. Lindemann, Heister, Konrad, Stephani, Palmer, Schulz) S. 23 , Lindemann u. Schulz 2003
- Abb. 3.5** Vermarktungsmaterial für Polygon- und Objektpunkte der Basilika A, S. 26, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.6** Einmörteln der Objektpunkte in der Basilika A, S. 27, Heister 2002
- Abb. 3.7** Präzisions-Nivellement mit Leica NA 3003 mit 2m Code Invar-Latte, S. 27, Lindemann u. Schulz 2003
- Abb. 3.8** Höhen-Netzplan aller Objektpunkte der Basilika A, S. 28, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.9** Tachymeter Leica TCRA 1101 plus, Präzisionsprisma Leica GPH1P (oben) und 1,5'' Corner Cube mit Magnetadapter (unten), S. 29, Heister 2002
- Abb. 3.10** Netzplan der tachymetrischen Höhenbestimmung ausgewählter Objektpunkte, S. 31, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003

- Abb. 3.11** Netzplan der Tachymetermessungen im Mikronetz, S. 32, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.12** GPS-Messungen auf dem Punkt SYR 3 (im Hintergrund Resafa), S. 33, Heister 2002
- Abb. 3.13** Prinzip der Tachymeterscans mit gleichen Bogenelementen ds, S. 34, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.14** Messaufbau zum Scannen der kleinen Arkadenbögen (2002), S. 35, Lindemann u. Schulz 2002
- Abb. 3.15** Ablauf der Auswertung aller Messungen (Kontur grün: im Felde – blau: häuslich S. 36, Heister modifiz. aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.16** Tachymeter-Scan (rot) der beiden nordöstlichen kleinen Arkadenbögen (Nördliche Mittelschiffswand, östliche Doppelarkade, auf Grundlage von ULBERT 1986 Beilage 9 S. 38, aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003
- Abb. 3.17** Ergänzungsmessungen mit dem Präzisionstachymeter Leica TCRP1201 bei Basilika B, S. 42, Stephani 2006
- Abb. 3.18** Ergänzungsmessungen zur Koordinierung zerstörter Punkte, S. 42, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.19** Ergänzungsmessungen im süd-östlichen Teil der Basilika A (Bischofssitz), S. 42, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.20** Messungen mit dem Digital-Nivellier Leica DNA 03, S. 43, Sternberg 2006
- Abb. 3.21** Einsatz der Invar-Kurzlatte (60 cm lang), S. 43, Sternberg 2006
- Abb. 3.22** Nivellementsnetz des Bezugsrahmens und der Objektpunkte 2006, S. 44, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.23** Einsatz des terrestrischen Laserscanners Leica HDS 3000 im Hauptschiff der Basilika A (2006), S. 45, Sternberg 2006
- Abb. 3.24** Ablauf der Auswertung und Deformationsanalyse 2006, Kontour grün: im Felde – blau: häuslich -orange: Scanner, S. 47, Heister modifiz. aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.25** Extrahiertes, georeferenziertes Modell der Basilika A, Blick nach Süden (2006), S. 49, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.26** Überblick aller Höhenänderungen nach der Deformationsanalyse, S. 51, Heister modifiz. aus KOWOLL U. STERNBERG 2007

-
- Abb. 3.27** Restaurierungsarbeiten in der Basilika A in den Jahren 2004–2005, S. 52 Internet-Link [5] u. [6]
- Abb. 3.28** Signifikante Setzungen, Hebungen innerhalb der Basilika A (Ausschnitt), S. 53, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.29** Setzungen innerhalb der Basilika A im Zeitraum 2002 – 2006, S. 54, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.30** Überlappende Vertikalschnitte der Innenseite der südlichen Mittelschiffswand mit den in die Weitarkaden eingestellten Doppelarkaden, gewonnen aus TLS und vektorisierte Umzeichnung der Photogrammetrie von 1976 / 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9), S. 56, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.31** Differenzen an der westlichen Doppelarkade der nördlichen Mittelschiffswand. Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung der Photogrammetrie 1976/ 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9), S. 57, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.32** Setzungsdifferenzen der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand. Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung der Photogrammetrie 1976/ 1977 (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 9), S.57, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.33** Überlappung Punktwolke – Vektordaten (Grundriss, Bereich der östlichen Doppelarkade der südlichen Mittelschiffswand am Übergang zur Apsis). Überlagerung TLS-Punktwolke 2006 und vektorisierte Umzeichnung des Grundrisses (Grundlage ULBERT 1986, Beilage 1), S. 58, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 3.34** Parameter des modellierten Zylinders, S. 62, Heister, modifiz. aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 4.1** Terrestrischer Laserscanner Leica HDS 3000 mit spezieller Zielmarke und Wandadapter (2006), S. 67, Sternberg 2006
- Abb. 4.2** Scannerstandpunkte zur Erfassung der Basilika A, Messkampagne 2006, S. 68, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 4.3** Scanner Leica HDS 3000 mit Notebook und Generator Honda EX 350 (links), Konzept der unterbrechungsfreien Stromversorgung (rechts) (2006), S. 69, Sternberg 2006 bzw. Heister modifiz. aus KOWOLL U. STERNBERG 2007

- Abb. 4.4** Dreidimensionales, georeferenziertes Modell der Basilika A (bereinigt) (2006), S. 71, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 4.5** Lage der Vertikalschnitte in der Basilika A (2007), S. 72, Nichelmann 2007
- Abb. 4.6** Vertikalschnitte am nördlichen Seitenschiff der Basilika A (2007), Nichelmann 2007
- Abb. 4.7** Zentralbau, Innenraum (linkes Bild) und Ansicht von Süd-Osten (rechtes Bild) (2008), S. 75, Stephani 2008
- Abb. 4.8** Erweiterung des Lagenetzes der Stufe II (links) und des Präzisions-Höhennetzes (rechts) um den Zentralbau (Messkampagne 2008), S. 76, aus HEISTER, LIEBL, STEPHANI, STERNBERG 2008
- Abb. 4.9** Vermarkung der Objektpunkte am Zentralbau (2008), S. 77, Stephani 2008
- Abb. 4.10** Signalisierung temporärer Zielmarken (2008), S. 77, Stephani 2008
- Abb. 4.11** Einsatz des terrestrischen Laserscanners IMAGER 5006 von Z+F (2008), S. 81, Gussone 2008
- Abb. 4.12** Übersicht der Scanner-Standpunkte und Objektpunkte zur Verknüpfung der Scans (Messkampagne 2008), S. 82, aus HEISTER, LIEBL, STEPHANI, STERNBERG 2008
- Abb. 4.13** Verzerrte Grauwertdarstellung des Intensitätsbildes des Innenbereichs des Zentralbaus (Sicht von Westen) (2008), S. 83, aus HEISTER, LIEBL, STEPHANI, STERNBERG 2008
- Abb. 4.14** Ausschnitt der 3D Punktwolke des Innenbereichs des Zentralbaus (Sicht von Westen) (2008); S. 84, aus HEISTER, LIEBL, STEPHANI, STERNBERG 2008
- Abb. 4.15** Geplante Objekte, die durch terrestrisches Laserscanning in der Messkampagne 2010 erfasst werden sollten, S. 85, Heister modifiz. aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.16** Der durch TLS zu erfassende Bereich der Stadtmauer einschließlich des Osttores (2010), S. 86, Sternberg 2010
- Abb. 4.17** Der Wehrgang und beengte Aufnahmestandpunkte (2010), S. 87, Hof 2010
- Abb. 4.18** Schematisches Messkonzept zur geplanten Bestandsdokumentation der Stadtmauer von *Resafa* durch TLS (2009), S. 87, Heister 2009
- Abb. 4.19** Übersicht der Referenzpunkte zur Aufnahme der Stadtmauer und des Osttores durch TLS (Messkampagne 2010), S. 88, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.20** Paralleler Einsatz der zwei Laserscanner IMAGER 5006 von Z+F (2010), S. 90, Hof 2010
- Abb. 4.21** Kugelzielzeichen (Sphären) auf Stativ (links) und selbst gefertigte Eisenstative (Pyramiden, rechts) (2010), S. 91, Hof 2010

-
- Abb. 4.22** Positionierung der Eisenstative (Pyramiden) mit Kugelzielzeichen (Sphären) auf der Stadtmauer (2010), S. 91, Heister modifiz. von Hof 2010
- Abb. 4.23** Einsatz verschiedener temporärer Zielmarken, Sphären sowie auch die Z+F Auto-Targets (unten rechts) (2010), S. 92, Hof 2010
- Abb. 4.24** Übersicht der Scanner-Standpunkte (S, rot), Festpunkte (grün) und zusätzliche temporäre Zielzeichen (T, blau) bei der Aufnahme des Osttores, Messkampagne 2010, S. 93, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.25** Workflow beim Scannen der Stadtmauer Resafas (2010), S. 95, Heister modifiz. aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.26** 2D-Intensitätsbild eines Scanner-Standpunktes in Laser Control (am Osttor) (2010), S. 96, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.27** 3D-Ansicht eines Punktwolkenausschnittes des Osttores in Laser Control (2010), S. 96, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.28** Terrestrisches Laserscanning an Osttor und Stadtmauer, Messkampagne 2010, S. 97, Hof 2010, Krause u. Priebus 2010
- Abb. 4.29** Zusätzliche durch TLS erfasste Objekte in der Messkampagne 2010, S. 98, Heister modifiz. aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.30** TLS zu 3D-Aufnahme des Gewölbes im Turm T29 (2010), S. 99, Hof 2010
- Abb. 4.31** Schwierige Aufnahmestandpunkte zum Scannen des Turms T23. Links: Mit dem Scanner am Austritt der Treppe zum ersten Obergeschoß des Turmraumes. Rechts: Der Scanner steht vor der (heute halbhoch verschütteten) Zugangstür zum Erdgeschoßraum des Turmes (2010), S. 99, Hof 2010
- Abb. 4.32** Verknüpfungspunkte für das TLS vom Außen- zum Innenbereich der großen Zisterne (2010), S. 101, Hof 2010
- Abb. 4.33** Übersichtsplan der TLS-Aufnahme der großen Zisterne (die mit (o) gekennzeichneten Punkte befinden sich im Außenbereich, die mit (u) im Innenbereich), S. 102, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.34** Terrestrisches Laserscanning im Innenbereich der großen Zisterne (2010), S. 103, Hof 2010
- Abb. 4.35** 3D-Modell der großen Zisterne *Resafa*, ausgedruckt von der bereinigten Gesamtpunktwolke, S. 103, Heister 2024

- Abb. 4.36** Grundriss, Längs- und Querschnitt der großen Zisterne *in Resafa*, S. 105, Heister modifiz. aus GRAF U. PIMPI 2024
- Abb. 4.37** Volumenbestimmung der großen Zisterne *Resafa* in verschiedenen Schnittebenen, S. 106, Heister modifiz. aus GRAF U. PIMPI 2024
- Abb. 4.38** Ansicht der Basilika B (2002), S. 107, Schulz u. Lindemann 2002
- Abb. 4.39** Lageplan der Basilika B mit Festpunkten zur Georeferenzierung, S. 107, Heister modifiz. aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.40** Lageplan der Basilika C mit Festpunkten zur Georeferenzierung, S. 108, Heister modifiz. aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 4.41** Lage des Ringpolygons um die Stadtmauer von *Resafa*, S. 109, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.1** Photogrammetrische Dokumentation der Basilika A (2006), S. 112, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.2** Rollei SLX (2006), S. 113, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.3** Triangulierter Ausschnitt der *gescannten* Punktwolke der kleinen Apsis des Bischofssitzes (2006), S. 115, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.4** Texturierter Teilausschnitt der kleinen Apsis des Bischofssitzes (2006), S. 116, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.5** Anaglyphen Stereomodell (Bischofssitz 2006); s. 116, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007
- Abb. 5.6** Passpunkte als Zielzeichen (links) oder natürlicher Objektpunkt (rechts) (2007), S. 118, Nichelmann 2007
- Abb. 5.7** Photogrammetrische Aufnahme- und Passpunkte (2007), S. 119, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.8** Rollei d7 metric⁵ (2007), S. 119, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.9** Workflow zur Kombination / Fusion von Laserscan-Punktwolken und digitalen Bildern (2007), S. 121, Heister modifiz. aus LOPENS 2008
- Abb. 5.10** Punktwolke des Ostjochs (Südseite) (2007), S. 123, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.11** Oberflächenmodell des Ostjochs (Südseite) (2007), S. 123, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.12** Texturiertes 3D-Oberflächenmodell des Ostjochs (Südseite) mit unvollständigen, schwarzen Bereichen (2007), S. 124, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.13** 3D-Oberflächenmodell, links trianguliert, rechts durch Stereoaufnahmen texturiert (Ausschnitt aus dem Ostjoch) (2007), S. 125, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.14** Durch Stereoaufnahmen texturierter Ausschnitt aus dem Ostjoch (2007), S. 125, aus LOPENS 2008

- Abb. 5.15** Anaglyphenmodell einer Detailaufnahme (2007), S. 126, aus LOPENS 2008
- Abb. 5.16** Resafa – Stadtmauer östlicher Teil (2010), S. 128, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 5.17** Aus photogrammetrischen Punktwolken zusammengesetztes Segment der Nordmauer (Turm 12/13) (2010), S. 129, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 5.18** Zusammenführung von photogrammetrischer (braun) und gescannter Punktwolke (grün), S. 129, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011
- Abb. 6.1** Vollmondnacht außerhalb der Stadtmauer *Resafas*, Aquarell W. Karnapp, S. 132, aus KARNAPP W. 1985

7.2 Tabellen

Folgende Tabellen wurden aus LINDEMANN U. SCHULZ 2003 in modifizierter Form entnommen:

- Tab. 2.1** Koordinaten des Referenzpunktes SYR 2 Ex im WGS 84, S. 14
- Tab. 2.2** Parameter der Gauß-Krüger-Projektion, S. 14
- Tab. 2.3** Globale Gauß-Krüger-Koordinaten des Referenzpunktes SYR 2 Ex im GKS02, S. 15
- Tab. 2.4** Endgültige Koordinaten und Höhen der Referenzpunkte im *Resafa GKS02*, S. 16
- Tab. 2.5** Koordinaten-Transformationsparameter von *Resafa LKS77* nach *Resafa GKS02*, S. 17
- Tab. 2.6** Koordinaten der DGPS-Basisstationen im GKS02, S. 18
- Tab. 2.7** Transformationsparameter WGS 84 nach *Resafa GKS02* (Lokales DGPS), S. 18
- Tab. 3.1** Genauigkeit der Messungen (Standardabweichung *einer* Beobachtung) mit dem Leica TCRA 1101 plus, S. 30

Folgende Tabellen wurden aus KOWOLL U. STERNBERG 2007 in modifizierter Form entnommen:

- Tab. 3.2** Neue Punktnummerierung zerstörter und ersetzter Punkte, S. 41
- Tab. 3.3** Signifikante Punktbewegungen ≥ 1 mm, S. 51
- Tab. 3.4** Anfangswerte und Ausdehnung der Limitboxen der kleinen Arkadenbögen in CYCLONE, S. 62
- Tab. 3.5** Koordinaten (*Resafa GKS02*) und geometrische Parameter der modellierten Zylinder der kleinen Arkadenbögen der nördlichen und südlichen Mittelschiffswand der Basilika A, S. 63

- Tab. 4.1** Herstellerangaben für den terrestrischen Laserscanner Leica HDS 3000, S. 66
- Tab. 4.2** Endgültige Koordinaten und Höhen im Bezugssystem *Resafa GKS02* des erweiterten Präzisions-Lage- und Höhennetzes des Zentralbaus (Messkampagne 2008), S. 79
- Tab. 4.3** Spezifikationen des terrestrischen Laserscanners IMAGER 5006, S. 81

Folgende Tabellen wurden aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011 in modifizierter Form entnommen:

- Tab. 4.4** Statistische Zusammenstellung des TLS zur 3D-Aufnahme von Osttor und Stadtmauer, S. 94
- Tab. 4.5** Statistische Zusammenstellung des TLS zur 3D-Aufnahme der Türme 23, 29, 32, 36 und der großen Zisterne, S. 100
- Tab. 4.6** Volumenberechnungen der großen Zisterne von Resafa in verschiedenen Schnittebenen, S. 106, Heister modifiz. aus GRAF U. PIMPI 2024, S. 106
- Tab. 4.7** Lage- und Höhenkoordinaten des Ringpolygons im System *Resafa GKS02*, S. 110, Heister modifiz. aus KOWOLL U. STERNBERG 2007, S. 110
- Tab. 5.1** Spezifikation der Rollei SLX, S. 113, aus KOWOLL U. STERNBERG 2007, S. 114
- Tab. 5.2** Technische Daten der Rollei d7 metric⁵, S. 120, Heister modifiz. aus LOPENS 2008, S. 120
- Tab. 5.3** Vor- und Nachteile von Laserscanning und Photogrammetrie, S. 127, aus KRAUSE U. PRIEBUS 2011, S. 127

8. Literaturverzeichnis

- BACH TH., STEPHANI M., VOIGTS C. (2005): Ein Geoinformationssystem für Selinunt: Entwurf und Anwendung. In: Von Handaufmass bis High Tech II. Informationssysteme in der historischen Bauforschung. Philipp von Zabern, Mainz 2005.
- BECKER H., CHOUKER F., FASSBINDER J., SACK D., SCHWEITZER, C., STEPHANI M. (1999): Prospection of the Early Islamic Residence Rusafat Hisam (Syria) by Caesium Magnetometry and Resistivity Surveying 1997-1999. Third International Conference on Archeological Prospection, Munich, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, 1999.
- EINWAG B., OTTO A., BACH TH., FICHTINGER A., STEPHANI M. (2005): Visualisierung archäologischer Befunde mittels eines Geografischen Informationssystems am Projekt Tall Bazi. In: Von Handaufmass bis High Tech II. Informationssysteme in der historischen Bauforschung. Philipp von Zabern, Mainz 2005.
- GOGRÄFE R. (2016): Isriye-Seriana. Heiligtum, Siedlung und Militärstation in Zentralsyrien von der frühen römischen Kaiserzeit bis in die mamlukische Epoche. Damaszener Forschungen. Bd. 17., Philipp von Zabern, Darmstadt 2016.
- GRAF S., PIMPI J. (2024): Volumenbestimmung der großen Zisterne, Resafa (Syrien), Neubiberg 2024, unveröffentlichter Bericht.
- GRÜN A., MAUELSHAGEN L. (1978): Photogrammetrische Bauaufnahmen in der byzantinischen Wüstenstadt Resafa/Syrien. In: Proceedings V. International Symposium of Photogrammetry Applied to Architecture and Monument Preservation, Sibenik, Yugoslavia, 9.-12. October 1978, Sibenik 1978, S. 87-103.
- GUSSONE M., STEPHANI M., SACK D. (2007): Resafa and its Surroundings - Resafa-Sergiupolis Rusafat Hisham. The Employment and Evaluation of Diverse Methods, in: A. Posluschny, K. Lambers, Herzog I. (Hrsg.), Layers of Perception. Proceedings of the 35Th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archeology (CAA), Berlin, Germany April 2 – 6, 2007.
- GUSSONE M., HEISTER H., LIEBL W., OBERHOLLENZER I., SACK D., SHASH H. (2011): Resafa, Syrien, Zentralbau. Terrestrisches Laserscanning (TLS) als Grundlage für Bauforschung und Schadenskartierung. Objektive Dokumentation oder/und Analyse der Konstruktion", in:

- RHEIDT K., HEINE K., HENZE F. U. RIEDEL A. (Eds.), Von Handaufmass bis High Tech 3D in der Historischen Bauforschung, Mainz: Philipp von Zabern, 2011, S. 209–218
- HEINZELMANN M., BECKER H., EDER K., STEPHANI M. (1997): Vorbericht zu einer geophysikalischen Prospektionskampagne in Ostia Antica. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts 104, Römische Abteilung, 1997.
- HEISTER H. (2000): Proposal for Monitoring the Basilica A – Resafa Syria, Interner DAI Bericht, Berlin 2000.
- HEISTER H. (2002): Bericht über die Messkampagne „Resafa“, Syrien, 25. September – 12. Oktober 2002, Interner DAI-Bericht, Berlin 2002.
- HEISTER H., LIEBL W., STEPHANI M., STERNBERG A. (2008): Bericht über die Messkampagne „Resafa 2008“ - Terrestrisches Laserscanning (TLS) zur präzisen 3D-Bestandsdokumentation des Zentralbaus. Universität der Bundeswehr München, unveröffentlicht, Neubiberg 2008.
- HOF C. (2019): The monumental Late Antique cisterns of Resafa, Syria as refined capacity and water-quality regulation system. In: Federico Buccellati/ Sebastian Hageneuer/ Sylva van der Heyden/ Felix Levenson (Eds.), *Size Matters - Understanding Monumentality Across Ancient Civilizations*. Bielefeld: transcript Verlag
- HOF C. (2020): Die Stadtmauer. Resafa-Sergiupolis/Rusafat Hisham, Reihe Deutsches Archäologisches Institut – Resafa Band 9.1, Harrasowitz Verlag, Wiesbaden, 2020
- ILLISCH L. (1996): Die islamischen Fundmünzen. In: Dorothee Sack, *Die große Moschée von Resafa – Rusafat Hisham, Resafa IV*, Mainz, 1996, S. 111-132
- KADER I. (1996): Propylon und Bogentor. Untersuchungen zum Tetrapylon von Latakia und anderen frühkaiserzeitlichen Bogenmonumenten im Nahen Osten. Philipp von Zabern, Mainz 1996.
- KARNAPP W. (1976): Die Stadtmauer von Resafa in Syrien. *Denkmäler Antiker Architektur*, Band 11, 1976.
- KARNAPP W. (1978): Der Khan in der syrischen Ruinenstadt Resafa. *Archäologischer Anzeiger*, 1978.
- KARNAPP W. (1985): Walter Karnapp – Bauhistorische Arbeiten, Reisezeichnungen, Aquarelle, Ölbilder. Katalog zur Ausstellung von Arbeiten W. Karnapp's anlässlich seines achtzigsten Geburtstages, Fakultät für Architektur der Technischen Universität München, 1985.

-
- KOLLWITZ J. (1957): Die Grabungen in Resafa. Herbst 1954 und Herbst 1956. Archäologischer Anzeiger, 1957.
- KONRAD M. (1992): Flavische und spätantike Bebauung unter der Basilika B von Resafa-Sergiupolis. Damaszener Mitteilungen, Band 6, 1992.
- KONRAD M. (2001): Der spätrömische Limes in Syrien. Archäologische Untersuchungen an den Grenzkastellen von Sura, Tetrapyrgium, Cholle und in Resafa. Resafa VI, Philipp von Zabern, Mainz, 2001
- KONRAD M. (2008): Roman military fortifications along the eastern desert frontier: Settlement continuities and Change in North Syria, 4th - 8th Centuries A.D. In: BARTL K. U. ABD AL-RAZZAQ MOAZ Hrsg., Residences, Castles, Settlements. Transformation Process from Late Antiquity to Early Islam in Bilad al-Sham. Proceedings of the International Conference held at Damascus, 5.-9. Nov. 2006, Orient Archäologie 24, Rahden/ Westfalen 2008, S. 433-453.
- KONRAD M. (2020): Resafa in Nordsyrien: Die interdisziplinäre Erforschung eines antiken Pilgerzentrums von der Römerzeit bis in die islamische Epoche.in: W. Brassat (Hrsg.) Komplexität und Diversität des kulturellen Erbes. Forschungsbeiträge aus dem Institut für Archäologische Wissenschaften, Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte, Band 10, Universität Bamberg, 2020.
- KOWOLL D., STERNBERG A. (2007): Deformationsmessungen an der Basilika A in Resafa, Syrien mit Hilfe konventioneller Messmethoden und durch Einsatz von terrestrischem Laserscanning (TLS). Diplomarbeit Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 2007, unveröffentlicht.
- KRAUSE M. U. PRIEBUS CHR. (2011): Präzise Bestandsdokumentation in der historischen Stadtanlage Resafa mittels Laserscanning und digitaler Photogrammetrie. Diplomarbeit Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 2011, unveröffentlicht.
- LINDEMANN S. U. SCHULZ TH. (2003): Anlage eines Ingenieurnetzes für Überwachungsmessungen an der Basilika A in Resafa, Syrien. Diplomarbeit Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 2003, unveröffentlicht.
- LINK R. (2019): Analysis of Umayyad desert fortresses in the Near East by Declassified CORONA satellite images.
- LOPENS T. (2008): 3D-Modellierung und Visualisierung der Basilika A, Resafa-Syrien. Diplomarbeit Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 2008, unveröffentlicht.

- MACKENSEN M., BOESSNECK J., MUNZEL K., WILLERDING U, ULBERT TH. (1989): Eine befestigte spätantike Anlage vor den Stadtmauern von Resafa. Ausgrabungen und spätantike Kleinfunde eines Surveys im Umland von Resafa-Sergiupolis, *Gnomon* Bd. 61, Verlag C.H. Beck, S. 614 – 617.
- MACKENSEN M. (1984): Eine befestigte spätantike Anlage vor den Stadtmauern von Resafa. Ausgrabungen und spätantike Kleinfunde eines Surveys im Umland von Resafa-Sergiupolis, *Resafa I*, Verlag Philipp Zabern, Mainz 1984.
- NICHELMAN K. (2007): Übersicht über die Schnitte und die ermittelten Winkel. Interner Bericht Universität der Bundeswehr München, unveröffentlicht, Neubiberg 2007
- NOHLEN K. (1997): Gutachten „Zur Erhaltung der Basilika des Heiligen Kreuzes in Resafa / Syrien“. Archiv DAI Berlin, unveröffentlicht.
- NOHLEN K. (1999): Protokoll der Zusammenkunft am 14. Januar 1999 „Zur Erhaltung der Basilika des Heiligen Kreuzes (Basilika A) in Resafa“. Archiv DAI Berlin, unveröffentlicht.
- OTTO-DORN K. (1954): Bericht über die Grabung im islamischen Rusafa. *Archäologischer Anzeiger*, 1954.
- SACK D. (1989): Damaskus. Entwicklung und Struktur einer orientalisches-islamischen Stadt (Damaszener Forschungen). Philipp von Zabern, Mainz 1989.
- SACK D. (1996): Die große Moschée von Resafa – Rusafat Hisham, *Resafa IV*, Verlag Philipp Zabern, Mainz 1996.
- SACK D., BECKER H., STEPHANI M., CHOUKER F. (2004): Resafa-Umland, Archäologische Geländebegehungen, geophysikalische Untersuchungen und digitale Geländemodelle zur Prospektion in Resafa – Rusafat Hisham. Bericht über die Kampagnen 1997 – 2001. *Damaszener Mitteilungen* 14, 2004, S.-207-232.
- SCHUHMAN A (2014): Resafa-Sergiupolis, Syrien. Der Zentralbau. Die Sakrallandschaft und Liturgie der Pilgerstadt, in: *MSD JAHRBUCH 2012–14* (2014) S. 58
- STEPHANI M (1978): Der Beitrag der Photogrammetrie zur Archäometrie. In B. HROUDA (Hrsg.) *Methoden der Archäologie. Eine Einführung in ihre naturwissenschaftlichen Techniken.* Beck'sche Elementarbücher, 1978
- ULBERT TH. (1986): Die Basilika des Heiligen Kreuzes in Resafa Sergiupolis, *Resafa II*, Verlag Philipp Zabern, Mainz 1986.
- ULBERT TH. (1993): Ein umayyadischer Pavillon in Resafa-Rusafat Hisham. *Damaszener Mitteilungen* 7, 1993.

-
- ULBERT TH. KONRAD M. (2016): Al-Mundir-Bau und Nekropole vor dem Nordtor. Basilika C. Forschungen in Resafa-Sergiupollis. Resafa VII, Verlag Philipp Zabern, Mainz 2016.
- WELSCH W., HEUNECKE O., KUHLMANN H. (2000): Handbuch Ingenieurgeodäsie – Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. Herbert Wichmann, Heidelberg 2000.
- WESTPHALEN ST. (2000): Resafa. Bericht über die Ausgrabungen 1997 bis 1999. Damaszener Mitteilungen 12, 2000, S. 325-365.

INTERNET-LINKS:

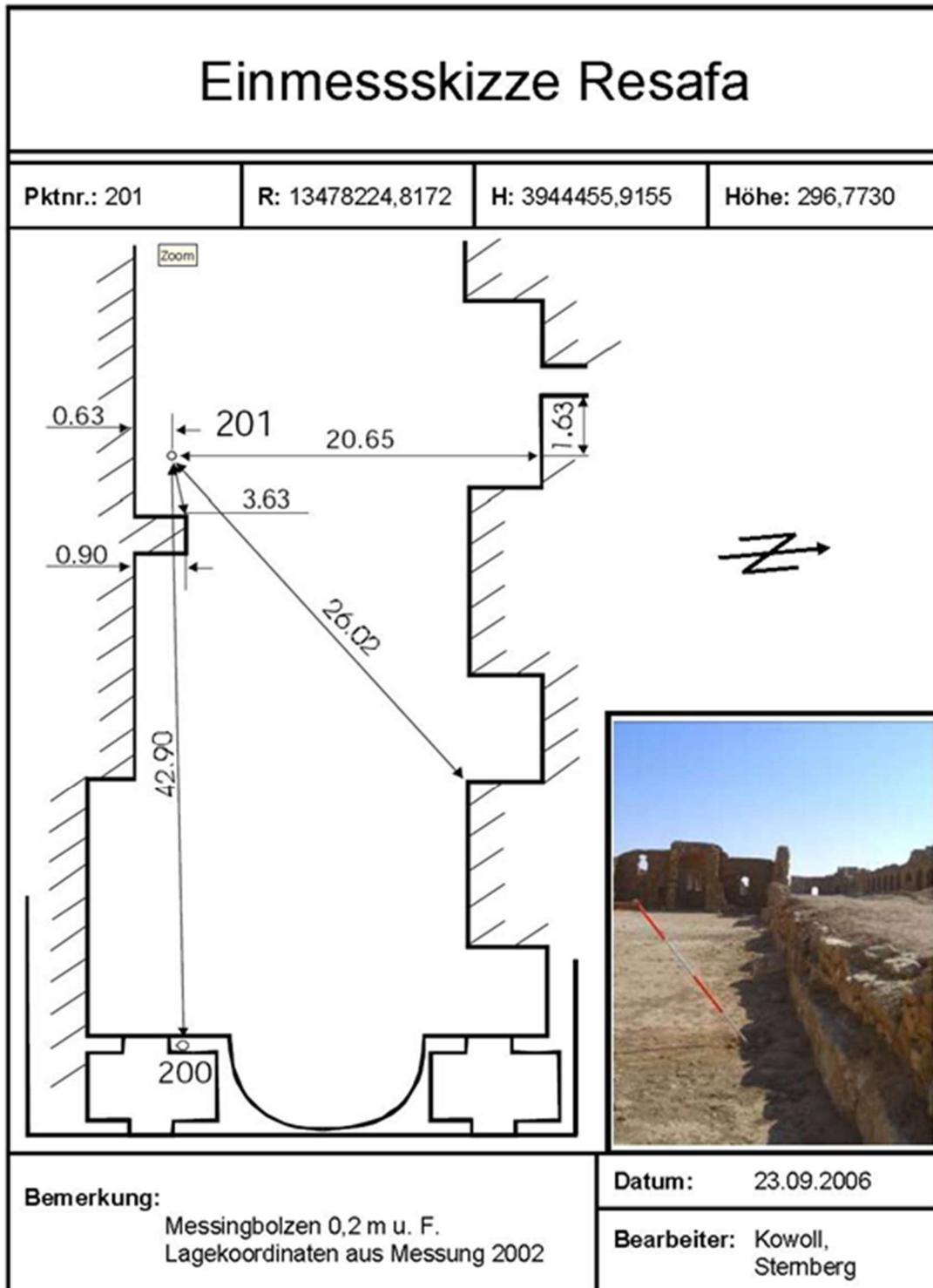
- [1] <https://www.landkartenindex.de/weltatlas/?cat=300>, Politische Landkarte von Syrien (2011, Deutsch), CIA World Factbook (USA), Stand: Dezember 2022
- [2] <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/geoid-height-calculator/geoid-height-calculator.html>
- [3] metigo Stereo <http://www.fokus-gmbh-leipzig.de/download/PI-PAN-10.pdf>, Stand: Januar 2007
- [4] metigo PAN <http://www.fokus-gmbh-leipzig.de/download/PI-PAN-10.pdf>, Stand: Januar 2007
- [5] RiScan Pro <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/> Stand: Februar 2022
- [6] http://www.dainst.org/index_6578_de.html, Stand: Dezember 2006
- [7] <http://www.dainst.org/de/project/e-restaurierungenresafa>
- [8] <https://publications.dainst.org/books/dai/catalog/series/Resafa>
- [9] <http://datenportal.ianus-fdz.de/>

9. Anhang I

Seite

Tabellen und ergänzende Angaben

Abbildung I.1	Einmessskizze mit Punktdokumentation	150
Beitrag I.1	Stephani M.: Photogrammetrie für Resafa/Syrien, ein historischer Rückblick	151
Tabelle I.1	Koordinaten des Tremelnetzes im <i>Resafa LKS77</i>	158
Tabelle I.2	Koordinaten B, L, h des Referenznetzes im WGS 84 (2002)	159
Tabelle I.3	Koordinaten der durch Tremel genutzten Punkte im <i>GKS02</i>	160
Tabelle I.4	Punkthöhen des Präzisions-Nivellements (2002)	162
Tabelle I.5	Endgültige Koordinaten des terrestrischen Netzes (2002)	165
Tabelle I.6	Endgültige Koordinaten im <i>Resafa GKS02</i> des terrestrischen Netzes (2006) (nivellierte Höhen)	168
Tabelle I.7	Endgültige Punkthöhen des Überwachungsnetzes (2006)	171
Tabelle I.8	Endgültige Koordinaten zur Georeferenzierung der 3D-Dokumentation von Osttor und Stadtmauer (2010)	172

Abbildung . I.1 Einmesssskizze mit Punktdokumentation (beispielhaft)

Beitrag I.1**Photogrammetrie für Resafa/Syrien, ein historischer Rückblick**

M. Stephani, München

Photogrammetrie oder Bildmessung hat eine bemerkenswerte Tradition in Europa und besonders auch in Deutschland. Bereits im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts schuf der Bauingenieur A. Meydenbauer die geometrischen Grundlagen der Architekturphotogrammetrie in einer Abhandlung für die Preußische Akademie der Wissenschaften. Darüber hinaus entwickelte er erste Aufnahmekammern, welche mit photographisch beschichteten Glasplatten arbeiteten und gründete mit der „Preußischen Messbild-Anstalt“ eine Institution, die sich die umfassenden Dokumentationen wichtiger Bauwerke Deutschlands zur Aufgabe machte.

Die Entwicklung der Luftfahrt begann mit den ersten Heißluftballon-Fahrten, ebenfalls im 19. Jahrhundert. Damit konnte die Erde aus einer ganz neuen Blickrichtung betrachtet werden. Die damals schon entwickelte Fotografie erlaubte es, Bilder aus einem Heißluftballon zu erstellen. S. Finsterwalder, Mathematiker, Geodät und Hochschulprofessor (1891 bis 1931) an der Technischen Universität München, gelang bereits 1903 die Auswertung solcher Stereoaufnahmen aus einem Ballon auf Grund mathematischer Überlegungen. Die von ihm erstellte „Karte des Vernagtferners 1889“ in den Ötztaler Alpen verwendete dagegen ausschließlich terrestrische Aufnahmen zur Bestimmung zahlloser dreidimensional berechneter Oberflächenpunkte des Gletschers, woraus - in der Folge - Schichtlinien abgeleitet und eine maßstäbliche Karte (1889) erstellt wurde. Die dafür verwendete Kamera wurde später in größerer Stückzahl von der Fa. „Zeiss Aerotopograph GmbH“, München, unter der Bezeichnung TAF (Terrestrische Ausrüstung Finsterwalder) gebaut und vertrieben. Es handelte sich dabei um eine sog. Messkammer im Format 13 cm x 18 cm, die auf photographisch sensibilisierte Glasplatten abbildete. Das verwendete Objektiv, mit einer Brennweite von 150 mm, war vertikal verschiebbar, ein erheblicher Vorteil gegenüber Apparaten mit feststehenden Objektiven. Zur Bestimmung der sog. Inneren Orientierung besaß die TAF Rahmenmarken, welche die Hauptvertikale im Bildsystem festlegte. Ein sog. Höhenzeiger erlaubte die Rekonstruktion des Bildhauptpunktes. Die frühen Auswertungen terrestrischer Aufnahmen wurden weitgehend graphisch realisiert.

Die TAF wurde, neben anderen Aufnahmegegeräten, sehr erfolgreich von A. Grün (Grün et. al., (1978)) ab 1976 in zwei Kampagnen in Resafa verwendet. Die orthochromatisch schwarz-weiß beschichteten Glasplatten der TAF konnte er unter Rotlicht vor Ort in einem primitiv eingerichteten Labor - einem Schafstall - entwickeln, während er die panchromatischen Platten und Filme der zweiten Kamera, einer WILD P32, bei völliger Dunkelheit behandeln musste. Die Kontrolle des ausschließlich s/w Bildmaterials vor Ort garantierte ihre graphische Stereoauswertung zu vollständigen Fassadenplänen der Basilika A. Die Auswertungen erfolgten am Lehrstuhl für Photogrammetrie der TU München zunächst in Bleistift, vornehmlich an Analoggeräten, z.T. auch an einem Analytischen Plotter. Sie wurden systematisch zusammengefasst, in Tusche überzeichnet und von T. Ulbert in Resafa II, 1986 publiziert.

Die ersten Aktivitäten nach der Übernahme der archäologischen Forschungen in Resafa durch D. Sack konzentrierten sich zunächst auf die bereits von Mackensen/Tremel 1976 identifizierten und vermessungstechnisch lokalisierten sog. „Fundstellen“ (Abkürzung FP __ __) „extra muros“. Bei einem eher zufälligen Treffen in den Institutsräumen des DAI in Damaskus zu Beginn der letzten Dekade des vorigen Jahrhunderts erläuterte M. Stephani, der damals in einem anderen Projekt in Syrien beschäftigt war, D. Sack, welche zentrale Rolle sog. Digitale Geländemodelle (Ebner et al., 1988) bei der systematischen räumlichen Erfassung auch von Mikrostrukturen des Geländes spielen. Gleichzeitig war es zu dieser Zeit gerade möglich geworden, mittels geophysikalischer Messungen, etwa Archäomagnetik, kleinste Änderungen des Magnetfeldes der Erde, die auf im Boden vorhandene Störungselemente zurückgeführt werden können, in kurzer Zeit und größerem Umfang zu realisieren (Heinzelmann et al., 1997). Nichts war daher naheliegender als die beiden Methoden miteinander zu verbinden, zumal ein erster Test der geomagnetischen Methode am Fundplatz 143 ein vielversprechendes Ergebnis zeitigte.

Für die Geomagnetik wurden lokal jeweils 40 m x 40 m Quadranten im Gelände so abgesteckt, dass die beabsichtigte Messrichtung der geomagnetischen Profile schräg zu den vermuteten Mauerzügen verlief. Die Anzahl und Anordnung der Quadranten wurde so gewählt, dass sich damit eine lückenlose Überdeckung des vermuteten Baukomplexes (Fundplatzes) ergab.

Nach den geophysikalischen Messungen eines Fundplatzes wurde mittels elektronischer Tachymetrie die gleiche Fläche nach folgenden Gesichtspunkten erfasst: Zunächst wurden sichtbare Geländekanten sowie Berg- und Tallinien als Punktfolgen (Polylinien) registriert, gefolgt von der Einmessung von ausgezeichneten (höchsten und tiefsten) Geländepunkten.

Schließlich war es zum Zwecke einer sicheren und korrekten Interpolation der Messpunkte noch notwendig, beliebig verteilte Punkte einzumessen. Die Dichte dieser Punkte richtete sich im Gelände nach dem Grad der Krümmung der Oberfläche, im flachen Gelände genügten einige wenige Punkte, bei steileren Bereichen wurde die Punktmenge entsprechend erhöht. Diese aufwendige Vorgehensweise stellte sicher, die nur wenige Dezimeter hohen, gerade noch sichtbaren Höhenunterschiede innerhalb der Fundplätze genau modellieren zu können. Aus den qualifizierten Punktfolgen und den beliebig verteilten Punkten eines Fundplatzes wurden dann ein hochpräzises lokales Geländemodell, zunächst mit der Software HIFI-88 (Ebner et al., 1988), später mit der Software SURFER 8 (der Fa. Golden Software) erstellt (Sack et. al., 2004). Die Digitalen Geländemodelle wurden zur Überlagerung mit den geophysikalischen Messungen und zur Erzeugung eines lokalen, auf den jeweiligen Fundplatz bezogenen, Orthophotos verwendet. Auf der Basis der lokalen Digitalen Geländemodelle konnten weitere Visualisierungen, z.B. in Form von Schichtlinienplänen und besonders von künstlich schräg beleuchteten Oberflächenmodellen berechnet werden, die zur Anschaulichkeit der jeweiligen Fundsituation beitragen konnten. Auf diese Weise wurden die Fundplätze FP143, FP145, FP152, FP153, FP154, FP136, FP150, FP218, FP219 und FP220 u.a. erfasst (vgl. Becker et. al. (1999), Sack et. al (2004), Gussone et. al. (2007)).

Die Erstellung hochpräziser digitaler Geländemodelle der Fundstellen im Süden Resafas war der Auslöser nach einer Möglichkeit für eine Befliegung Ausschau zu halten. Die ausgewählten Fundplätze sollten aus möglichst niedriger Höhe befliegen werden, um so die Voraussetzung zur Erstellung von *großmaßstäbigen digitalen lokalen Orthophotos* als zusätzliche Dokumentation der nahezu verschwundenen Lehmbauten zu gewährleisten. Nachdem dieses Anliegen mehrfach mit dem Vertreter der Antikendirektion in Raqqa erörtert wurde, ergab sich eine nicht mehr erwartete Chance das Vorhaben am Ende der Kurzkampagne 1999 zu realisieren.

Am Sonntag, dem 14.03.1999, fuhren am frühen Morgen D. Sack, M. Stephani und der Geophysiker C. Schweitzer zusammen mit dem lokalen Direktor des Antikendienstes von Resafa über Raqqa nach Deir er-Zor. Auf der dortigen militärischen Flugbasis stellten wir unsere ‚Flugplanung‘ den Piloten vor und bestiegen danach mit mehreren örtlichen Vertretern einen Hubschrauber russischer Provenienz, der uns in einem Direktflug nach Resafa brachte. Da die Sonne mittlerweile vor ihrem täglichen Zenit stand, überflogen wir das Gelände zunächst in relativ großer Höhe und erstellten mit der mitgebrachten Kamera (Rollei SLX mit Weitwinkeloptik $f=52\text{ mm}$) ca. 60 Farbbilder der Stadt und des südlichen Umlands aus einer geschätzten Flughöhe

von 400 m. Photographiert wurde von M. Stephani mit der Rollei SLX Farbdiapositive aus einer Öffnung, die durch das Aushängen der linken Seitentüre des Helikopters, entstanden war. Mit dem schweren und daher nur zu langsamen Manövern fähigen Militär-Hubschrauber waren nur Schrägaufnahmen der Fundplätze möglich. Nach dem „Hochflug“ über das antike Resafa wurde eine Flugpause auf dem Flugplatz at-Taura, in der Nähe des Assad-Staudammes, genutzt um ein gemeinsames Mittagmahl einzunehmen. Die dahinterstehende Absicht war allerdings, einen „Tiefflug“ später am Tag, bei einem möglichst niedrigen Sonnenstand zu absolvieren, da dann in Schrägbeleuchtung die geringen Unebenheiten des Geländes der Fundplätze durch Schatten optimal modelliert werden. Dies gelang auch weitgehend, wobei die Piloten, B. Mansur und Z. Mresh, die einzelnen Fundplätze wieder und wieder anflogen. Bei diesem Vorgehen entstanden im Wesentlichen Einzelaufnahmen der Fundplätze aus unterschiedlichen Blickrichtungen. Die beiden Piloten steuerten den Hubschrauber mit einer gerade noch vertretbaren geringen Geschwindigkeit über Grund und achteten dabei auch auf Hindernisse (Stromleitungen). Da der schwere Hubschrauber bei langsamen Geschwindigkeiten nur bedingt manövrierfähig war, mussten größere Schleifen außerhalb der Fundplätze für die notwendigen Richtungsumkehrungen in Kauf genommen werden. So entstanden weitere ca. 150 Rollei SLX Farbdiapositive im Format 6 cm x 6 cm. Schließlich beendeten die beiden Piloten den Flug, mit dem Hinweis, dass noch der Rückflug nach Deir er-Zor absolviert werden müsse. Dort angekommen, bedankten wir uns für die großzügige Unterstützung bei den Zuständigen und traten die mehrstündige Rückfahrt über Raqqa nach Resafa an, das wir am späten Abend erreichten.

Zunächst wurden ausgewählte Bilder der Fundstellen mit Hilfe eines Luftbildscanners des Bayerischen Landesvermessungsamtes mit einer Pixelgröße von 14 Micron digitalisiert. Dies ergab für jedes 6 cm x 6 cm Farbdia eine Dateigröße von ca. 94 MB im TIF-Format. Mit der bekannten inneren Orientierung der Kamera, der aus Passpunkten berechneten äußeren Orientierung (Koordinaten des Aufnahmeortes und Lage der Bildebene im Raum) und dem digitalen Geländemodell des jeweiligen Fundplatzes konnten lokale digitale Orthophotos berechnet werden. Diese zeigen eine Grundrissprojektion der Fundstelle als digitales Farbdia mit hoher Auflösung in einem vorher festgelegten runden Maßstab. Die Orthophotos können mit anderen Daten, z. B. der Magnetik und/oder mit den engen Schichtlinien überlagert werden.

Nur wenige Jahre später entstand das präzise und grundlegende Koordinatensystem „Resafa GKS02“ (vgl. T. Schulz/S. Lindemann, 2002) für Deformationsmessungen an der Basilika A, welches nicht nur die Integration der zunächst noch lokal vorgehaltenen Digitalen Geländemodelle ermöglichte, sondern auch für alle nachfolgenden Forschungsarbeiten in und um Resafa eine immense Bedeutung besitzt.

Eine damals neue wegweisende Technik, das Terrestrische Laser-Scanning (TLS) (vergl. Kap. 4 und Kap. 5) gestattete es zum ersten Mal die Basilika A als *dreidimensionalen* Baukörper zu erfassen und begleitend, mittels photogrammetrischen Bildmaterials, zu visualisieren, wenn auch diese Vorgehensweise nur beispielhaft realisiert wurde. Die Möglichkeit mit lokalen Stereobildpaaren einer Teilmesskammer (Rollei SLX) die vom TLS nicht erfassten Bereiche zu ergänzen wurde ebenfalls getestet. Schließlich erwies sich die Kombination von TLS mit digitaler Photogrammetrie als besonders geeignet zur Erfassung weiterer Bauwerke Resafas.

Betrachtet man den Einsatz der Photogrammetrie über Jahre in Resafa, fällt auf, dass er mit einer weitgehend analogen Arbeit (Grün, et. al. (1978)) begann, um nach einer längeren Unterbrechung mit digitalen Anwendungen fortgesetzt zu werden (Sack, et. al. (2004), Gussone, et. al. (2007)). Dazwischen aber vollzog sich der Übergang von der Analogen - zur Analytischen Photogrammetrie, letztere gekennzeichnet, einerseits durch die Bereitstellung von mathematischen Grundlagen, andererseits durch spezielle Auswertegeräte, sog. Analytische Plotter. Ein Analytischer Plotter, z.B. der von C. ZEISS entwickelte PLANICOMP C100 verwendet zur Stereoauswertung analoge Bildpaare die binokular betrachtet werden. Eine Software des dazu gehörigen Minicomputers oder PCs übernimmt dabei die Steuerung der beiden Bildwagen und alle anfallenden Berechnungen auf der Basis von mathematischen Modellen, z.B. für die relative und absolute Orientierung des Bildpaares, für den angeschlossenen Zeichentisch, wie auch zur Speicherung von erfassten codierten 3D-Koordinaten. Am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU München stand ein Analytischer Plotter zur Verfügung, der im Rahmen der Projekte des Verfassers oft mit Diplomanden in Syrien zum Einsatz kam.

Herausragend waren die Arbeiten am Tetracylon in Latakia (Kader, 1996) und die Erfassung der aufrechten Mauern des Tempels in Isriye (Gografe, 2016). Bei beiden Projekten wurde ein lokales 3D-Koordinaten Netz angelegt, das als Basis zur Erfassung der jeweiligen Baukörper diente. Steingerecht kartiert wurden die äußeren und inneren Fassaden des Tetracylons und

des Tempels. Darüber hinaus konnten die Arbeiten der Archäologen in Tall Bazi/Syrien unterstützt werden durch die topographische Erfassung des Burgbergs und seine Visualisierung als digitales Geländemodell. Hier ergab sich, - erstmals in Syrien - die Chance über einem heterogenen Datenbestand ein sog, Geographisches Informationssystem (GIS) aufzubauen (Einwag, et. al. 2005). Die Kombination von archäomagnetischen Messungen und terrestrischer Radarprospektionen auf der Basis von digitalen Geländemodellen wurde - ebenfalls zum ersten Mal in Syrien - am Euphrat in Qreiye /Ayyas und Tall ar-Rum (Gschwind et. al. 2006) erprobt.

Mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) lassen sich umfangreiche und heterogene Datenbestände visualisieren und miteinander kombinieren. Die guten Erfahrungen des Verfassers (Bach, et. al. 2005, Einwag et. al. 2005) mit diesem systemübergreifenden Werkzeug lassen es sinnvoll erscheinen zukünftig ein GIS für Resafa zu etablieren.

Literatur:

Bach Th., Stephani M., Voigts C.: 2005

Ein Geoinformationssystem für Selinunt: Entwurf und Anwendung. In: Von Handaufmass bis High Tech II. Informationssysteme in der historischen Bauforschung. Philipp von Zabern, Mainz, 2005

Becker H., Chouker F., Fassbinder J., Sack D., Schweitzer C., Stephani M.: 1999

Prospection of the Early Islamic Residence Rusafat Hisam (Syria) by Caesium Magnetometry and Resistivity Surveying 1997-1999. Third International Conference on Archeological Prospection, Munich, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, 1999.

Ebner H., Hößler R.: 1988

Generation, Management and Utilization of High Fidelity Digital Terrain Models. International Archives of Photogrammetry, Kyoto, Japan, 1988

Einwag B., Otto A., Bach Th., Fichtinger A., Stephani M.: 2005

Visualisierung archäologischer Befunde mittels eines Geografischen Informationssystems am Projekt Tall Bazi. In: Von Handaufmass bis High Tech II. Informationssysteme in der historischen Bauforschung. Philipp von Zabern, Mainz, 2005

Gogräfe R.: 2016

Isriye-Seriana. Heiligtum, Siedlung und Militärstation in Zentralsyrien von der frühen römischen Kaiserzeit bis in die mamlukische Epoche. Damaszener Forschungen. Bd. 17. 2016, Philipp von Zabern, Darmstadt.

Grün A., Mauelshagen L.: 1978

Photogrammetrische Bauaufnahmen in der byzantinischen Wüstenstadt Resafa/Syrien. The V. International Symposium for Photogrammetry in Architecture and Conservation of Monuments and Sites. Sibenik, 1978.

Gschwind M., Haytham H.: 2006

Die spätrömisch-frühislamische Zivilsiedlung Tall ar-Rum und die spätantike Besiedlung des Euphrattales zwischen Zenobia und Circensium. Damaszener Mitteilungen, Band 15.

Gussone M., Stephani M., Sack D.: 2007

Resafa and its Surroundings - Resafa-Sergiupolis Rusafat Hisham. The Employment and Evaluation of Diverse Methods, in: A. Posluschny – K. Lambers – I. Herzog (Hrsg.), Layers of Perception. Proceedings of the 35Th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archeology (CAA), Berlin, Germany April 2 – 6.

Heinzelmann M., Becker H., Eder K., Stephani M.: 1997

Vorbericht zu einer geophysikalischen Prospektionskampagne in Ostia Antica. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts 104, Römische Abteilung, 1997.

Kader I.: 1996

Propylon und Bogentor. Untersuchungen zum Tetrapylon von Latakia und anderen frühkaiserzeitlichen Bogenmonumenten im Nahen Osten. Philipp von Zabern, Mainz.

Sack D., Becker H., Stephani M., Chouker F.: 2004

Resafa-Umland, Archäologische Geländebegehungen, geophysikalische Untersuchungen und Digitale Geländemodelle zur Prospektion in Resafa-Rusafat Hisam (Syria). Damaszener Mitteilungen, Band 14.

Tabelle. I.1 Koordinaten des Tremelnetzes im *Resafa LKS77*

Tremel Punkte	Rechts Y [m]	Hoch X [m]	RiWi SYR2 zu [m]	Strecke SYR2 zu [m]	Vermarkung	RiWi SYR3 zu [gon]	Strecke SYR3 zu [m]
P1	523,0777	963,3621	250,49198	848,060		356,51898	1434,785
P2	530,5829	1378,6065	281,37306	623,269		366,17767	1772,508
P3	308,5801	1084,0364	266,57240	946,259		353,07011	1666,208
P4	327,4561	1267,6799	277,80894	851,091		357,94933	1794,753
P5	404,0463	1466,3625	291,94455	729,146		364,02673	1913,367
P6	236,1586	834,0267	256,55168	1148,447		343,90892	1545,767
P7	388,1593	1674,4757	309,91754	748,265		366,99946	2099,926
P8	626,921	1563,9176	300,70458	500,472		372,14096	1891,760
P9	764,6715	1517,1941	292,80184	365,022		375,86776	1794,138
P10	834,2234	1684,965	325,95125	319,304		380,05341	1928,427
P11	919,5494	1476,0245	275,98012	223,537		380,68025	1703,442
P12	1024,9251	1668,2843	352,23804	150,242		386,08888	1862,143
P12a	1250,4587	1829,6902	27,11571	297,930		394,28555	1987,268
SYR 2	1127,3627	1558,3787			Stein	388,88600	1734,318
P13	1153,3185	1385,1956	190,52916	175,117		388,70148	1559,265
P14	1434,4377	1667,4729	78,26828	325,878		0,20448	1817,060
P15	1254,0713	1288,8205	172,02627	297,853		392,31306	1448,948
P16	1066,6241	1335,3172	216,92453	231,183		384,77782	1528,378
P17	2008,8141	1258,9368	120,84819	930,925		24,87595	1523,338
P18	2088,6489	2122,4587	66,21746	1114,566		17,99897	2365,969
P19	1193,2199	901,8519	193,63526	659,822		385,97929	1077,454
P20	1756,1661	849,9722	153,78528	947,224		20,16068	1051,855
P21	843,7807	549,6586	217,44699	1047,824		355,65764	911,562
P22	752,0884	266,4946	217,99760	1345,286		335,10282	794,220
P23	1127,4164	506,9503	199,99675	1051,428		372,61834	722,316
P24	1390,2505	557,1455	183,65363	1035,170		396,54872	707,763
P25	1687,0153	306,1209	173,24380	1371,627		32,84042	523,869
P26	1390,9405	228,2027	187,54654	1356,039		393,67445	379,653
P27	1011,7391	-143,8768	204,31753	1706,178		300,87052	416,901
SYR3	1428,6013	-149,5774	188,88600	1734,318	Stein		
P28	1845,7314	-235,6561	175,75313	1932,515		112,95539	425,919
P29	1317,5269	-625,8621	194,47141	2192,503		214,58592	489,065
P30	1044,5629	-670,3825	202,36399	2230,299		240,44981	647,088
P31	1211,9850	-971,3083	197,87119	2531,102		216,40864	849,803
FP 102							
602	1320,599	876,504	182,41979	708,727	Pflock	393,32371	1031,750
603	1354,312	898,035	178,92555	698,255	Pflock	395,49308	1050,243
604	1265,163	888,481	187,08466	683,924	Pflock	390,05828	1050,846
605	1299,041	910,209	183,51659	670,520	Pflock	392,25567	1067,676
6010	1274,733	799,737	187,78544	772,823	Pflock	389,77040	961,703
6011	1409,583	885,860	174,70533	729,335	Pflock	398,83083	1035,612
Stadtmauer							
800	1090,480	996,926	204,17605	562,663	Eisenrohr/Nagel	381,74268	1195,323
801	1090,735	1180,888	206,15781	379,264	Eisenrohr/Nagel	384,16796	1372,695
802	1083,529	1355,805	213,56628	207,262	Eisenrohr/Nagel	385,65487	1544,426

Tabelle I.2 Koordinaten B, L, h des Referenznetzes im WGS 84 (2002)

Standpunkt	Koordinaten		Messunsicherheit u
1000	Breite	35° 37' 39.461 66'' N	0.0036 m
	Länge	38 45 39.472 30 O	0.0023 m
	Höhe	321.681 7 m	0.0065 m
2000	Breite	35° 37' 42.665 90'' N	0.0031 m
	Länge	38 45 39.626 90 O	0.0022 m
	Höhe	319.976 6 m	0.0062 m
3000	Breite	35° 37' 9.46166'' N	0.0036 m
	Länge	38 45 29.94873 O	0.0015 m
	Höhe	317.1433 m	0.0039 m
4000	Breite	35° 37' 42.627 12'' N	0.0020 m
	Länge	38 45 29.991 03 O	0.0013 m
	Höhe	319.130 8 m	0.0051 m
Al Mundir	Breite	35° 37' 56.720 28'' N	0.0022 m
	Länge	38 45 30.53650 O	0.0015 m
	Höhe	315.791 8 m	0.0052 m
SYR 2	Breite	35° 37' 57.526 27'' N	0.0027 m
	Länge	38 45 42.007 20 O	0.0023 m
	Höhe	320.424 7 m	0.0066 m
SYR 2 EX REF	Breite	35° 37' 57.519 96'' N	0.0014 m
	Länge	38 45 42.010 02 O	0.0010 m
	Höhe	320.499 7 m	0.0031 m
SYR 3	Breite	35° 37' 02.350 36'' N	0.0030 m
	Länge	38 45' 55.471 97'' O	0.0023 m
	Höhe	324.731 4 m	0.0079 m
SYR 3 EX REF	Breite	35° 37' 02.349 93'' N	0.0015 m
	Länge	38 45 55.479 88 O	0.0010 m
	Höhe	324.856 3 m	0.0030 m

Tabelle I.3 Koordinaten der durch Tremel genutzten Punkte im *GKS02*

Punkt Nr.	Rechts y [m]	Hoch x [m]	Bemerkung
SYR 2	13 478 410,914	3 944 994,587	Betonpfeiler, bodengleich
SYR 3	13 478 745,664	3 943 293,165	Betonpfeiler, bodengleich
PP11	13 477 878, 89	3 944 716,67	
PP10	13 477 881, 95	3 944 558,30	
PP8	13 477 884,75	3 944 413,19	
PP2	13 478 292,32	3 944 549,19	
PP3	13 478 288,63	3 944 736,22	
P1	13 477 818.55	3 944 387.89	Stadtmauer
P2	13 477 817.88	3 944 803.13	Stadtmauer
P3	13 477 601.76	3 944 504.30	
P4	13 477 617.01	3 944 688.25	
P5	13 477 689.66	3 944 888.37	
P6	13 477 534.28	3 944 252.95	
P7	13 477 669.69	3 945 096.09	
P8	13 477 910.54	3 944 990.27	
P9	13 4780 49.16	3 944 946.28	
P10	13 478 115.39	3 945 115.36	
P11	13 478 204.80	3 944 908.17	
P 12	13 478 306.35	3 945 102.44	
P 12A	13 478 528.63	3 945 268.23	
P 13	13 478 440.27	3 944 821.98	
P14	13 478 715.73	3 945 109.69	
P15	13 478 542.88	3 944 727.62	
P16	13 478 354.59	3 944 770.41	Stadtmauer
P17	13 479 297.95	3 944 712.60	
P18	13 479 360.76	3 945 577.39	
P19	13 478 489.67	3 944 339.59	
P20	13 479 053.44	3 944 298.81	
P21	13 478 147.29	3 943 980.64	
P22	13 478 061.20	3 943 695.77	
P23	13 478 431.66	3 943 943.53	
P24	13 478 693.42	3 943998.88	
P25	13 478 995.02	3 943753.79	
P26	13 478 700.58	3 943670.07	
P27	13 478 328.84	3 943290.66	
P28	13 479 164.34	3 943215.33	
P29	13 478 644.00	3 942814.86	
P30	13 478 372.01	3 942764.99	
P31	13 478 545.30	3 942467.46	

Die Rechenvorschrift für die Transformation der durch Tremel genutzten Punkte ins GKS02 lautet:

$$: \quad \text{Rechts} = B_0 + B_1 x + A_1 y$$

$$\text{Hoch} = A_0 + A_1 x - B_1 y$$

Die Transformationsparameter können der Tabelle 2.5 in Kapitel 2. entnommen werden.

Tabelle I.4 Punkthöhen des Präzisions-Nivellements (2002)

Punkt- nummer	Höhe [m]	s Höhe [mm]	Vermarkung
100 (SYR 2)	300,0000	0,3	Messingmarke mit
101	299,5334	0,2	Nivbolzen
102	300,1870	0,2	Nivbolzen
103 (Al Mundir)	295,2890	0,3	Stahlnagel in Eisenrohr
104	293,5067	0,2	Nivbolzen
105 (SYR 3)	304,3811	0,6	Messingmarke mit
200	298,2267	0,1	Messingbolzen
201	296,7730	0,1	Messingbolzen
202	297,1035	0,1	Messingbolzen
203	296,5037	0,1	Messingbolzen
204	297,9979	0,1	Messingbolzen
205	298,5356	0,1	Messingbolzen
206	299,1661	0,1	Messingbolzen
207	296,6327	0,1	Messingbolzen
208	295,7861	0,1	Stahlnagel
209	296,7852	0,1	Messingbolzen
210	296,8840	0,1	Messingbolzen
211	297,5868	0,1	Messingbolzen
301	297,9659	0,1	Nivbolzen
302	297,5773	0,1	Nivbolzen
303	297,0677	0,1	Nivbolzen
304	297,5978	0,1	Nivbolzen
305	296,9196	0,1	Nivbolzen
306	296,8773	0,1	Nivbolzen
307	296,7709	0,1	Nivbolzen
308	297,2119	0,1	Nivbolzen
309	297,2009	0,1	Nivbolzen
310	296,9172	0,1	Nivbolzen
311	297,3531	0,1	Nivbolzen
312	297,3498	0,1	Nivbolzen
313	297,0973	0,1	Nivbolzen
314	297,2030	0,1	Nivbolzen

315	297,1628	0,1	Nivbolzen
316	297,4546	0,1	Nivbolzen
317	297,4210	0,1	Nivbolzen
318	297,1807	0,1	Nivbolzen
319	297,1481	0,1	Nivbolzen
320	297,2137	0,1	Nivbolzen
321	297,3178	0,1	Nivbolzen
322	297,1258	0,1	Nivbolzen
323	297,1766	0,1	Nivbolzen
324	297,3285	0,1	Nivbolzen
325	297,2787	0,1	Nivbolzen
401	297,4937	0,1	Nivbolzen
402	297,5462	0,1	Nivbolzen
403	297,2379	0,1	Nivbolzen
404	297,4701	0,1	Nivbolzen
405	297,4633	0,1	Nivbolzen
406	297,2755	0,1	Nivbolzen
407	297,0576	0,1	Nivbolzen
408	297,0381	0,1	Nivbolzen
409	296,9649	0,1	Nivbolzen
410	297,1146	0,1	Nivbolzen
411	297,2733	0,1	Nivbolzen
412	297,5255	0,1	Nivbolzen
413	297,7573	0,1	Nivbolzen
414	297,2917	0,1	Nivbolzen
415	297,2372	0,1	Nivbolzen
416	297,5672	0,1	Nivbolzen
417	297,1805	0,1	Nivbolzen
418	297,7766	0,1	Nivbolzen
419	297,3114	0,1	Nivbolzen
420	297,3170	0,1	Nivbolzen
501	297,3476	0,1	Nivbolzen
502	297,3703	0,1	Nivbolzen
503	296,7317	0,1	Nivbolzen
504	296,9053	0,1	Nivbolzen
505	296,7243	0,1	Nivbolzen

506	296,9202	0,1	Nivbolzen
507	297,3938	0,1	Nivbolzen
508	297,0408	0,1	Nivbolzen
509	297,5449	0,1	Nivbolzen
510	297,6195	0,1	Nivbolzen
511	297,7979	0,1	Nivbolzen
512	297,9338	0,1	Nivbolzen
513	297,8916	0,1	Nivbolzen
514	297,3203	0,1	Nivbolzen
515	297,5786	0,1	Nivbolzen
516	297,5484	0,1	Nivbolzen
601	298,9585	0,1	Nivbolzen
602	297,6396	0,1	Nivbolzen
603	297,9202	0,1	Nivbolzen
604	297,2948	0,1	Nivbolzen
605	297,2771	0,1	Nivbolzen
606	297,1176	0,1	Nivbolzen
607	297,2690	0,1	Nivbolzen

Tabelle I.5 Endgültige Koordinaten des terrestrischen Netzes (2002) (mit nivellierter Höhe)

Pkt.	R [m]	H [m]	Höhe[m]	Vermarkung
	SR [mm]	SH [mm]	SHöhe [mm]	
200	13478273,8288	3944457,7325	298,2267	Messingbolzen
	0,3	0,2	0,1	
201	13478224,8172	3944455,9155	296,7730	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
202	13478244,6432	3944584,9210	297,1035	Messingbolzen
	0,1	0,1	0,1	
203	13478209,9862	3944571,8627	296,5037	Messingbolzen
	0,2	0,1	0,1	
204	13478255,1186	3944540,2745	297,9979	Messingbolzen
	0,2	0,1	0,1	
205	13478255,0961	3944516,3672	298,5356	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
206	13478279,1386	3944483,5998	299,1661	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
207	13478204,8485	3944545,3599	296,6327	Messingbolzen
	0,2	0,1	0,1	
208	13478232,0350	3944528,4075	295,7861	Stahlnagel
	0,2	0,2	0,1	
209	13478214,4779	3944520,6893	296,7852	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
210	13478220,0513	3944490,2827	296,8840	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
211	13478230,0533	3944490,8621	297,5868	Messingbolzen
	0,3	0,2	0,1	
301	13478257,1499	3944491,2782	297,9659	Nivbolzen
	0,7	0,4	0,1	
302	13478250,9451	3944496,2064	297,5773	Nivbolzen
	0,6	0,3	0,1	
303	13478250,8557	3944485,9288	297,0677	Nivbolzen
	0,6	0,4	0,1	
304	13478249,5242	3944496,8745	297,5978	Nivbolzen
	0,5	0,3	0,1	
305	13478249,1932	3944485,1943	296,9196	Nivbolzen
	0,5	0,3	0,1	
306	13478247,0988	3944485,0900	296,8773	Nivbolzen
	0,6	0,4	0,1	

309	13478237,3399	3944495,9031	297,2009	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
311	13478237,4833	3944485,8740	297,3531	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
312	13478236,0548	3944485,0498	297,3498	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
313	13478224,0225	3944485,8784	297,0973	Nivbolzen
	0,3	0,2	0,1	
314	13478222,5710	3944484,9678	297,2030	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
315	13478223,7780	3944490,8626	297,1628	Nivbolzen
	0,3	0,4	0,1	
316	13478223,8508	3944495,8708	297,4546	Nivbolzen
	0,3	0,2	0,1	
317	13478222,4238	3944496,7485	297,4210	Nivbolzen
	0,4	0,2	0,1	
318	13478210,4819	3944495,2249	297,1807	Nivbolzen
	0,3	0,3	0,1	
319	13478210,0171	3944490,6108	297,1481	Nivbolzen
	0,3	0,3	0,1	
320	13478210,6149	3944486,1595	297,2137	Nivbolzen
	0,3	0,3	0,1	
321	13478212,0515	3944484,8151	297,3178	Nivbolzen
	0,3	0,3	0,1	
403	13478250,9421	3944504,0853	297,2379	Nivbolzen
	0,5	0,4	0,1	
408	13478237,4000	3944504,6100	297,0381	Nivbolzen
	0,5	0,4	0,1	
411	13478224,3539	3944504,4705	297,2733	Nivbolzen
	0,4	0,4	0,1	
414	13478210,2177	3944504,3170	297,2917	Nivbolzen
	0,3	0,3	0,1	
415	13478209,4429	3944502,9145	297,2372	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
418	13478204,9968	3944504,2356	297,7766	Nivbolzen
	0,6	0,4	0,1	
508	13478238,9492	3944477,4190	297,0408	Nivbolzen
	0,5	0,4	0,1	
510	13478223,9020	3944477,2143	297,6195	Nivbolzen
	0,4	0,4	0,1	

511	13478211,6362	3944477,0519	297,7979	Nivbolzen
	0,4	0,4	0,1	
513	13478209,7921	3944477,6733	297,8916	Nivbolzen
	0,4	0,3	0,1	
515	13478204,8889	3944477,4032	297,5786	Nivbolzen
	0,4	0,4	0,1	
516	13478206,1362	3944476,9562	297,5484	Nivbolzen
	0,4	0,4	0,1	
1000	13478345,7773	3944437,9641	301,1856	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,1	
2000	13478349,9078	3944536,7127	299,4765	Messingbolzen
	0,2	0,1	0,2	
3000	13478106,1745	3944458,8100	296,6466	Messingbolzen
	0,2	0,2	0,2	
4000	13478107,4316	3944536,1081	298,6361	Messingbolzen
	0,2	0,1	0,2	

Tabelle 1.6 Endgültige Koordinaten im *Resafa GKS02* des terrestrischen Netzes (2006)
(nivellierte Höhen)

PunktNr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	S_{Lage} [mm]	S_{Höhe} [mm]	Vermarkung
100 (SYR 2Ex)	13478410,9847	3944994,3921	300,0000	1,7	0,3	Messingmarke mit Aufschrift
103 (Al Mundir)	13478122,2232	3944970,4490	295,2890	2,7	0,3	Stahlnagel in Eisenrohr
105 (SYR 3Ex)	13478745,8629	3943293,1512	304,3811	1,8	0,6	Messingmarke mit Aufschrift
200	13478273,8288	3944457,7325	296,2272	0,4	0,1	Bolzen alt
201	13478224,8172	3944455,9155	296,7730	0,3	0,1	Bolzen alt
202	13478244,6432	3944584,9210	297,1038	0,2	0,1	Bolzen alt
203	13478209,9862	3944571,8627	296,5042	0,2	0,1	Bolzen alt
204	13478255,1186	3944540,2745	297,9985	0,2	0,1	Bolzen alt
206	13478279,1423	3944483,6003	299,1660	1,0	0,1	Bolzen alt
208	13478232,0350	3944528,4075	295,7853	0,3	0,1	Nagel alt
209	13478214,4779	3944520,6893	296,7863	0,3	0,1	Bolzen alt
210	13478220,0513	3944490,2827	296,8850	0,3	0,1	Bolzen alt
211	13478230,0533	3944490,8621	297,5888	0,3	0,1	Bolzen alt
220	13478256,4703	3944515,8552	298,4504	0,8	0,1	Bolzen neu
221	13478204,7017	3944545,3892	296,6244	0,5	0,1	Bolzen neu
301	13478257,1499	3944491,2782	297,9652	0,8	0,1	Nivbolzen
302	13478250,9451	3944496,2064	297,5773	0,7	0,1	Nivbolzen
303	13478250,8557	3944485,9288	297,9655	0,7	0,1	Nivbolzen
304	13478249,5242	3944496,8745	297,5976	0,6	0,1	Nivbolzen
305	13478249,1932	3944485,1943	296,9174	0,6	0,1	Nivbolzen
309	13478237,3399	3944495,9031	297,2009	0,5	0,1	Nivbolzen
311	13478237,4833	3944485,8740	297,3529	0,5	0,1	Nivbolzen

312	13478236,0548	3944485,0498	297,3494	0,5	0,1	Nivbolzen
313	13478224,0225	3944485,8784	297,0973	0,4	0,1	Nivbolzen
314	13478222,5710	3944484,9678	297,2033	0,5	0,1	Nivbolzen
315	13478223,7780	3944490,8626	297,1633	0,5	0,1	Nivbolzen
316	13478223,8508	3944495,8708	297,4546	0,4	0,1	Nivbolzen
317	13478222,4238	3944496,7485	297,4212	0,4	0,1	Nivbolzen
318	13478210,4819	3944495,2249	297,1805	0,4	0,1	Nivbolzen
319	13478210,0171	3944490,6108	297,1481	0,4	0,1	Nivbolzen
320	13478210,6149	3944486,1595	297,2137	0,4	0,1	Nivbolzen
321	13478212,0515	3944484,8151	297,3178	0,4	0,1	Nivbolzen
403	13478250,9421	3944504,0853	297,2379	0,6	0,1	Nivbolzen
408	13478237,4000	3944504,6100	297,0410	0,6	0,1	Nivbolzen
411	13478224,3539	3944504,4705	297,2739	0,6	0,1	Nivbolzen
414	13478210,2177	3944504,3170	297,2920	0,4	0,1	Nivbolzen
415	13478209,4429	3944502,9145	297,2368	0,5	0,1	Nivbolzen
418	13478204,9968	3944504,2356	297,7768	0,7	0,1	Nivbolzen
508	13478238,9492	3944477,4190	297,0408	0,6	0,1	Nivbolzen
510	13478223,9020	3944477,2143	297,6197	0,6	0,1	Nivbolzen
511	13478211,6362	3944477,0519	297,8015	0,6	0,1	Nivbolzen
513	13478209,7921	3944477,6733	297,8912	0,5	0,1	Nivbolzen
515	13478204,8889	3944477,4032	297,5783	0,6	0,1	Nivbolzen
516	13478206,1362	3944476,9562	297,5482	0,6	0,1	Nivbolzen
602	13478272,3268	3944483,6267	297,6396	0,5	0,1	Nivbolzen
603	13478272,2605	3944478,0733	297,9201	0,5	0,1	Nivbolzen
604	13478268,7826	3944483,4066	297,2951	0,5	0,1	Nivbolzen

605	13478268,7977	3944477,7548	297,2771	0,5	0,1	Nivbolzen
606	13478266,1903	3944484,4549	297,1175	0,5	0,1	Nivbolzen
607	13478263,8934	3944477,3654	297,2685	0,6	0,1	Nivbolzen
608	13478258,4159	3944484,3256	296,8905	0,6	0,1	Nivbolzen
609	13478258,7820	3944477,4607	297,1671	0,6	0,1	Nivbolzen
1000	13478345,7773	3944437,9641	301,1863	0,3	0,2	Bolzen alt
2000	13478349,9105	3944536,7131	299,4737	1,2	0,2	Bolzen alt
3000	13478106,1745	3944458,8100	296,6466	0,3	0,1	Bolzen alt
4001	13478107,4915	3944536,1917	298,5972	1,0	0,1	Bolzen neu
4444	13478100,2585	3944540,1073	298,0960	0,8	0,1	Bolzen alt

Tabelle 1.7 Endgültige Punkthöhen des Überwachungsnetzes (2006)

Punkt Nr.	Höhe [m]	SHöhe [mm]	Vermarkung
100	300,0000	0,3	Messingmarke mit Aufschrift
101	299,5334	0,1	Nivbolzen
103	295,2890	0,3	Stahlnagel in Eisenrohr
104	293,5056	0,2	Nivbolzen
105	304,3811	0,6	Messingmarke mit Aufschrift
200	298,2272	0,1	Messingbolzen alt
201	296,7730	0,1	Messingbolzen alt
202	297,1038	0,1	Messingbolzen alt
203	296,5042	0,1	Messingbolzen alt
204	297,9985	0,1	Messingbolzen alt
206	299,1660	0,1	Messingbolzen alt
208	295,7853	0,1	Stahlnagel alt
209	296,7863	0,1	Messingbolzen alt
210	296,8850	0,1	Messingbolzen alt
211	297,5888	0,1	Messingbolzen alt
220	298,4504	0,1	Messingbolzen neu
221	296,6244	0,1	Messingbolzen neu
301	297,9652	0,1	Nivbolzen
302	297,5773	0,1	Nivbolzen
303	297,0655	0,1	Nivbolzen
304	297,5976	0,1	Nivbolzen
305	296,9174	0,1	Nivbolzen
307	296,7699	0,1	Nivbolzen
308	297,2118	0,1	Nivbolzen
309	297,2009	0,1	Nivbolzen
310	296,9172	0,1	Nivbolzen
311	297,3529	0,1	Nivbolzen
312	297,3494	0,1	Nivbolzen
313	297,0973	0,1	Nivbolzen
314	297,2033	0,1	Nivbolzen
315	297,1633	0,1	Nivbolzen
316	297,4546	0,1	Nivbolzen
317	297,4212	0,1	Nivbolzen
318	297,1805	0,1	Nivbolzen
319	297,1481	0,1	Nivbolzen
320	297,2137	0,1	Nivbolzen
321	297,3178	0,1	Nivbolzen

Tabelle I.8 Endgültige Koordinaten zur Georeferenzierung der 3D-Dokumentation von Osttor und Stadtmauer (2010)

Punkt Nr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	S Lage [mm]	S Höhe [mm]	Vermarkung
800	13478385.1398	3944432.5948	300,1113	-	-	Holzpflock mit Nagel
801	13478381.6802	3944616.5236	300.5596	-	-	Holzpflock mit Nagel
802	13478370.9476	3944791.2652	300.2550	-	-	Holzpflock mit Nagel
803	13478113.7839	3944808.9672	293.2291	-	-	Holzpflock mit Nagel
804	13477993.9357	3944814.8270	291.1102	-	-	Holzpflock mit Nagel
7200	13478174.1306	3944801.7775	293.2436	5,0	6,3	Messingbolzen
7201	13478220.0888	3944805.2656	297.8057	6,6	7,2	Messingbolzen
7202	13478299.2268	3944806.3586	298.7987	4,9	6,6	Messingbolzen
7203	13478338.0446	3944802.1965	300.1883	3,8	5,5	Messingbolzen
7205	13478376.0294	3944750.0078	299.7620	3,8	5,7	Messingbolzen
7206	13478377.5160	3944711.5474	300.7442	4,5	6,4	Messingbolzen
7207	13478378.7105	3944650.8383	300.8514	3,8	5,9	Messingbolzen
7210	13478193.4666	3944784.3577	304.4840	8,5	11,7	Messingbolzen
7211	13478256.9662	3944781.1825	305.583	8,8	12,4	Messingbolzen
7212	13478313.6497	3944778.1812	306.8076	6,3	7,7	Messingbolzen
7214	13478346.0577	3944777.0675	305.8864	6,9	11,3	Messingbolzen
7214	13478354.1544	3944769.3852	306.1073	5,5	9,0	Messingbolzen
7220	13478172.9770	3944761.9140	297.8090			Messingbolzen
7221	13478227.2330	3944758.1000	297.9470			Messingbolzen
7222	13478290.7200	3944749.5020	299.3020			Messingbolzen
7223	13478328.6790	3944745.4910	297.9090			Messingbolzen
7224	13478329.4450	3944714.9880	298.2000			Messingbolzen
7225	13478329.6930	3944670.7900	298.2400			Messingbolzen
7226	13478360.9700	3944630.9750	303.1800			Messingbolzen
5016	13478301.1780	3944634.4620	297.7940			Messingbolzen
5028	13478215.3526	3944783.0510	305.5200	7,6	9,6	Messingbolzen
5029	13478352.3604	3944775.1430	305.9460	4,5	7,5	Messingbolzen
5030	13478362.3190	3944570.0930	302.5450			Messingbolzen
9999	13478168.1370	3944760.2320	297.4470			-

10. Anhang II

- | | | |
|-------------|---|------------|
| 10.1 | Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2002
von Th. Schulz und S. Lindemann | 175 |
| 10.2 | Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2006
von D. Kowoll und A. Sternberg | 193 |
| 10.3 | Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2008
von A. Sternberg | 225 |
| 10.4 | Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2010
von M. Krause und Chr. Priebus | 242 |

10.1 Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2002

von Th. Schulz und S. Lindemann

1. Zeitplan

2. Reisebericht zur Diplomarbeit

Einige Eindrücke des Landes

Das Wetter

Krankheitsgeschichten

Der Verkehr

Die Menschen

1. Zeitplan

Meßkampagne „Resafa“ 25. September – 12. Oktober 2002

Teilnehmer DAI: Dr. Michaela Konrad
Teilnehmer UniBw: Prof. Hans Heister (Hst), Dr. Manfred Stephani (St), Astrid Palmer (Pa),
 Sven Lindemann (Li), Thomas Schulz (Schu)

Datum	Tätigkeiten	Personen	Instrumente / Gerät
Mi. 25.09.	Anreise von München nach Damaskus	alle Teilnehmer	
Do. 26.09.	Übernahme des Gerätes	Hst	Transportmittel (DAI)
	Organisation der Weiterfahrt nach Resafa	Hst	
	Einkauf von Lebensmittel	Pa	Transportmittel (DAI)
Fr. 27.09.	Weiterfahrt nach Resafa	alle Teilnehmer	Transportmittel (DAI)
Sa. 28.09.	Einrichtung der Unterkünfte	alle Teilnehmer	
	Einrichtung des Gerätelagers	Li, Schu	
	Erkundungsgang durch Resafa	alle Teilnehmer	
So. 29.09.	Erkundung und Festlegung der Meßpunkte	alle Teilnehmer	Fluchtstäbe etc.
	Vermarkung der Meßpunkte	Hst, Hilfskraft	Vermarktungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder
	Anschluß-Nivellement	St, Li, Schu	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu	LapTop, Kartenleser
Mo. 30.09.	Vermarkung der Meßpunkte	Hst, Hilfskraft	Vermarktungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder
	GPS-Messungen	Hst, Li, Schu	2 GPS Leica 530, RTK 2 Sative

	Anschluß-Nivellement	St, Li, Schu	NA 3003, 2 Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu	LapTop, Kartenleser
Di. 1.10.	Vermarkung der Messpunkte	Hst, Hilfskraft	Vermarkungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder
	GPS-Messungen	Hst, Li, Schu	2 GPS Leica 530, RTK 2 Sative
	Anschluß-Nivellement	St, Li, Schu	NA 3003, 2 Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu	LapTop, Kartenleser
Mi. 2.10.	Vermarkung der Meßpunkte	Hst, Hilfskraft	Vermarkungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder
	Netzbeobachtung (Tachymeter)	Li, Schu, St	TPS1100, Reflektoren 5 Stative
	Datensicherung	Li, Schu	LabTop, Kartenleser
Do. 3.10.	Netzbeobachtung (Tachymeter)	Li, Schu,	TPS1100, Reflektoren 5 Stative
	Nivellement (Innenbereich)	Hst, St	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu, Hst,	LapTop, Kartenleser
Fr. 4.10.	Zusammenstellung / Überprüfung der Netzbeob. (Tachymeter)	Li, Schu	LapTop
	Nivellement (Basilika A)	Hst, St	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li. Schu	LapTop, Kartenleser

Sa. 5.10.	Lagebestimmung (Niv.Pkte)	Li, Schu, St	TPS1100, Reflektoren 5 Stative
	Nivellement (Basilika A)	Hst, St	NA 3003, Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu, Hst	LapTop, Kartenleser
So. 6.10.	Lagebestimmung (Niv.Pkte)	Li, Schu, St	TPS1100, Reflektoren 5 Stative
	Nivellement (Basilika A)	Hst, St	NA 3003, Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Datensicherung	Li, Schu, Hst	LapTop, Kartenleser
Mo. 7.10.	Nivellement (Basilika A)	Hst, St	NA 3003, Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	GPS-Messungen	Li, Schu, St	2 GPS Leica 530, RTK 2 Stative
	Datensicherung	Li, Schu, Hst	LapTop, Kartenleser
Di. 8.10.	GPS-Messungen	Li, Schu, St	2 GPS Leica 530, RTK 2 Stative
	Datensicherung	Li, Schu	LapTop, Kartenleser
	Zusammenstellung / Überprüfung der Meßergebnisse	Li, Schu	LapTop
Mi. 9.10.	Zusammenstellung / Überprüfung der Meßergebnisse	Li, Schu, Hst	Lap Top
	Abschluß der Kampagne Aufräumen, Überprüfen, Packen	alle Teilnehmer	Transportmittel (DAI)
Do. 10.10.	Packen	Alle Teilnehmer	
	Rückreise Damaskus		Transportmittel (DAI)
Fr. 11.10.	Übergabe des Instrumentariums an die Deutsche Botschaft	Hst, Li, Schu	Transportmittel (DAI)
	Zur freien Verfügung		
Sa. 12.10.	Rückreise Damaskus – München	alle Teilnehmer	

Gerätetransport: Thomas Schulz und Sven Lindemann
 Anfahrt nach Bonn BMVg, IDT 3 bis 27. August 2002
 Bonn – Damaskus, Deutsche Botschaft MilAttStab durch IDT 3

Datensicherung / Datenauswertung: Thomas Schulz, Sven Lindemann

Allg. Org. / Visa: Heister, Abgabe der Anträge incl. Reisepass bis 5.8.2002

2. Reisebericht zur Diplomarbeit

In diesem Reisebericht werden die Ereignisse und Eindrücke kurz zusammengefasst, die sich während der Messkampagne an der Basilika „A“ in Resafa (Syrien) vom 25. September bis 12. Oktober 2002 ereigneten.

Nachfolgend wird der typische Tagesablauf geschildert, wie er während der Messkampagnen üblich war. Der Tagesablauf gestaltete sich im Allgemeinen wie folgt:

06:00 - 07:00 Aufstehen, Morgentoilette und kurzes Frühstück (Tee und Kekse), Empfang der neuesten Nachrichten des „DLF“. Zu diesem Zeitpunkt herrschten bereits Temperaturen zwischen 13° und 20°C.



Foto 1 und 2: Außenansicht des Grabungshauses in Resafa

07:00 - 10:00 Beginn der Arbeiten (wie sie in der Regel am Vorabend nach dem Abendessen besprochen wurden)

Die Temperaturen erreichten bereits einen Wert von bis zu 28°C.

10:00 - 10:45 Zweites und eigentliches Frühstück. Vorbereitet wurde es vom eingeteilten Küchendienst, der aufgrund von krankheitsbedingten Ausfällen wechselte.

10:45 - 13:00 Fortsetzung der Arbeiten

Die Temperaturen bewegten sich fast immer über 30°C.



Foto 3 und 4: Essenzubereitung und Mahlzeit

13:00 - 16:00 Siesta. Hier erreichten die Temperaturen ihren maximalen Wert von ca. 39°C. Diese Zeit wurde genutzt, um die gemessenen Daten auszulesen und aufzubereiten. Zwischen 15:30 und 16:00 Uhr fand eine Vesper mit Tee und Keksen statt. In der Regel blieb noch etwas Zeit zur Ruhepause.



Foto 5 - 7: Während der Siesta

16:00 - 19:00 Die am Vormittag begonnen Messarbeiten wurden so lange fortgesetzt, wie es die gegebenen Umweltbedingungen ermöglichten. Belohnung für einen arbeitsreichen Tag war der herrliche Sonnenuntergang.



Foto 8 und 9: Sonnenuntergang in Resafa

19:00 - 20:30 Während dieser Zeit wurde zur Unterkunft zurückverlegt, die Geräte eingelagert und die Abendverpflegung eingenommen.

20:30 - 22:00 Der Tag endete mit einer Abschlussbesprechung und der Planung des nächsten Tages sowie der weiteren Auswertung der noch angefallenen Daten. Ab 23:00 Uhr traten wir die verdiente Nachtruhe unter freiem Himmel bei angenehmen 22°C an.



Foto 10 und 11: Nachbesprechung und Nachtruhe

Nachstehend werden die Geschehnisse der einzelnen Tage von Beginn bis Ende der Reise näher beschrieben.

Mittwoch 25.09.2002

Die Reise begann um 14:00 Uhr mit der Abfahrt von der Universität der Bundeswehr zum Münchener Flughafen. Mit 45 Minuten Verspätung startete gegen 17:45 Uhr das Flugzeug der Syrian Air, deren Personal einen ersten Eindruck auf die Menschen des Landes erlaubte. Die Besatzung wurde bei einer Zwischenlandung in Aleppo gegen 22:20 Uhr ausgewechselt. Trotzdem konnten wir vorzeitig um 23:20 Uhr auf dem Airport International in Damaskus landen. Dort wurden wir durch einen Mitarbeiter des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) in Empfang genommen. Alle Teilnehmer sowie das mitgeführte Material mussten dann zu unserem Entsetzen mit einem einzigen Fahrzeug zu unserer vorläufigen Unterkunft transportiert werden. Die Räumlichkeiten des DAI befinden sich im ehemaligen Botschaftsgebäude der DDR unter einem Dach mit dem Goethe-Institut. Nach dem Eintreffen in der Unterkunft fand noch eine Besprechung statt, bei der der weitere Aufenthalt in Damaskus und die Fahrt nach Resafa am übernächsten Morgen auf der Tagesordnung standen. Wohlverdient konnten gegen 02:00 Uhr die Unterkünfte bezogen und die Nachtruhe angetreten werden.



Foto 12 und 13: Fahrt zum DAI und Bezug des vorläufigen Quartiers

Donnerstag 26.09.2002

Nach dem Wecken um 06:00 Uhr erklärte sich Herr Stephani bereit, für uns das Frühstück zu organisieren und versuchte bei ortsansässigen Bäckern Brötchen zu bekommen. Da diese aber erst um 09:00 Uhr öffneten, verzögerte sich das Frühstück entsprechend. Das lag vielleicht daran, dass der Donnerstag in der arabischen Welt mit unserem Samstag gleichzusetzen ist.

In der Zwischenzeit wurde die Ausrüstung gesichtet, die über das Auswärtige Amt in Bonn und in Zusammenarbeit mit dem Militärattache nach Syrien gelangt war. Die Ausrüstung war vollzählig und es gab keine Irritationen, obwohl ein weiteres Vermessungsteam der Technischen Universität München zur gleichen Zeit in Syrien eine Messkampagne durchführte. Deswegen gilt unser Dank an dieser Stelle den vorgenannten Institutionen.

Für die Fahrt nach Resafa wurde ein weiteres Fahrzeug angemietet. Die verbleibende Zeit bis 16:00 Uhr stand zur freien Verfügung.



Foto 14: Unser Mietauto



Foto 15: Teepause

Am späten Nachmittag fand ein Ausflug in die Altstadt von Damaskus statt. Hier besichtigten wir z.B. den Suq al-Hamidiya (Basar) und die große Umayyaden Moschee.

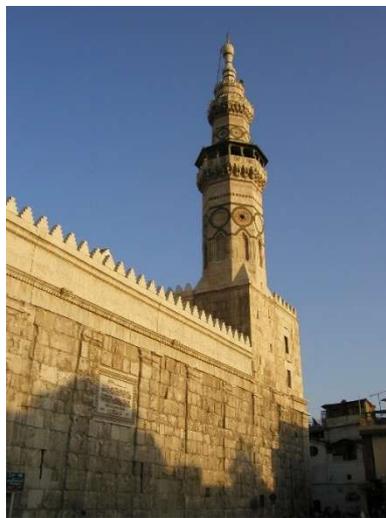
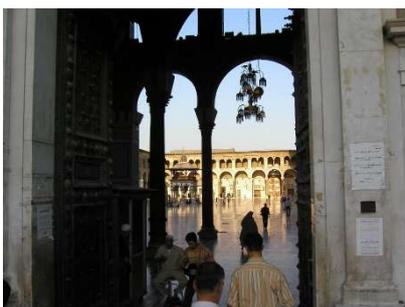


Foto 16 - 18: Fotoimpressionen von Damaskus

Am Abend wurden noch Lebensmittel für die ersten Tage in Resafa eingekauft. Der Tag endete um 20:30 Uhr mit einem Abendessen in einem landestypischen Lokal.

Freitag 27.09.2002

Nach dem Frühstück wurden die Fahrzeuge mit dem Material und der persönlichen Ausrüstung der Teilnehmer beladen. Um 09:30 Uhr begann unsere mit drei Stunden angesetzte Fahrt nach Resafa. Nach einigen Irrungen gelangten wir schließlich gegen 16:30 Uhr an unseren Zielort, das Grabungshaus am Stadtrand Resafas.



Foto 19 - 21: Irrungen und Wirrungen auf der Fahrt nach Resafa



Foto 22 und 23: Ankunft in Resafa (Stadtansicht und Grabungshaus)

Von einem Verwalter der Syrischen Antikenverwaltung empfangen wir die Schlüssel unserer Unterkunft.

Zunächst mussten die Räumlichkeiten gesäubert werden, da sie durch den überall vorhandenen feinen Staub verunreinigt waren. Da die Ankunft später als geplant erfolgte, waren wir über eine Einladung zum Abendessen sehr froh. Vom Bruder des Verwalters wurden wir in traditioneller Art und Weise als Gäste willkommen geheißen. Dabei reicht der Gastgeber das Essen und den Tee, isst aber selbst nichts. Das nicht verzehrte Essen ist dann für die Frauen, Kinder und den Gastgeber selbst bestimmt. Daher ist es eine Regel der Höflichkeit, nicht alles aufzuessen. Das Essen sollte nicht mit der linken Hand eingenommen werden, da diese als unrein angesehen wird.



Foto 24 - 26: Traditionell islamisches Abendessen

Samstag 28.09.2002

Nachdem die Unterkünfte eingerichtet und die Ausrüstung eingelagert waren, wurde mit der Herstellung der Arbeitsbereitschaft begonnen. Dazu sind alle Instrumente auf ihre Funktionsfähigkeit und Unversehrtheit überprüft worden.



Foto 27: Funktionsprüfung der GPS - Receiver

Eine weitere Aufgabe bestand in der Organisation von Lebensmitteln und Artikeln für den täglichen Bedarf auf einem nahe gelegenen Wochenmarkt. Gegen 15:00 Uhr wurde mit der Erkundung des Geländes begonnen. Herr Stephani führte eine Einweisung in das Gelände und die nähere Umgebung durch. Das Innere der Stadt Resafa stellte Frau Konrad vor. Bei dieser Einweisung wurde besonders auch auf die geschichtliche Bedeutung der Stadt und ihrer Gebäude eingegangen. Während der Einweisung in die Umgebung wurden die bereits vorhandenen Punkte SYR 2 und SYR 3 aufgesucht. Der Tag endete gegen 19:30 Uhr mit der Rückkehr zur Unterkunft und einer anschließenden Besprechung für den Ablauf der nächsten Tage.

So. 29.09.2002

Die erste Aufgabe bestand in dem Vermarken aller Punkte. Nachdem der Vorgang für die Punkte außerhalb der Stadt abgeschlossen war, konnte mit dem Nivellement begonnen werden. Nach Beendigung der Vermarktungsarbeiten im Außenbereich, wurden die Arbeiten mit den speziell angefertigten Mauerbolzen in der Basilika fortgesetzt. Dabei unterstützten uns ortsansässige Beduinen, die uns auch im weiteren Verlauf der Kampagne zur Seite standen. Der Tag endete mit dem Auslesen und Aufbereiten der gemessenen Daten.

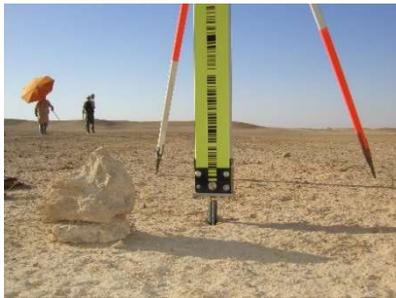


Foto 28: Nivellement



Foto 29: Vermarktung



Foto 30: Festpunkt SYR 2

Mo. 30.09.2002

An diesem Tag hatten wir den ersten krankheitsbedingten Ausfall zu beklagen. Dies zeigt vor allem, dass auf Anzeichen, die der Körper uns gab, geachtet werden musste, denn das vorherrschende extreme Klima stellte eine große Belastung für den Körper dar. An diesem Tag wurde das Nivellement im Außenbereich fortgesetzt. Die Arbeiten sind vor allem durch das bewegte Gelände erschwert worden. Bei der Auswertung stellte sich heraus, dass es vorteilhaft ist, längere Nivellementswege in kleinere Teilstrecken zu unterteilen, um aufwändige Nachmessungen zu vermeiden.

Di. 01.10.2002

Die wesentliche Leistung dieses Tages bestand in dem Abschluss des Nivellements im Außenbereich und dem Beginn der Höhenübertragung zu den Punkten im Stadtgebiet Resafas. Ein weiterer wichtiger Punkt war die Sicherstellung der leiblichen Versorgung. Daher fuhren einige Teilnehmer der Kampagne zur Beschaffung von Lebensmitteln nach Ar Raggah. Neben den Einkäufen wurde auch die Antikenverwaltung von Syrien aufgesucht, um die Visa zu verlängern und den Verwalter über unsere Tätigkeiten in Resafa zu informieren. Ihnen blieb auch ein wenig Zeit für einen Abstecher zum Euphrat, einen für diese Region äußerst wichtigen Fluss, der die Bevölkerung mit Wasser versorgt. Die Wasserversorgung des Grabungshauses wurde ebenfalls durch Euphratwasser sichergestellt.

Mi. 02.10.2002

An diesem Tag wurde die Verbindung der Außenpunkte mit den Polygonpunkten hergestellt und das Nivellement im Außenbereich der Stadt abgeschlossen. Am Ende des Tages ist das

Nivellement in der Basilika „A“ geplant worden. Dabei stellte sich heraus, dass dies trotz der kurzen Zielweiten mit nicht unerheblichem Aufwand verbunden ist.

Do. 03.10.2002

Um die Durchführung des Nivellements in der Basilika „A“ zu beschleunigen, wurde eine Einteilung in zwei Messtrupps vorgenommen. Dies wurde vor allem dadurch ermöglicht, da wir ein Ersatzmessgerät mitgeführt hatten. So war es möglich die gesamte Basilika „A“ an nur einem einzigen Tag zu vermessen. Parallel zu diesen Arbeiten wurden GPS - Langzeitbeobachtung auf dem Punkt SYR 2 durchgeführt, der für die folgenden GPS-Beobachtungen als Referenz dienen soll. Aus diesen Beobachtungen wurden die Koordinaten des Punktes durch eine Single - Point - Lösung bestimmt.

Fr. 04.10.2002

Begonnen wurde dieser Tag mit weiteren GPS — Messungen. Die Referenzstation ist auf dem Exzentrum des Punktes SYR2 eingerichtet worden. Weitere Aufgaben waren die Aufbereitung und Kontrolle der Nivellementsdaten.

Sa. 05.10.2002

Auch an diesem Tag wurden einzelne Höhenunterschiede nachgemessen und die Vermessung des GPS - Netzes fortgeführt. Nachmessungen waren vor allem bei Punkten, die aufgrund der Neigung der Wände eine lotrechte Aufstellung der Nivellierlatten nicht zuließen, notwendig. Um die Fehlereinflüsse hier gering zu halten, wurden Instrumentenaufstellungen mit möglichst niedriger Ablesehöhe gewählt. Die GPS-Beobachtungen mit dem Referenzpunkt SYR2 wurden mit der Bestimmung der Koordinaten des Punktes SYR 3, der als nächste Referenz für die erneute Vermessung des GPS - Netzes dienen sollte, abgeschlossen.



Foto 31 und 32: Nivellement in der Basilika „A“

So. 06.10.2002

An diesem Tag wurde mit der Vermessung des Richtungs- und Streckennetzes begonnen. Wegen aufkommender starker Winde und einen am Nachmittag einsetzenden Sandsturm mussten die Arbeiten eingestellt werden.

Mo. 07.10.2002

Beherrscht wurde dieser Tag hauptsächlich durch die Fortführung der am Vortag begonnenen Vermessung des Richtungs- und Streckennetzes.

Di. 08.10.2002

Bereits am Vormittag konnte die Vermessung mit dem TCRA 1101 plus abgeschlossen werden. Da nun wieder genügend Personal zur Verfügung stand, konnten auch die noch fehlenden GPS-Messungen mit SYR 3EX als Referenz beendet werden.

Mi. 09.10.2002

An diesem Tag sind die Arkaden in der Basilika „A“ gescannt worden. Als besonders problematische stellte sich die Stromversorgung des zur Instrumentensteuerung eingesetzten Notebooks heraus. So war es nur möglich lediglich drei Arkaden zu scannen. Ein weiteres Team war mit dem Einmessen einiger archäologisch interessanter Punkte in der Umgebung Resafas beschäftigt. Ein auf dem Dach des Grabungshauses vermarkter Punkt diente dabei als Referenzpunkt. Während der Messungen wurden einige Dolinen entdeckt, die eine mögliche Ursache für das Absinken der Basilika „A“ sein können.

Nach dem Beenden aller Messungen und der Sicherung aller Daten, wurde die Ausrüstung gereinigt und wieder für den Transport verpackt.



Foto 33: GPS-Messung



Foto 34: Scannen der Arkaden



Foto 35: Doline



Foto 36: Skorpione



Foto 37: Abschiedsfoto in Resafa

Do. 10.10.2002

An diesem Tag traten wir die Rückreise nach Damaskus an. Zuvor wurden Abschiedsphotos gemacht und die Ausrüstung verladen. Zu unserem Erstaunen präsentierten uns die dort sesshaft gewordenen Beduinen einige gefangene Skorpione. Um noch einige Eindrücke aus Syrien mitnehmen zu können, entschieden wir uns zu einem Umweg über Palmyra. In Palmyra angekommen, steuerten wir zielstrebig das Hotel Zenobia an, das, wie wir erfuhren, bei längeren Grabungen immer ein Event gewesen war.



Foto 38 - 40: Kurzstopp in Palmyra

Nach einer etwa zweistündigen Pause, die wir zum Essen und zur Besichtigung der Ruinen nutzten, wurde die Reise nach Damaskus fortgesetzt. Gegen 16:30 Uhr und nach einigen Schreckenssekunden im Straßenverkehr erreichten wir unsere Unterkunft in Damaskus. Ausklingen ließen wir den Abend in einem einheimischen Lokal in der Nähe der großen Umayyaden Moschee in Damaskus.

Fr. 11.10.2002

Dieser Tag begann sehr entspannend und ohne den zeitlichen Druck der Vortage. Die wesentliche Aufgabe des Tages bestand in der Vorbereitung der Ausrüstung für die Rückführung nach Deutschland. Dies ging sehr rasch von der Hand, da wir schon vor der Abfahrt in Resafa die Behälter beschriftet hatten und somit hatten wir etwas Zeit den eigenen Interessen nachzugehen. Für einige Teilnehmer wurde der Sugq al-Hamidiya noch einmal Ziel für Einkäufe von Andenken an den interessanten Besuch in Syrien. Bevor sich der letzte Abend in Damaskus resp. in Syrien nach einem Abendessen in der Nähe des Suq dem Ende neigte, trafen wir uns alle zu einer letzten Gesprächsrunde und diskutierten noch einmal den Aufenthalt.

Sa. 12.10.2002 (Reisetag)

Nach einem kurzen Aufenthalt am Flughafen in Damaskus, hob um 10:35 Uhr Ortszeit das Flugzeug Richtung München ab. Nach einem turbulenten Flug von ca. 4 Stunden landeten wir gegen 14:00 Uhr auf dem Münchner Flughafen, wo wir von Freunden oder Verwandten empfangen wurden.

Einige Eindrücke zum Land

Das Wetter:

Das Wetter zeigte sich während des gesamten Aufenthaltes in Syrien von einer abwechslungsreichen Seite. Es war vor allem durch viel Sonnenschein geprägt. Wir durften aber auch Regen und Sandstürme erleben. Diese unterschiedlichen Wetterlagen ermöglichten eindrucksvolle Sonnenuntergänge, die wohl niemand von uns vergessen wird. Bei dem schönsten Sonnenuntergang, den wir beobachten konnten, färbte das durch die dichte Wolkendecke am Horizont reflektierte Licht die gesamte Basilika glutrot ein. Zu schade, dass die Fotoapparate dies nicht allzu gut wiedergeben konnten.



Foto 41 - 44: Wetterimpressionen von Resafa

Krankheitsgeschichte:

Trotz umfangreicher Vorsichtsmaßnahmen wurde bei dieser Messkampagne ausnahmslos jeder, der eine mehr und der andere weniger, außer „Gefecht“ gesetzt. Zu unserem Glück blieb es aber nur bei kleineren Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes bzw. kleineren Schwächen des Kreislaufes, die sich aber bereits nach wenigen Tagen verflüchtigt hatten.

Der Verkehr:

Aus unserem Verständnis heraus, können die syrischen Verkehrsverhältnisse wohl als chaotisch bezeichnet werden. Als wir am Airport International ankamen und in das DAI fuhren, schien alles noch geregelt abzulaufen. Als wir am nächsten Tag die Verkehrsverhältnisse in

Damaskus zu spüren bekamen, war uns nicht ganz wohl bei dem Gedanken die 350 km lange Strecke nach Resafa zurücklegen zu müssen. Auf dem Weg nach Resafa stellten wir immer wieder fest, dass die großen Busse schneller fahren als so mancher PKW.



Foto 45 und 46: Verkehrschaos in Syrien

Besonders bemerkenswert war auch die Vielfalt an alten Fahrzeugen, die in relativ gutem Zustand waren. Bei einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 180 mm im Jahr (Damaskus) bleibt nicht viel Feuchtigkeit, um die Fahrzeuge mit Rost zu schädigen. Neben den alten Fahrzeugen fielen uns aber auch die phantasievoll verzierten Kleinbusse auf, mit denen ein großer Teil des Nah- und Fernverkehrs bewältigt wird.



Foto 47 - 49: Beeindruckende Fortbewegungsmittel

Die Menschen:

Die Menschen, die wir trafen, waren uns gegenüber sehr freundlich und hilfsbereit eingestellt.



Foto 50 und 51: Syrische Bekanntschaften

Die Beduinen, die uns bei unseren Arbeiten unterstützten, haben sich uns gegenüber sehr aufgeschlossen gezeigt. Besonders erwähnenswert ist die Gastfreundlichkeit, die wir bei ihnen erfahren durften. Die Beduinen, die in der Nähe der Stadt Resafa siedelten, hatten sich hier fest niedergelassen und der durch die Antiken Verwaltung beauftragte Verwalter der Stadt war auch gleichzeitig der Älteste des „Klans“. Er hatte somit nicht nur die Verantwortung für das Grabungshaus, sondern auch für die bereits beträchtlich angewachsene Siedlung. Vergleichbar mit einem Bürgermeister legt er auch fest, wer welche Tätigkeiten in dieser Gemeinschaft übernimmt.

10.2 Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2006

von D. Kowoll und A. Sternberg

1. Geplanter Ablauf

2. Materialliste

3. Reiseberichte

Tagesberichte

Gemeinsame Essen in Resafa

Impressionen von der Basilika A und der Stadt Resafa

Tierische Freunde in Resafa

1. Geplanter Ablauf

(Stand: 21.08.2006)

Teilnehmer UniBerlin / DAI: Prof. Dr. Dorotheé Sack u.a.**Teilnehmer UniBw:** Hans Heister (Hst), Wolfgang Liebl (Li), Manfred Stephani (Sti),
Dennis Kowoll (Ko), Armin Sternberg (St)

Datum	Tätigkeiten	Personen	Instrumente / Gerät
Mi. 06.09.	Anreise von München nach Damaskus	alle Teilnehmer UniBw ¹	Übernachtung DAI
Do. 07.09.	Übernahme des Gerätes Organisation der Weiterfahrt nach Resafa Besuch MilAtt OTL Lomp Event. Einkauf von Lebensmittel	Hst, Li Hst Hst alle Teilnehmer	Transportmittel (DAI) Transportmittel (DAI)
Fr. 08.09.	Weiterfahrt nach Resafa Beziehung der Unterkünfte	alle Teilnehmer	Transportmittel (DAI) bzw. Bus
Sa. 09.09.	Einrichtung des Gerätelagers Überprüfung des Instrumentariums Besprechung / Organisation der Messkampagne, Koordination der Messarbeiten UniBerlin / DAI	alle Teilnehmer Li, Ko, St alle Teilnehmer + Uni Berlin / DAI	
So. 10.09.	Einrichtung GPS Ref. Station, Programmierung der Instrumente, Erkundung und Aufdeckung aller Messpunkte, Zustandsüberprüfung, Ergänzung (Vermarkung) Erkundung der Messarbeiten UniBerlin / DAI	alle Teilnehmer Hst, Li, Ko, St Sti, Li, Hst	2 x GPS System 1200 + Tachymeter , 2 Stative, Fluchtstäbe etc. Vermarktungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder Digital-Kamera GPS Rover
Mo. 11.09.	Wie 10.09. Messunterstützung UniBerlin / DAI	Hst, Li, Ko, St Sti, (Li)	wie 10.09.
Di. 12.09.	Wie 11.09. Zusätzlich: Zusammenstellung der Erkundungsergebnisse Besprechung: Festlegung Messablauf Messunterstützung UniBerlin/DAI	Hst, Li, Ko, St alle Teilnehmer + Uni Berlin / DAI Sti, (Li)	wie 10.09

¹ Manfred Stephani: Eigene Anreise vom 02.09. – 23.09.2006

Mi. 13.09.	Einmessung der neu vermarkten Punkte	Ko, St,	TCRP 1201, 5 Stative, Reflektoren NA 3003, 2 Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Erkundung des Anschluß – Nivellements Al Raqua	Hst, Li	PKW, Handheld GPS, Unterlagen (noch zu besorgen)
	Messunterstützung UniBerlin/DAI	Sti +	
	Datensicherung		LapTop, Kartenleser
Do. 14.09.	Wiederholungs-Nivellement Punkte Stufe II (Pkte. 1000, ... , 4000) + III (Pkte. 200 ...)	Ko, St, Hst, Li	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Scannen Innenraum Basilika A Nivellement (Innenbereich)	Ko, St	DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör
	Messunterstützung UniBerlin/DAI	Sti +	
	Datensicherung / Auswertung Nivellements	Li, Ko, St	2 LapTop, Kartenleser
Fr. 15.09.	Ruhetag / Exkursion	Alle Teilnehmer + Uni Berlin / DAI	
Sa. 16.09..	Überprüfung der Messergebnisse, Auswertung der Nivellements, Zusammenstellung und Dokumentation	Ko, St, Li, Hst	2 LapTops, Kartenleser Unterlagen usw.
	Koordinationsbesprechung	Alle Teilnehmer+ Uni Berlin / DAI	
So. 17.09.	Wiederholungs-Nivellement Punkte Stufe II (Pkte. 1000, ... , 4000) + III (Pkte. 200 ...)	Ko, St, Hst, Li	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm
	Scannen Innenraum Basilika A Nivellement (Innenbereich)	Ko, St	DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör
	Messunterstützung UniBerlin/DAI	Sti +	
	Datensicherung / Auswertung Nivellements	Li, Ko, St	2 LapTops, Kartenleser

Mo. 18.09.	Nivellement Stufe IV (Basilika A) Pkte. 300 ..., 400 ..., 500 ..., 600 ... Scannen Innenraum Basilika A Datensicherung / Auswertung	Ko, St , Hst, Li, Sti Ko, St,	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör LapTop, Kartenleser
Di. 19.09..	Nivellement Stufe IV (Basilika A) Pkte. 300 ..., 400 ..., 500 ..., 600 ... Scannen Innenraum Basilika A Datensicherung / Auswertung	Ko, St , Hst, Li, Sti Ko, St,	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör LapTop, Kartenleser
Mi. 20.09.	Nivellement Stufe IV (Basilika A) Pkte. 300 ..., 400 ..., 500 ..., 600 ... Scannen Innenraum Basilika A Datensicherung / Auswertung	Ko, St , Hst, Li, Sti Ko, St,	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör LapTop, Kartenleser
Do. 21.09.	Nivellement Stufe IV (Basilika A) Pkte. 300 ..., 400 ..., 500 ..., 600 ... Scannen Innenraum Basilika A Datensicherung Messunterstützung UniBerlin/DA	Ko, St, Li, Hst Ko, St Sti +	NA 3003, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm DNA03, Inv.-Code-Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm HDS3000, Zubehör LapTop, Kartenleser
Fr. 22.09.	Ruhetag / Exkursion	Alle Teilnehmer + Uni Berlin / DAI	
Sa. 23.09.	Auswertung, Registrierung, Datensicherung, Dokumentation Koordinationsbesprechung	Ko, St, Alle Teilnehmer+ Uni Berlin / DAI	

So. 24.09.	Scannen Außenraum Basilika A Datensicherung Messunterstützung UniBerlin/DAI	Ko, St, Li, Hst Ko, St, Li,	Scanner HDS 3000 + 1 Stativ, TCRP 1201, 5 Stative, Reflektoren
Mo. 25.09.	Scannen Außenraum Basilika A Tachymeterscan oder Anschluß-Nivellement Messunterstützung UniBerlin/DAI Datensicherung	Ko, St Li, Hst Ko, St, Li, Ko, St, Li	Scanner HDS 3000 + 1 Stativ, TCRP 1201, 5 Stative, Reflektoren oder NA 3003
Di. 26.09.	Scannen Außenraum Basilika A Tachymeterscan oder Anschluß-Nivelement Messunterstützung UniBerlin/DAI Datensicherung	Ko, St Li, Hst Ko, St, Li Ko, St, Li,	Scanner HDS 3000 + 1 Stativ, TCRP 1201, 5 Stative, Reflektoren LapTops
Mi. 27.09.	Auswertung, Registrierung, Datensicherung, Dokumentation Abschlussbesprechung	Ko, St, Li Alle Teilnehmer+ Uni Berlin / DAI	LapTops
Do. 28.09.	Messprojekt abschließen, Punkte abdecken, Packen	Ko, St, Li, Hst	
Fr. 29.09.	Rückreise Damaskus über Palmyra		Transportmittel
Sa. 30.09.	Übergabe des Instrumentariums an die Deutsche Botschaft Zur freien Verfügung		Transportmittel
So. 01.10.	Rückreise Damaskus – München	alle Teilnehmer	

Gerätetransport:

Dennis Kowoll, Armin Sternberg
 Anfahrt nach Bonn BMVg, IDT 3 bis 21.August.2006
 Bonn – Damaskus, Deutsche Botschaft MilAttStab durch
 IDT 3

2. Materialliste

Bereich	Gegenstand	InventarNr GeoLab	Anzahl
Allgemein	alle Bedienungsanleitungen		
	Multimeter		1
	Werkzeug Satz		1
	Sicherungen Satz		1
	USB-Multicardreader		1
	Schutzhauben, Müllsäcke		div.
	Zargeskisten		8
	Linienputzmittel, opt. Tücher		div.
	Pinsel		div.
	Alufolie		1
	Paketschnur		1
	LED-Stirnlampe		2
Erkundung			
	Tablet PC Microport Colibri	11 4 33 0	1
	Bolzenschlüssel gem. A-35		5
	Pressluft in Spraydose		4
	Kreide, weiß, Pck		1
	Textilklebeband		1
	Markierstift Edding		4
	Handbesen		1
	Bürste		1
	Spachtel		1
	Körner oder Meißel		1
	Hammer		1
	Reisefluchtstäbe im Satz		2
	Spinnen		5
	Feldbuchrahmen A4 mit Feldtasche		2
Vermarkung			
	Hilti Akku-Bohrmaschine	13 3 36 0	1
	Schnellbinder-Zement		2
	Mischgefäß für Zement		1
	Wasserkarister		1
	Spezialvermarkungen Resafa		div.
	Standard-Vermark.		je 10
	Niv-Bolzen klein, Messing		6
	VideoCamcorder	09 8 01 0	1
	Beamer	09 7 10 0	1
	Papierausdrucke Netzpläne		je 5
	div. Montagmaterial		
	Makita Akkuschauber	13 3 37 0	1

Bereich	Gegenstand	Inventar/ GeoLab Nr.	Anzahl
Nivellement			
	DNA 03	01 3 24 0	1
	NA 3003	01 3 18 0	1
	GIF 10	0 12 24 2	1
	Invar Code-Latten 2m	01 3 15 0	3
	Kurzlatte 60cm, Lattenrichter		1
	Frösche		3
	Feldschirme		2
	Distanzkugel für Aufsatz NivLatte		4
	Massband 30m		1
	Zollstock		2
	Rollbandmaß 2m		2
	Spanngurte 5m, 2.5m		4
	Reepschnur		3
	Zelthaken, -heringe		8 + 3
Tachymetrie			
	TCRP 1201 Smart Station	05 3 42 0	1
	TPS Griff für Smart Station		1
	Thermometer		2
	Barometer		2
	Feldschirm		1
	Stative, Aluminium		6
	Lotstab mit Leica-Zapfen		1
	Präzisions-Reflektoren GPH1P	05 5 66 0, 05 5 67 0	4
	ZNL	01 6 05 0	1
	Corner Cube 1.5" Reflektor		2
	Speicherkarte 32MB		1
GPS			
Referenz	Pfeilerplatte Wild	02 9 0 60	1
	ATX 1230 Antenne	05 3 44 3	1
	GTX 1230 Controller, Terminal	05 3 42 2	1
	Antennenkabel 2m für Datenfunkmodem		1
	Solar-Stromversorgung, Batt 12Ah		1
	Datenfunkgerät mit Antenne		1
	Adapter CF nach PCMCIA		1
	Speicherkarte 32MB		1

Bereich	Gegenstand	InventarNr GeoLab	Anzahl
Rover			
	Rucksack		1
	ATX 1230 Antenne	05 3 43 3	1
	GTX 1230 Controller, Terminal	05 3 43 2	1
	GEB 70	05 3 34 1	1
	Lotstab 2m, 5/8" Gewinde		1
	Halter für Terminal am Lotstab		1
	Spinne		1
	Datenfunktgerät mit Antenne		1
	Bandmaß für Antennenhöhenbest.		1
	Speicherkarte 32MB		1
	Adapter CF nach PCMCIA		
Ersatz			
	CF-Speicherkarten	05 3 42 2	2
	PCMCIA-Speicherkarte		1
Laserscanning			
	HDS 3000, 2 Leica Akku	14 1 25 0	1
	Laptop DELL	11 4 77 0	1
	Cyra Targets		10 + 10
	div. Adapter für Targets, spez. Resafa		
	Notstromaggregat Honda 350 W	13 2 37 0	1
	Schutzhaube, pink f. HDS 3000		1
	Spezialkabel 12V		1
Datensicherung			
	Administrator-Passwörter		
	Auto Batterie 80Ah		1
	Batt 12Ah		1
	Batt 24Ah		1
	Feldrechner Kontron, auch 12V Betrieb	z.B. 11 4 29 1	1
	Feldrechner Kontron, auch 12V Betrieb	z.B. 11 4 29 2	1
	12>>220V Wandler		1 (3)
	Ladegerät 12V Bosch		2
	Kabeltrommel 220V		2
	USB Sticks		4
	Externe Festplatte USB	?	1
	DVD+ -Rohlinge		10
	12V Kabel-Paar , rot, blau		4
	220V Verlängerungskabel		1
	Dreifachsteckdose 220V		1
	Y-Kabel, Leica, RS 232		1
	Stativ-Stern		1
	Büro-Utensilien		div.

3. Reisebericht



Dieser Reisebericht umfasst eine allgemeine Erläuterung und Einordnung der Messkampagne „Resafa 2006“, den typischen Tagesablauf in Resafa, sowie ausführliche Berichte zu den einzelnen Tagen während der Messkampagne vom 06.09. bis zum 06.10.2006.

Das Gesamtprojekt in Resafa wird von dem Deutschen Archäologischen Institut (DAI) unter der Leitung von Frau Prof. Sack durchgeführt.

Die Diplomarbeit zur geodätischen Bestimmung von Deformationen an der Basilika A ist eines von fünf Teilprojekten, wobei alle Übrigen einen archäologischen Hintergrund aufweisen. Insgesamt nahmen siebzehn Personen mit verschiedenen Aufenthaltszeiten an der Kampagne 2006 teil.

Nachfolgend wird der typische Tagesablauf in Resafa geschildert. Am 21. September erfolgte die Zeitumstellung auf die Winterzeit. Folglich sind die darauf folgenden Zeiten um eine Stunde, gegenüber den unten aufgelisteten, nach vorne gerückt.

Die täglichen Mahlzeiten wurden von Nassa, der zweiten Frau von Ahmed, dem Familienoberhaupt der in Resafa ansässigen Beduinenfamilie zubereitet und waren immer sehr umfangreich und schmackhaft.

- 05.00 Uhr - Wecken durch die Leiterin Frau Prof. Sack
- 05.20 Uhr - Sonnenaufgang
- 05.30 Uhr - Kleines gemeinsames Frühstück
Hierbei wurden neben Tee süße und salzige Gebäcke serviert
- 06.00 Uhr - Arbeitsphase 1
- 08.30 Uhr - Großes gemeinsames Frühstück
Das eigentliche Frühstück umfasste neben dem obligatorischen Tee auch Brot, Eier, Wurst, Käse und Obst.
- 09.15 Uhr - Arbeitsphase 2
- 13.30 Uhr - Gemeinsames Mittagessen
Dieses bestand immer aus einer Suppe und anderen Kleinigkeiten.
- 14.00 Uhr - Siesta
Die Siesta war erforderlich, da die Temperaturen um die Mittagszeit teilweise unerträglich waren und selbst Thermometer mit einem Maximalwert von 50 Grad, im Schatten überlastet waren und keinen Wert mehr anzeigten. Nachdem das Gerät eingetroffen war, musste die Siesta, zeitlich bedingt, jedoch meistens entfallen.
- 16.00 Uhr - Gemeinsame Kaffee- bzw. Teerunde mit Gebäck
- 16.30 Uhr - Freie Verfügung
Bis zum Eintreffen des Gerätes wurde die Zeit meistens verwendet, um die Arbeiten vom Vormittag zu prüfen und auszuwerten. Ab der Ankunft wurde meistens nach dem Mittagessen bis zum Sonnenuntergang gemessen, um die gesteckten Ziele zu erreichen.
- 19.00 Uhr - Sonnenuntergang
- 19.30 Uhr - Gemeinsames Abendessen
Das Abendessen war die Hauptmahlzeit am Tag. Es umfasste verschiedenste arabische und europäische Köstlichkeiten.
- 20.30 Uhr - Freie Verfügung
In dieser Zeit wurden die Messungen ausgewertet, eine Abschlussbesprechung durchgeführt und die weitere Planung für den folgenden Tag besprochen.

Tagesberichte

Mittwoch, 06. 09. 2006

Die Messkampagne begann am Mittwochmorgen um 06.15 Uhr am Geodätischen Labor der Universität der Bundeswehr München. Dieses war als Treffpunkt für drei der vier Kampagnenteilnehmer, Wolfgang Liebl, Dennis Kowoll und Armin Sternberg bestimmt worden. Anschließend wurde Professor Hansbert Heister, der vierte Teilnehmer, auf dem Weg zum Flughafen München daheim abgeholt. Der Abflug erfolgte pünktlich um 08.35 Uhr. Nach 55 Minuten Flugzeit befanden wir uns um 09.30 Uhr auf österreichischem Territorium am Flughafen Wien, unserem ersten Zwischenstopp. Aufgrund einer 40minütigen Verspätung des Weiterfluges Richtung Damaskus erfolgte der Start erst um 11.20 Uhr. Günstige Windverhältnisse ließen diese Verspätung bis zur Landung allerdings auf nur noch 10 Minuten schrumpfen. Um 15.15 Uhr Ortszeit (+ 1h MEZ) erreichten wir unser zweites Zwischenziel auf dem Weg Richtung Resafa, Damaskus. Die Zollkontrollen und der Empfang des persönlichen Gepäcks, das bereits auf uns wartete, verliefen reibungslos. Der fünfte Geodät Dr. Manfred Stephani von der Technischen Universität München und Martin Gussone ein weiterer Kampagnenteilnehmer, erwarteten uns bereits in der Ankunftshalle. Mit einem Kleinbus des DAI war somit auch der weitere Transfer zum Hotel Sultan, nur wenige 100 Meter vom Ortskern gelegen, sichergestellt. Dort angekommen wurden die Unterkünfte, bestehend aus zwei Zweibett- und einem Dreibettzimmer, bezogen. Nach dem Einrichten der Zimmer waren alle neugierig auf die ersten Einblicke in die Stadt Damaskus. Sogleich machten wir uns auf zu einem Rundgang durch die Altstadt. Unter anderem besichtigten wir dabei die Umayyaden Moschee und mehrere der berühmten Souks, den kommerziellen Vierteln mit den vielen kleinen Geschäften. Den ersten erlebnisreichen Tag ließen wir im Old Town, einem bekannten Restaurant in Damaskus ausklingen, wo zum ersten Mal die kulinarische Vielfalt der syrischen Küche bewundert werden konnte.



Abb. 6: Souk in der Innenstadt von Damaskus



Abb. 5: Schrein von Johannes dem Täufer innerhalb der Umayyaden Moschee

Donnerstag, 07.09.2006

Nach einer ersten ruhigen Nacht in der syrischen Hauptstadt begann der zweite Tag um 08.00 Uhr mit einem Frühstück im Hotel. Priorität hatte an diesem Tag die Auslösung des Vermessungsgerätes vom hiesigen Zoll oder zumindest die Erlangung näherer Informationen über den zu erwartenden Zeitpunkt. Hierzu war für 09.00 Uhr ein Termin mit dem Militärattachè OTL Lomp an der Deutschen Botschaft vereinbart, an dem Heister und Sternberg teilnahmen. Nach Aussage des Militärattachès stehe das Gepäck frühestens am Sonntag den 10.09, spätestens jedoch am Montag den 11.09. zur Abholung an der Deutschen Botschaft bereit, da noch eine stichprobenartige Kontrolle des Gerätes durch den syrischen Geheimdienst ausstehe. In der Zwischenzeit kümmerten sich die übrigen Kampagnenteilnehmer um den Wechsel von Geld und die Sicherstellung weiterer Versorgungsgüter. Um 13.00 Uhr fand eine gemeinsame Besprechung über den weiteren Ablauf und etwaige Vorgehensweisen im Hotel Sultan statt. Um die verlorene Zeit so gering wie möglich zu halten, wurde wiederum eine Splittung des Teams festgelegt. Liebl, Kowoll und Sternberg sollten sich demnach am darauf folgenden Freitag Richtung Resafa begeben, um erste Erkundungen durchzuführen. Heister und Stephani verblieben in Damaskus um den Geräteempfang sicherzustellen und ein Fahrzeug für dessen Transport zu organisieren. Nach einem kurzen Imbiss und anschließender Siesta besorgten wir gemeinsam landesnetzinterne SIM – Karten, um die Verbindungsaufnahme für die kommenden Tage zu gewährleisten und Erkundungsmaterial für die Arbeiten in Resafa.

Im Restaurant Beit Jabri trafen wir uns am Abend zu einem landestypischen Abendessen. Hier standen zwar keine alkoholischen Getränke auf der Speisekarte, die wohlschmeckende und landestypische Wasserpfeife war jedoch mehr als eine Entschädigung.



Abb. 7: Restaurant Beit Jabri



Abb. 8: landestypisches Abendessen

Freitag, 08.09.2006

Der Freitag sollte mit einem Frühstück um 07.00 Uhr im Hotel beginnen, um so zeitig wie möglich die Fahrt nach Resafa antreten zu können. Das Frühstück verzögerte sich jedoch um 40 Minuten, da wir den Kellner noch schlafend vorfanden. Dieser hatte an jenem arabischen

Freitag, welcher dem Sonntag in der westlichen Welt entspricht, anscheinend nicht mit so frühem Besuch gerechnet. Nach einer schnellen Stärkung und dem restlichen Verpacken des eigenen Gepäcks fuhren wir um 08.30 Uhr Richtung Resafa, welches circa 380 km in nordöstlicher Richtung von Damaskus liegt. Die Fahrt führte über Homs und Salamiyya. Nach 5 Stunden Fahrtzeit erreichten wir das Grabungshaus des DAI in Resafa um 13.30 Uhr. Hier trafen wir die weiteren Kampagnenteilnehmer bei Ihrem alltäglichen gemeinsamen Mittagessen an. Nach dem Ausladen des Fahrzeugs und einer ersten kurzen Vorstellung startete um 17.00 Uhr eine Exkursion, welche an jedem Freitag von den Teilnehmern durchgeführt wird, zu einem nahegelegenen römischen Limeskastell.



Abb. 9: Grabungshaus des DAI



Abb. 10: Siesta im Arbeitsraum

Samstag, 09.09.2006

Nach der ersten Nacht in Resafa, deren Übernachtungsmöglichkeit sich ein wenig von den klimatisierten Räumen des Hotels in Damaskus unterscheidet und die Frage zu „Schlafen unter freiem Himmel oder in überhitzten Räumen?“ aufwirft, starteten wir unsere ersten geodätischen Tätigkeiten. Nur mit spärlichem Material ausgestattet, ging es an die Erkundung und Aufdeckung der Punkte der Messkampagne „Resafa 2002“. An diesem Tag konnten circa 90% der Punkte aufgedeckt werden. Wir stellten fest, dass vier Punkte (205, 207, 306, 4000), vermutlich durch Vandalismus, entfernt worden waren. Zwei weitere Punkte waren durch größere Gesteinsbrocken verdeckt.

Am Nachmittag begutachteten wir unter Führung von Frau Prof. Sack die äußeren Punkte Syr2 und Syr3. Diese Gelegenheit nutzte die Leiterin, um uns in die Außenanlage einzuweisen. Weiterhin besichtigten wir die durchgeführten archäologischen Ausgrabungen im Umland von Resafa. Hier bekamen wir einen Einblick in die archäologischen Tätigkeiten und die Vorgehensweise bei der Bearbeitung eines Ausgrabungsschnittes.

Nach dem Abendessen wurde eine Arbeitsbesprechung im Grabungshaus abgehalten. Neben der Berichterstattung über den jeweiligen aktuellen Stand der einzelnen Teilprojekte erhielten wir Geodäten auch eine allgemeine Einweisung und einen Überblick über das Gesamtprojekt.



Abb. 11: Ausgrabungen im Umland von Resafa

Sonntag, 10.09.2006

Vorrang hatte heute die Erkundung und Aufdeckung der restlichen vorhandenen Punkte. Dabei gelang es, die verdeckten Punkte freizulegen. Letztendlich fehlten von allen Punkten der Messkampagne „Resafa 2002“ nur die vier erwähnten Punkte 205, 207, 306 und 4000. Zusätzlich war der Punkt 206 durch Fremdeinwirkung so beschädigt, dass eine Neuzementierung beschlossen wurde. Nach Abschluss dieser Erkundungsphase wurden die Standpunkte für die Scanneraufnahme im Innen- und Außenraum der Basilika A geplant.

Neben den Messungen zur Deformationsbestimmung ist die Messunterstützung für die Uni Berlin ebenfalls integraler Bestandteil dieser Messkampagne. Hierfür erkundeten und vermarkten wir vier Punkte außerhalb der Stadtmauer von Resafa. Diese sollen als Ausgangsposition für die Aufnahme einzelner Teile der Stadtmauer durch die Archäologen dienen, um nähere Aussagen über Bauzeiten und mögliche Reparaturmaßnahmen zu treffen.

An diesem Tag mussten zwei negative Punkte überwunden werden. Zunächst hatten wir den ersten Krankheitsbedingten Ausfall zu beklagen, welcher auf die extremen äußeren Bedingungen zurückzuführen ist. Zusätzlich erreichte uns die Nachricht aus Damaskus, dass mit dem Empfang des eigentlichen Vermessungsgerätes frühestens am morgigen Montag zu rechnen sei.



Abb. 12: beschädigter Punkt 206



Abb. 13: fehlender Punkt 306

Montag, 11.09.2006

Dieser Tag wurde überschattet vom zweiten Ausfall aufgrund starker Magen-Darm-Beschwerden und extremen äußeren Temperaturen mit 46 Grad im Schatten um 09.00 Uhr und weit über 50 Grad im Schatten zur Mittagszeit. Zusätzlich erhielten wir die Nachricht über die weitere Verzögerung der Abholung des Gepäcks um einen Tag. Der noch einsatzbereite Teil des Teams nutze die Zeit zur Erkundung und Vermarkung der restlichen Punkte an der Stadtmauer für die Uni Berlin.



Abb. 14: Vermarkung und Punktdokumentation für die Uni Berlin

Dienstag, 12.09.2006

Am Morgen fand eine seit Tagen geplante Führung durch die historischen Ruinen der Stadt Resafa unter der Leitung von Frau Prof. Sack statt. Wir schlossen uns dabei einer Gruppe von Studenten und Lehrkörpern der Uni Köln an, die sich für diesen Rundgang angekündigt hatten. Uns konnten dadurch noch einmal anschaulich die Bedeutung der Stadt Resafa und verschiedene Bauphasen an einzelnen Gebäuden, resultierend aus unterschiedlichsten geschichtlichen Ereignissen, nähergebracht werden. Im Laufe des Tages wurde ein

Sandsturm, der sich schon zu früher Stunde angekündigt hatte, immer stärker. Wir verbrachten die weitere Zeit im geschützten Grabungshaus und widmeten uns erfolgreich der Reparatur des einzig vorhandenen Radios. Aus Damaskus erreichten uns abermals schlechte Nachrichten. Aufgrund eines Anschlages auf die amerikanische Botschaft, musste der Geräteempfang erneut verschoben werden.



Abb. 15: Führung durch die Basilika A



Abb. 16: Sandsturm in Resafa

Mittwoch, 13.09.2006

Heute war nach einigen Tagen unser gesamtes, in Resafa anwesendes Team wieder einsatzfähig. Jedoch weiterhin ohne Gerät ausgestattet, was sich im Laufe des Tages auch nicht ändern sollte. Nach Aussage der Deutschen Botschaft sei frühestens am Sonntag mit dem Geräteempfang zu rechnen. Dennoch nutzten wir die Zeit, um die Uni Berlin bei diversen Messtätigkeiten zu unterstützen. Ein Teil von uns ging den Archäologen bei der tachymetrischen Aufnahme der Südseite der Stadtmauer zur Hand, die anderen wurden bei der Bauaufnahme zweier Türme der Stadtmauer tätig. Das Gerät beschränkte sich dabei auf Maßband, Zollstock und Zeichenmaterial. Gegen Abend begaben wir uns eigenmächtig auf einen Erkundungstrip Richtung der großen Zisternen. Diese riesigen Wasserspeicher waren vor mehr als 1300 Jahren errichtet worden. Am Abend fanden sich alle Kampagnenteilnehmer bei Hamid, dem Nachbarn des Grabungshauses, zum Abendessen ein. Hamid, der Wächter der Ruinen, hatte sich eine Einladung zu einem typisch arabischen Essen nicht nehmen lassen. Uns erwartete ein große Liegefläche, angelegt mit Teppichen und Kissen nahe seinem Haus, auf der jeder einen gemütlichen Platz einnehmen konnte, um sich anschließend von dem Gastgeber und dessen Familie bedienen zu lassen. Nach arabischer Tradition speisen der Gastgeber und sein Anhang erst im Anschluss an das Mahl seiner Gäste.



Abb. 17: arabisches Abendessen bei Hamid

Donnerstag, 14.09.2006

Die Gerätesituation blieb unverändert. Die Unterstützungstätigkeiten konnten aus diesem Grund in vollem Umfang fortgesetzt werden. Am Schnitt 143, einem Teilprojekt der Kampagne, wurden Grabungsfunde in Form von Mauern, Wandstücken oder Estrich tachymetrisch aufgenommen. Darüber hinaus sind zur Entzerrung von Photogrammetrischen Aufnahmen die Koordinaten von Passpunkten bestimmt worden. Weiterhin sind die Einmessskizzen der Polygonpunkte rund um die Stadtmauer mit Fotos erweitert worden, um ein Auffinden zu vereinfachen. Am Nachmittag nahm ein Teil von uns an einer Exkursion nach Raqqa und dem nahe gelegenen Herakla, einer historischen Ruine, teil.

Freitag, 15.09.2006

Nach einer verlängerten Nachtruhe, startete ein Großteil der Kampagnenteilnehmer auf die allwöchentliche Exkursion. Ziel war eine Grabungskampagne nahe der türkischen Grenze.

Ein Teil unseres Teams verblieb jedoch im Grabungshaus um mögliche Scannerstandpunkte festzulegen und die Einmessskizzen der Polygonpunkte rund um die Stadtmauer zu vervollständigen. Das Hauptaugenmerk lag allerdings auf der Wiederherstellung der vollständigen körperlichen Leistungsfähigkeit.



Abb. 18: Zisterne



Abb. 19: photogrammetrische Aufnahme am Schnitt 143

Samstag, 16.09.2006

Der Schwerpunkt dieses Tages lag in der genauen Festlegung und Dokumentation der Scannerstandpunkte mit den entsprechenden Pass- und Verknüpfungspunkten. Hierzu wurden die lage- und höhenmäßig bereits vorhandenen Punkte mit Zielzeichen ausgestattet, zusätzliche Verknüpfungspunkte festgesetzt und geeignete Scannerstandpunkte auf dem Boden markiert. Anschließend wurden die Ergebnisse in einem Übersichtsplan grafisch aufbereitet. Zusätzlich wurden Vorbereitungen getroffen, um am folgenden Tag als Dienstleistung für die Uni Berlin einen Polygonzug um die Stadtmauer von Resafa aufzunehmen und auszuwerten. Dazu wurden Übersichtspläne erstellt, der Messablauf festgelegt und das Material der Uni Berlin, bestehend aus einem Tachymeter TCRA1103 von Leica, zwei Reflektoren mit Zubehör und zwei Stativen auf Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit überprüft.

Sonntag, 17.09.2006

Wie bereits am vorigen Tag geplant, erfolgte die Messung eines beidseitig angeschlossenen Ringpolygonzuges mit 13 Neupunkten entlang der äußeren Stadtmauer. Die Punkte Al Mundir (103) und Syr2 Ex (100) wurden als bekannter Anschluss verwendet. Die Auswertung der Beobachtungen wurde mit Hilfe des Programms CAPLAN durchgeführt. Zwei Polygonpunkte konnten anschließend mit Punktkoordinaten der Archäologen verglichen werden. Diese hatten vorher einige Punkte im südöstlichen Teil der Stadtmauer bestimmt, um diese von dort tachymetrisch aufzunehmen. Bei der Gegenüberstellung der Koordinaten kam es zu signifikanten Unterschieden, welche auf fehlerbehaftete Messungen der Archäologen zurückzuführen waren.



Abb. 20: Polygonzugmessung für Uni Berlin



Abb. 21: Stativaufstellung über Syr2Ex

Aus Damaskus erreichten uns sehr schlechte Nachrichten. Aufgrund weiterer Verzögerungen, die von Prof. Heister als reine Hinhaltenaktik des hiesigen Zolls gedeutet wurden, standen eine vorzeitige Abreise und die damit verbundene Änderung der Diplomarbeit zur Diskussion.

Montag, 18.09.2006

Da am Vormittag die Gerätesituation weiterhin offen war, erklärten wir uns bereit, die fehlerbehafteten Messungen der Archäologen zu wiederholen. Die Verbesserung der Punktkoordinaten war für die Archäologen besonders wichtig, da diese als Ausgangsbasis für eine bereits stattgefundenene Polaraufnahme der Stadtmauer genutzt worden sind. Die Neubestimmung der Punkte erfolgte als beidseitig angeschlossener Polygonzug mit fünf Standpunkten und einem Zwischenblick. Auch diese Auswertung tätigten wir in CAPLAN.

Gegen Nachmittag erreichte uns die nicht mehr für möglich gehaltene Nachricht, dass nach einem Gespräch von Prof. Heister mit dem Chef der syrischen Zollbehörde das Vermessungsgerät am nächsten Tag empfangen werden kann.

Dienstag, 19.09.2006

Das DAI plante für Mittwoch den 20.09. einen neuen Grabungsschnitt außerhalb der Stadtmauer von Resafa zu beginnen. Als Vorbereitung darauf wurden im Umkreis vorhandene Punkte des 1977 angelegten Tremi-Netzes mit dem Tachymeter der UniBerlin abgesteckt und neu eingemessen. Parallel dazu wurden von einem Teilnehmer die Daten zur Polaraufnahme der Stadtmauer mit den korrekten Festpunktkoordinaten ausgewertet um eine Nachmessung zu vermeiden. Der Empfang des Gerätes konnte an diesem Tag erneut nicht bewerkstelligt werden, da es abschließend von zwei syrischen Geheimdiensten inspiziert wurde. Als Bedingung für den endgültigen Empfang musste ein Kompromiss ausgehandelt werden,

wonach sämtliche Kisten eingeführt werden können mit Ausnahme der GPS-Kiste. Diese solle bis zur Abreise beim Zoll aufbewahrt werden. Der Empfang der restlichen Kisten wurde für den nächsten Tag festgesetzt.

Mittwoch, 20.09.2006

Nach der gestrigen Absteckung bzw. Einmessung des neuen Grabungspunktes im Tremi-Netz erfolgte dessen Auswertung. Parallel entfernte ein Teil des Teams die Schutzkappen an den vermarkten Punkten, da gegen Abend endlich das Gerät aus Damaskus eintreffen sollte. Weiterhin wurden zwei Einmessskizzen der vergangenen Messkampagne korrigiert.

Gegen 21 Uhr war es endlich soweit. Das restliche Team erreichte mit den verbliebenen zehn Geräteboxen Resafa. Nach dem schnellen Entladen des Transportbusses und einem kleinen Abendmahl kam es zur ersten gemeinsamen Besprechung am Einsatzort. Die grundlegende Lageänderung erforderte eine Neuplanung des Ablaufes, über den sich alle Teilnehmer in den letzten Tagen zu genüge Gedanken gemacht hatten. Um die gesteckten Ziele noch zu erreichen, wurde eine Verlängerung des Aufenthaltes in Resafa um fünf Tage für einen Teil unseres Teams (Kowoll und Sternberg) beschlossen.



Abb. 22 und Abb. 23: Ankunft des Gerätes

Donnerstag, 21.09.2006

Der heutige Tag begann in aller Frühe. Nach der zweiwöchigen Verzögerung des Messbeginns sollten keine weiteren Minuten vergeudet werden. Zunächst wurde eine Einteilung in zwei Messtrupps (Messtrupp 1: Kowoll, Sternberg / Messtrupp 2: Heister, Liebl / Unterstützung in beiden Trupps: Stephani) vorgenommen, welche für die nächsten Tage erhalten bleiben sollte. Den Schwerpunkt bildeten zunächst die Scanneraufnahmen im Innenraum der Basilika A. Es stellte sich heraus, dass die umfangreiche Erkundung und Planung im Voraus sehr hilfreich für den eigentlichen Messablauf waren. Trotz einer Standzeit von durchschnittlich vier Stunden je Standpunkt konnte von drei Standpunkten (Standpunkte S5, S6, S7) die Aufnahme erfolgen. Dabei wurden Auflösungen von 6 x 6 mm für die



Abb. 24 und Abb. 25: eingerichteter Arbeitsraum

Doppelbögen und 12 x 12 mm für die restlichen Flächen der Basilika verwendet. Für die langen Messzeiten sind die Ausmaße der Basilika und die maximale Aufnahmegeschwindigkeit des HDS 3000 von 1800 Punkten pro Sekunde verantwortlich. In den Abendstunden erfolgte die Sicherung und eine erste Sichtung der gewonnenen Daten. Im Anschluss an die Laserscanneraufnahmen wurden an jedem Messtag von Dr. Stephani photogrammetrische Aufnahmen mit den identischen Zielzeichen gemacht, um diese in der Nachbereitung mit den Scannerdaten zu kombinieren.

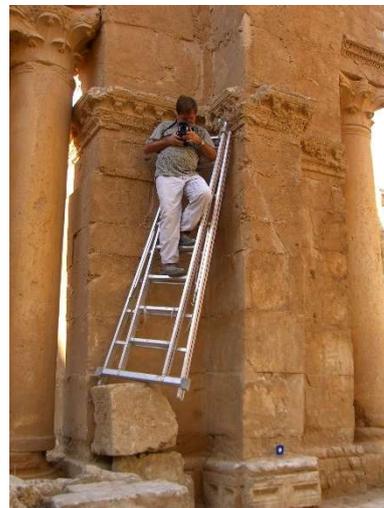


Abb. 26: Scannermessungen im Innenraum Abb. 27: photogrammetrische Aufnahmen

Parallel wurden die nicht mehr vorhandenen Punkte 205, 207, 306 und 4000, der beschädigte Punkt 206 sowie zwei für die Scannermessung notwendige Zwischenpunkte neu vermarktet und der Messablauf zum Einmessen der neu gesetzten Punkte besprochen.

Freitag, 22.09.2006

Das erste Messteam beschäftigte sich mit den Scannermessungen, wobei von dem zentralen Standpunkt S1 auf der Bema (Messzeit ca. sechs Stunden) und anschließend vom Standpunkt S8 in der Mitte des südlichen Seitenschiffes (Messzeit ca. drei Stunden) gescannt wurde. Das

zweite Team führte eine tachymetrische Einmessung der neu vermarkten Punkte 205, 206, 207 und 4000 durch. Hierbei wurden jeweils vier Vollsätze gemessen und sämtliche Korrekturen deaktiviert um unverfälschte präzise Rohdaten zu erhalten.



Abb. 28: Vermarkung der neuen Punkte



Abb. 29: Einmessung der neu vermarkten Punkte

Samstag, 23.09.2006

Der erste Messtrupp konnte Scannermessungen auf drei Standpunkten durchführen. Hierbei wurden die Standpunkte S3 und S4 in dem nördlichen Seitenschiff der Basilika A und der Standpunkt S2 südlich der Apsis im Hauptschiff ausgewählt. Auf diesem Standpunkt erfolgten am Abend eine gemeinsame Präsentation der bisherigen Scannerergebnisse und eine Vorstellung der Möglichkeiten dieser neuartigen Messtechnik für die übrigen Grabungsteilnehmer. Der Trupp Zwei begann an diesem Tag mit dem Präzisionsnivellement im Innenraum der Basilika A. Hierbei wurden 35 Punkte nivelliert, welches beinahe die Hälfte der gesamten Punkte im Innenraum darstellt. Als Messmethode wurde RV mit Hin- und Rückweg ausgewählt.

Sonntag, 24.09.2006

Der zweite Messtrupp konnte das Präzisionsnivellement im Innenraum der Basilika A, mit Ausnahme der Punkte im ehemaligen Bischofssitz abschließen. In diesem fanden zum selben Zeitpunkt die Scannermessungen auf zwei Standpunkten statt. Nach den Messungen und einer erstmaligen Siesta seit Ankunft des Gerätes, wurden alle bisherigen Daten zusammengestellt und eine erste Auswertung durchgeführt. Im Einzelnen wurden die bisherigen Scannerergebnisse über die bestehenden Festpunktkoordinaten registriert und eine erste Verknüpfung der gesammelten Punktwolken durchgeführt.

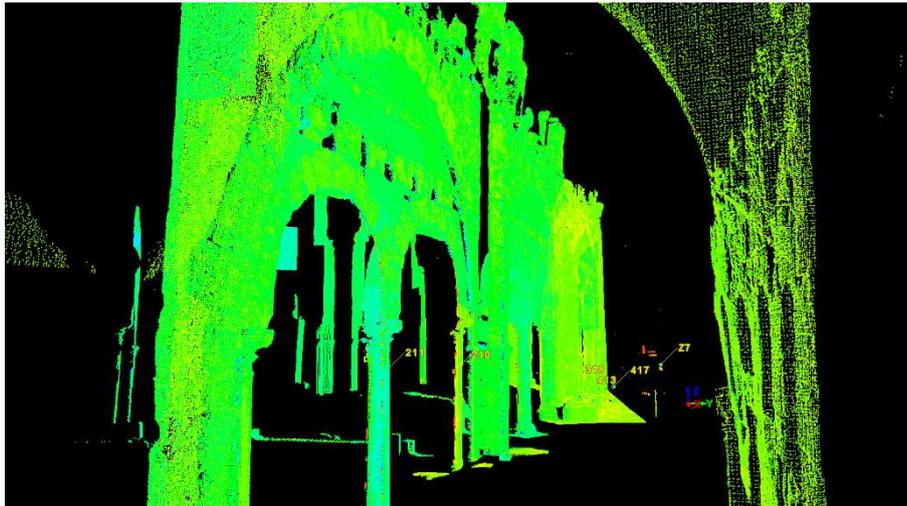


Abbildung 30: Punktwolke von einem Scannerstandpunkt

Die Nivellementergebnisse wurden in CAPLAN eingelesen, die entstandenen Schleifenschlüsse gebildet und eine erste Ausgleichung durchgeführt.



Abb. 31: Nivellement im Innenraum der Basilika A



Abb. 32: Laserscanning im Außenraum der Basilika A

Montag, 25.09.2006

Der zweite Messtruppvollständigte durch Messungen im Bischofssitz und einem Anschluss an den Außenraum das Nivellement im Innenraum. Nach dessen Realisierung konnten auch die Scannermessungen innerhalb der Basilika A zum Abschluss gebracht werden. Vom letzten verbleibenden Standpunkt S9 konnten die restlichen Flächen im Innenraum sowie drei Verknüpfungspunkte in den Außenraum gescannt werden. Diese waren nötig, da im Bereich außerhalb der Basilika die Festpunktdichte für eine Registrierung nicht ausreichten. Aufbauend auf die temporären Verknüpfungspunkte wurde die südliche und westliche Außenwand sowie der Vierstützenbau II trotz eines starken Sandsturmes und einer erzwungenen Pause von fast zwei Stunden von insgesamt vier Standpunkten S11 – S14

gescannt. Für die jeweiligen Verknüpfungsmöglichkeiten wurden ebenfalls temporäre Zielmarken eingesetzt.

Dienstag, 26.09.2006

Ab dem heutigen Tag erfolgten die Messungen im Rahmen der Diplomarbeit nur noch von einem Messtrupp. Von sechs Standpunkten S15 – S20 konnte die Nord- und Ostwand der Basilika A abgescannt werden. Eine höhere Festpunktdichte erlaubte den Einsatz von weniger temporären Verknüpfungspunkten als am Vortag. Die sechs Standpunkte lieferten die restlichen benötigten Daten von der Basilika A. Somit konnten nach dem sechsten Messtag die Scannermessungen abgeschlossen werden. Leider mussten wir an diesem Tag einen erneuten Krankheitsbedingten Ausfall verkraften.

Mittwoch, 27.09.2006

Als Vorbereitung auf das bevorstehende Nivellement im Außenraum mit Punktabständen bis zu 500 m in unwegsamem Gelände fanden erste Messungen über kürzere Distanzen statt. Erstmals kam das DNA 03 von Leica zum Einsatz. Als Messverfahren ist für den gesamten Außenraum RVVR auf Hin- und Rückweg festgelegt worden. Im Anschluss fand die Aufbereitung der Scannerdaten der vergangenen Tage statt. Die großen Datenmengen von insgesamt 21 Standpunkten wurden nochmals gesichert und gesamtheitlich registriert.

Donnerstag, 28.09.2006

Im Außenraum wurde mit dem Nivellement über die Stützpunkte begonnen. Die längeren Strecken und das sehr unebene, nicht sonnengeschützte Gelände sorgten für ein mühsames



Abb. 33: Verabschiedung in Galabias



Abb. 34: gemeinsames Abschiedsfoto aller
Kampagnenteilnehmer

Vorantreiben der Messungen. Insgesamt konnten an diesem Tag ungefähr ein Drittel der äußeren Nivellementlinien aufgenommen werden. Am Abend hieß es Abschied nehmen. Ein Teil der Archäologen sowie ein Teil unseres Teams sollten sich am folgenden Morgen auf die Heimreise über Damaskus begeben. Zu diesem Anlass gab es ein nettes Beisammensein mit persönlichen Geschenken von der Leiterin der Grabungskampagne für die Abreisenden in Form von Galabias, welche für die Region typisch sind. Die Galabia ist ein langes traditionelles Gewand, welches im arabischen Raum sehr verbreitet ist.

Freitag, 29.09.2006

Es galt weiterhin, das Nivellement zu komplettieren. Ein weiteres Drittel der äußeren Nivellementlinien konnte gemessen werden. Am Ende des Tages waren die 1000er und 200er Punkte vollständig erfasst. Zwischendurch wurden endgültig die Heimreisenden verabschiedet. Die Abfahrt Richtung Damaskus erfolgte gegen 10.30 Uhr. Am Nachmittag wurden die bisherigen Nivellementdaten aufbereitet und geprüft.



Abb. 35: Nivellement im Außenraum

Samstag, 30.09.2006

Der Anschluss des Nivellementnetzes an die Höhenfestpunkte an der Außenseite der Stadtmauer musste noch vollbracht werden. Die sehr langen Strecken und vor allem das Hindernis Stadtmauer mit nur wenigen Durchlässen waren der Grund für nur drei von fünf nivellierten Linien an diesem Tag. Am Abend wurden die zusammengefügte Nivellementdaten bis auf die zwei fehlenden Linien komplett ausgewertet. Die Ausgleichung des Höhennetzes deckte drei fehlerhafte Messungen mit bis zu 4/10 mm Differenz im Außenraum und sieben Nivellementlinien mit zu hohen normierten Verbesserungen im Innenraum der Basilika A auf.

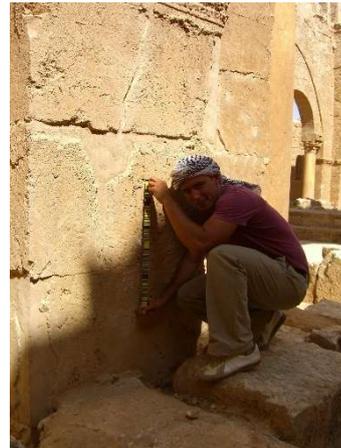


Abb. 36 und Abb. 37: Nachmessungen im Innenraum der Basilika A

Sonntag, 01.10.2006

Nach der ursprünglichen Planung war am heutigen Tag der Rückflug des gesamten Teams vorgesehen. Für den am Freitag aus Resafa abgereisten Teil traf das auch zu. Der Rückflug für die zurück Gebliebenen wurde auf Freitag, den 06. Oktober festgesetzt.

Die restlichen zwei Neumessungen und die Wiederholungsmessungen sollten das Tagespensum sein. Bei Punkt 102, vorhanden in beiden noch ausstehenden Linien, mussten allerdings starke Spuren von Gewaltanwendung festgestellt werden, die ein entfernen der Schutzmutter unmöglich machten. Eine Neusetzung des Punktes wurde nicht durchgeführt, da die Neumessung am Folgetag zeitlich nicht mehr möglich gewesen wäre. Die drei Nachmessungen im Außenraum wurden aus Zeitgründen mit dem Messverfahren RVVR auf nur einem Weg bewältigt. Die Höhendifferenzen im Innenraum sind mit RV über Hin- und Rückweg bestimmt worden.

Montag, 02.10.2006

An diesem Tag bildeten das Sichern, Dokumentieren und Abdecken der gesamten Punkte im Außen- und im Innenraum der Basilika A den Schwerpunkt der Arbeiten. Um die gemessenen und zum Teil neu gesetzten Punkte vor Vandalismus zu schützen, wurden diese, nach dem Aufsetzen der Verschlüsse, mit einer speziellen Beton-Dreck-Wasser-Mischung abgedeckt.



Abb. 38: beschädigter Punkt 102



Abb. 39: Punktabdeckung

Dienstag, 03.10.2006

Der Morgen begann mit der Reinigung des gesamten Gepäcks und der anschließenden Einlagerung, entsprechend dem Hinflug, in die einzelnen Alu-Kisten. Zusätzlich musste die Betonplatte mit den Punkten Syr3 und Syr3Ex neu einbetoniert werden, da diese von den extremen Witterungseinflüssen stark beschädigt und der Erhalt der Festpunkte nicht mehr sichergestellt war. Am Abend erhielten wir als Geschenk für unsere Leistungen ebenfalls eine Galabia. Nach der Verabschiedungsparty wurden die Kisten mit dem Material auf den LKW von Ahmed verladen und verzurrt.



Abb. 40: Abdeckung von Syr2



Abb. 41: Verabschiedung von der Basilika A

Mittwoch, 04.10.2006

Mit dem Aufgang der Sonne und einem kurzen vorgezogenen Frühstück startete unser Rücktransport nach Damaskus zusammen mit Ahmed um 0530. Nach einer Rast mit Tee und arabischem Brot hinter Homs und einer kurzen Gepäckkontrolle durch die heimische Polizei,

erreichten wir die Deutsche Botschaft in Damaskus ohne größere Schwierigkeiten um 12:00 Uhr. Das Gepäck wurde dort unter Aufsicht des MilAtt OStFw Paulus ordnungsgemäß ausgeladen und abgestellt. Zusätzlich erhielten wir die mündliche Zusicherung, dass die Kisten, zusammen mit der noch im Zoll befindlichen GPS-Kiste, am nächsten Tag ausgeliefert würden. Nach der Verabschiedung von Ahmed richteten wir uns für die restlichen zwei Tage erneut im Hotel Sultan ein und begaben uns durch verschiedene Souks der Innenstadt.

Donnerstag, 05.10.2006

Neben den Einkäufen von Souvenirs für Freunde und Familie und der Besichtigung von verschiedenen historischen Gebäuden, genossen wir letztmals die arabische Mentalität, mit der uns entgegengebrachten Freundlichkeit und den für uns Europäer allerdings vollkommen chaotischen Verkehrsverhältnissen. Den letzten Abend in Damaskus ließen wir in einem guten arabischen Restaurant in der Innenstadt ausklingen.



Abb. 42 und Abb. 43: Verkehrsverhältnisse in Damaskus

Freitag, 06.10.2006

Der Flug von Damaskus nach Wien startete pünktlich um 14:55 und landete ebenfalls ohne Verspätung um 18:15. In Wien verlängerte sich unser Aufenthalt zwangsweise um eine halbe Stunde aufgrund technischer Schwierigkeiten der Anschlussmaschine, so dass der Abflug Richtung München erst auf 21:00 angesetzt wurde. Unser lang ersehntes Ziel München erreichten wir schließlich um 22:30 womit die Reise endete.

Gemeinsame Essen in Resafa



Abb. 1: kleines Frühstück



Abb. 2: großes Frühstück



Abb. 3: Mittagessen



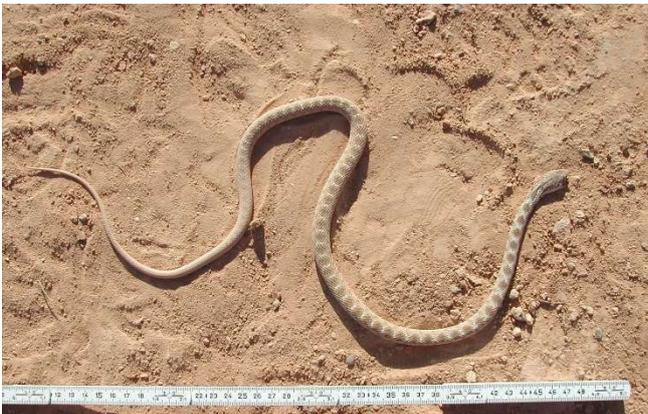
Abb. 4: typisches Abendessen

Impressionen von der Basilika A und der Stadt Resafa





Tierische Freunde in Resafa



10.3 Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2008

von A. Sternberg

- 1. Geplanter Ablauf**
- 2. Materialliste**
- 3. Berichte**
 - 3.1 Fachlicher Reisebericht
 - 3.2 Tagebuchnotizen

1. Geplanter Ablauf

(Stand 11.08.2008)

Teilnehmer UniBw: Hans Heister (Hst), Wolfgang Liebl (Li), Manfred Stephani (Sti),
Armin Sternberg (St)

Datum	Tätigkeiten	Personen	Instrumente / Gerät
Mo. 08.09.	11:00 Uhr Abfahrt Anreise von Neubiberg nach Rimini (ca. 650 km; 6.5 h)	Hst, Li, Sti,	Übernachtung Umgebung Rimini Transportmittel: Mit VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung UniBwM
Di. 09.09.	08:30 Uhr Weiterfahrt Rimini – Brindisi-Port (680 km; 7.0 h)		Übernachtung Brindisi
Mi. 10.09.	11:30 Uhr Fähre Brindisi – Cesme (TML)	Hst, Li, Sti,	VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung
Do. 11.09	23:45 Uhr Ankunft Cesme Grenzübertritt EU / Türkei Grenzformalitäten: Carnet ATA		Übernachtung in Cesme, Hotel Kerman
Fr. 12.09.	10:00 Weiterfahrt Cesme – Alanya (680 km: 8,5 h) Aufnahme von St in Antalya Flughafen um ca. 16:00 Uhr	Hst, Li, Sti, (St)	Übernachtung Alanya
Sa. 13.09.	9:00 Uhr Weiterfahrt Alanya – Kirikhan (600 km; 7,0 h)		Übernachtung Kirikhan
So.14.09.	8:00 Uhr Weiterfahrt Kirikhan - Resafa Grenzübertritt Türkei / Syrien Grenzformalitäten: Carnet ATA Geräteliste, Fahrzeug Weiterfahrt Aleppo – Resafa	Hst, Li, Sti, St	VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung
Mo. 15.09.	Einrichtung des Gerätelagers	Hst, Li, Sti, St	
	Überprüfung des Instrumentariums	Li, St	Alle Geräte
	Besprechung / Organisation der Messkampagne	Sack + Hst, Li, Sti, St	

Di. 16.09.	Erkundung und Aufdeckung aller notwendigen Messpunkte (alt), Zustandsüberprüfung, Erkundung zur Erweiterung des Netzes in Richtung Zentralbau Für Lage und Höhe		Hacke, Spaten Fluchtstäbe etc. Digitalkamera Unterlagen vorangeg. Messungen
Mi. 17.09.	Vermarkung der Lage und Höhenpunkte	Hst, Li, Sti, St	wie 16.09., zusätzl. Vermarktungsmaterial: Messingmarken, Akku-Bohrer, Schnellbinder
Do. 18.09.	Erkundung zum Scannen des Zentralbaus einschl. der photogrammetrischen Aufnahme Abschluss aller Erkundungs- und Vermarktungsarbeiten Dokumentation und Organisation des weiteren Messablaufs Besprechung, Organisation der weiteren Arbeiten	Hst, Li, Sti, St Li, St Sack + Hst, Li, Sti, St	wie 17.09
Fr. 19.09.	Ruhetag / Exkursion		
Sa. 20.09.	Beobachtung des Lagenetzes Präzisionsnivellement Datensicherung / Auswertung	Li, Hst, St, Sti, NN Li, St	TCRP 1201, 5 Stative, Präzisions-Reflektoren, Corner-Cube, 1 Schirm DNA03, 2 Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm Laptops
So. 21.09.	Beobachtung des Lagenetzes Präzisionsnivellement Datensicherung / Auswertung	Li, Hst, St, Sti, NN Li, St	TCRP1201, 5 Stative, Präzisions-Reflek-toren, Corner-Cube, 1 Schirm DNA03, 2 Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm Laptops

Mo. 22.09.	Beobachtung des Lagenetzes Präzisionsnivellement Datensicherung / Auswertung	Li, Hst, St, Sti Li, St	TCRA 1201, 5 Stative, Präzisions-Reflektoren, Corner-Cube, 1 Schirm DNA03, 2 Inv.-Code- Latten 2m, 1 Stativ, 1 Schirm Laptops
Di. 23.09.	Scannen des Zentralbaus und photogrammetrische Aufnahme Netzpflege und Wiederherstellung von Punkten des Treml-Netzes Datensicherung / Auswertung	St, Sti Li, Hst,	Imager Z+F 5006 Stativ, Zielmarken Photogrammetr. Digitalkammer GPS System 500 Hacke, Spaten Laptops
Mi. 24.09.	Scannen des Zentralbaus und photogrammetrische Aufnahme Netzpflege und Wiederherstellung von Punkten des Treml-Netzes Datensicherung / Auswertung	St, Sti Li, Hst	Imager Z+F 5006 Stativ, Zielmarken Photogrammetr. Digitalkammer GPS System 500 Hacke, Spaten Laptops
Do. 25.09..	Auswertung aller Messungen, Registrierung, Datensicherung, Dokumentation	Hst, Li, Sti, St	Laptops
Fr. 26.09.	Auswertung aller Messungen, Zusammenstellung der vorl. Ergebnisse Abschlußbericht der Messkam- pagne Übergabe der Ergebnisse	Hst, Li, Sti, St Sack + Hst, Li, Sti, St	Laptops
Sa. 27.09.	Verpackung der Geräte und Vorbereitung der Abreise Abschlussbesprechung und Übergabe der Ergebnisse	Hst, Li, Sti, St Sack + Hst, Li, Sti, St	VW-Bus M-UR 4958
So. 28.09.	9:00 Uhr Abreise Resafa - Aleppo	Hst, Li, Sti, St	VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung Übernachtung in Aleppo
Mo. 29.09.	Aleppo	Hst, Li, Sti, St	
Di. 30.09.	8:00 Uhr Weiterfahrt		VW-Bus M-UR 4958

	Aleppo – Anamur (TR) (ca. 530 km; 7 h) Syrien Türkei Grenzübertritt Syrien / Türkei Grenzformalitäten, Carnet ATA		Geräteausstattung
Mi. 01..10.	8:00 Uhr Weiterfahrt Anamur - Marmaris 600 km; 8,0 h		Übernachtung Marmaris
Do 02.10.	07:30 Uhr Weiterfahrt: Grenzübertritt Türkei / EU Carnet ATA Fähre Marmaris – Rhodos Abfahrt 09:00 Uhr Ankunft 11:00 Uhr Grenzformalitäten: Carnet ATA Fähre Rhodos – Piräus Abfahrt 18:00 Uhr (Blue Star Ferries)		VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung
Fr.. 03.10.	Ankunft Piräus 07:00 Uhr 9:00 Weiterfahrt Piräus – Patras (223 km, 4 h) Ankunft Patras 13:00 Abfahrt 17: 00 Uhr Fähre Patras– Ancona (ANEK)		
Sa. 04.10.	13:00 Uhr Ankunft Ancona 14:00 Uhr Weiterfahrt 21:00 Ankunft Neubiberg	Hst, Li, Sti, St	VW-Bus M-UR 4958 Geräteausstattung

Allg. Org. / Visa:

Heister

Geodätische Instrumente:

Liebl

Photogrammetrie:

Stephani

Fahrzeug (VW-Bus M-UR 4958):

Liebl

Datensicherung / Datenauswertung:

Liebl, Sternberg

2. Materialliste

Bereich	Gegenstand	InventarNr GeoLab	Anzahl
Allgemein	alle Bedienungsanleitungen		
	Multimeter		1
	Werkzeug Satz		1
	Sicherungen Satz		1
	Aufkleber D-Schild für Kfz		1
	USB-Multicardreader		1
	Schutzhauben, Müllsäcke		div.
	Linsenputzmittel, opt. Tücher		div.
	Pinsel		div.
	Alufolie		1
	Paketschnur		1
	LED-Stirnlampe		2
	Syratel-Telefonkarten		
	Ersatzlampen		div.
	Arbeitsplatz-Lampen		2
	Kfz Ersatzrad, Wagenheber		
Erkundung	Tablet PC Microport Colibri	11 4 33 0	1
	Unterlagen, Dokumente, Pläne		
	Bolzenschlüssel gem. A-35		5
	Pressluft in Spraydose		2
	Kreide, weiß, Pck		1
	Textilklebeband		1
	Markierstift Edding		8
	Handbesen		1
	Bürste		1
	Spachtel		1
	Körner oder Meißel		1
	Hammer		1
	Reisefluchtstäbe im Satz		12
	Spinnen		5
	Feldbuchrahmen A4		2
Vermarkung	Hilti Akku-Bohrmaschine	13 3 36 0	1
	Schnellbinder-Zement		2
	Mischgefäß für Zement		1
	Wasserkarister		1
	Spezialvermarkungen Resafa		div.
	Standard-Vermark.		je 20
	Niv-Bolzen klein, Messing		10
	VideoCamcorder, Ladegerät	09 8 01 0	1
	Beamer	09 7 10 0	1
	Papierausdrucke Netzpläne		je 5
	div. Montagmaterial		

Bereich	Gegenstand	InventarNr GeoLab	Anzahl	
Nivellement	DNA 03	01 3 24 0	1	
	Invar Code-Latten 2m	01 3 20 0	2	
	Kurzlatte 60cm, Lattenrichter	01 3 18 3	1	
	Frösche		2	
	Feldschirme		1	
	Distanzkugel für Aufsatz NivLatte		4	
	Massband 30m		1	
	Zollstock		2	
	Rollbandmaß 2m		2	
	Spanngurte 5m, 2.5m		4	
	Reepschnur		3	
	Zelthaken, -heringe		8 + 3	
	Tachymetrie	TCRP 1201	05 3 42 0	1
		Fernbedienung RX 1220		
Thermometer			2	
Barometer		05 5 30/29 0	2	
Feldschirm			1	
Stative, Aluminium			6	
Lotstab mit Leica-Zapfen			1	
Präzisions-Reflektoren GPH1P		05 5 66 0, 05 5 67 0	4	
ZNL		01 6 05 0	1	
Corner Cube 1.5" Reflektor			2	
Adapter CF nach PCMCIA			1	
Speicherkarte 32MB		2		
Laserscanning	Z+F IMAGER 5006	14 1 26 0	1	
	Laptop Siemens Fujitsu H250	14 1 26 3	1	
	Camera für IMAGER 5006	14 1 26 4	1	
	Zieltafeln auf CCR-Halbkugel		10 + 9	
	Papierzielzeichen, Z+F		50	
	Wechselfestplatten USB	14 1 26 1,2	2	
	Schutzhaube		1	
Datensicherung	Administrator-Passwörter			
	Laptop ACER Aspire	14 4 26 0	1	
	12>>220V Wandler		2	
	Ladegerät12V Bosch		2	
	Kabeltrommel 220V		1	
	USB Sticks		4	
	Batterie 12V 50 Ah		1	
	DVD+ -Rohlinge		10	
	12V Kabel-Paar , rot, blau		2	
	Dreifachsteckdose 220V		4	
	Y-Kabel, Leica, RS 232		1	
	Büro-Utensilien		div.	
	Reserve Batterien Leica	2 Kabel, Anleitung		
Photogrammetrie	Rollei d7m		1	

3 Berichte

3.1 Fachlicher Reisebericht

Montag 15.09. 08

Nachdem wir am Vortag das Grabungshaus in Resafa am frühen Abend erreicht hatten, stand am Vormittag das Einrichten des Materiallagers im Vordergrund. Im so genannten Geodätenzimmer steht ein großes Wandregal zur Verfügung. Den Raum teilen wir uns mit den Geodäten der FH Karlsruhe, die bereits seit Wochen die Kampagne mit Gerät der UniBw unterstützen. Nach dem zweiten Frühstück wurden Funktionstests an Rechnern und Instrumenten erfolgreich vollzogen.

In dieser Kampagne steht der ‚Zentralbau‘ nahe dem Nordtor im Mittelpunkt unserer Aktivitäten. Mit der Anbindung an das Koordinatensystem der Stadt Resafa soll ein 3D-Modell des Bauwerkes durch terrestrisches Laserscanning (TLS) geschaffen werden. Eine erste Vorerkundung vor dem Mittagessen zeigt deutlich die Komplexität des Vorhabens, deren wir uns aus Mangel an genauen Informationen und Anforderungen bis dahin nicht bewusst waren. Insbesondere im Gespräch mit dem Doktoranden Axel Schuhmann wurden die Wünsche der Archäologen im Bezug auf den Umfang der Maßnahme deutlich. In der nachmittäglichen Tee-Runde hat Frau Prof. Sack die Teilprojekte des Programms, deren aktuellen Stand und Verantwortliche vorgestellt. In der anschließenden Diskussion kristallisierte sich für unseren Fall letztlich der Wunsch heraus, zu Gunsten einer möglichst hohen Abdeckung am Zentralbau, auf hohe Genauigkeit im Grundlagennetz zu verzichten. Damit war das in München ausgearbeitete Konzept nicht mehr zu vertreten. Netzmessungen in Lage und Höhe werden minimiert, um mehr Zeit für das TLS zu gewinnen. Eine 100%-Abdeckung des Areals wird angestrebt.

Als alternatives Konzept wurde bestimmt:

Anlage eines geschlossenen Ringpolygons (ca. 4 Punkte) um den Zentralbau mit späterem Anschluss an das Resafa-System zur Georeferenzierung. Dabei wird weitgehend auf ein Präzisionsnivelement verzichtet. Grundlage von Verknüpfung- und Referenzpunkten für den Laserscan soll ein sinnvoll verteiltes Netz von 25 Spezialvermarkungen (wie in der Basilika-A) sein, in die auch schwarz-weiße Zielzeichen für den Laserscanner IMAGER 5006 adaptiert werden können. Acht dieser Referenzmarken werden so vermarktet, dass ein Aufsetzen der Nivellier-Latte ermöglicht wird. Neben diesen dauerhaft installierten Referenzpunkten werden in den zwangsweise auftretenden Lücken Papierzielzeichen nach Bedarf angebracht.

Dienstag 16.09.08

Zur Umsetzung des am Vortag abgeänderten Messablaufes wurden zunächst vier Punkte außerhalb des Zentralbaus ausgewählt, die als Netzpunkte dauerhaft vermarktet werden müssen. Die Lage wird tachymetrisch, durch ein Ringpolygon bestimmt. Die Punkte wurden so gewählt, dass ein Höhenanschluss an den vorhandenen Punkt 104 möglich ist und zum Lageanschluss

die Punkte 103, 202, 4001 und 4444 sichtbar sind. Nachfolgend erfolgte die Erkundung der Verknüpfungspunkte für das TLS in zwei Kategorien. In der Kategorie 1 wurden acht, am Bauwerk gleichmäßig verteilte Punkte ausgewählt, die von den Polygonpunkten lagemäßig und durch Präzisionsnivellement höhenmäßig zu erfassen sind. Die Kategorie 2 besteht aus weiteren elf erkundeten Punkten am Bauwerk, die ausschließlich tachymetrisch zu bestimmen sind.

Mittwoch 17.09.08

Um im Zeitplan zu bleiben mussten an diesem Tag möglichst alle Vermarktungsarbeiten durchgeführt werden. Bis zur Frühstücksunterbrechung konnten neben fünf Messingstehbolzen (700-704) auch schon 13 Resafa-Spezialvermarktungen gebohrt und verklebt werden. Bis zur Mittagspause erfolgte der Anschluss an das Höhennetz von Resafa über den Punkt 104. In diesem Präzisionsnivellement waren acht Punkte um den Zentralbau und der zentrale Tachymeterstandpunkt (700) enthalten. Nach der Mittagspause konnten bis Einbruch der Dunkelheit weitere sechs Resafa-Vermarktungen als Hochpunkte angebracht werden. Die Installationsarbeiten mit einer dreiteiligen Leiter erwiesen sich als schwierig und zeitaufwändig. Das angestrebte Ziel die Vermarktungsarbeiten an diesem Tag abzuschließen, konnte nicht ganz erreicht werden. Das gemessene Höhennetz konnte parallel mit dem Programm CAPLAN ausgewertet werden. Das Ergebnis der Höhennetausgleichung erbrachte eine durchschnittliche Standardabweichung von 0,3 [mm].

Donnerstag 18.09.08

Am frühen Morgen erfolgten die verbliebenen Vermarktungsarbeiten an drei weiteren Hochpunkten. Damit waren nun insgesamt 22 Punkte für die Scannerarbeiten zur Referenzierung verfügbar. Der gesamte weitere Tag stand im Zeichen der Tachymetrie. Neben der Koordinatenbestimmung der fünf Netzpunkte war es das Ziel, alle Scanner-Referenzziele mehrfach polar anzumessen. Als Anschlusspunkte zum Resafa-Netz wurden die vorhandenen 103 Al Mundir, 202, 4001 und 4444 bestimmt. Die Netzpunkte und ausgewählte Verknüpfungspunkte wurden jeweils in zwei Lagen und drei Sätzen, die übrigen Verknüpfungspunkte einmal in zwei Lagen gemessen. Auf Grund der Tatsache, dass nur zwei CCR verfügbar waren, zog sich auch dieser Teil der Arbeiten bis in die Abendstunden, konnte aber erfolgreich abgeschlossen werden.

Freitag 19.09.08

Zur endgültigen Erledigung der Zollformalitäten war ein erneuter Grenzbesuch in Bab Al Hawa notwendig geworden. Die bei der Ankunft in Cesme (TR) nötige Kautions für unsere Ausrüstung musste ausgelöst werden.

Samstag 20.09.08

Mit dem Grenzaufenthalt wurde ein Ausflug nach Aleppo zum Besuch des bekannten Suqs verbunden.

Sonntag 21.09.08

Der gesamte Tag stand im Zeichen der Tachymeter-Auswertung. Die gesamte Auswertung und Ausgleichung erfolgte mit dem Programm CAPLAN. Die Auswertung erfolgte getrennt nach Lage und Höhe. Für das Lagenetz wurde eine Freie Netzausgleichung durchgeführt um die innere Geometrie des Netzes zu kontrollieren. Zur Ausgleichung des Höhennetzes erfolgte eine Anbindung an die acht ausgewerteten Nivellementpunkte. Dies war notwendig aufgrund der weiten Anschlusssichten und den, aufgrund der extremen atmosphärischen Bedingungen, systematischen Einflüssen. Die Ergebnisse der jeweiligen Ausgleichung erbrachten durchschnittliche Standardabweichungen in der Lage von 1,6 [mm] und in der Höhe von 1,1 [mm]. Die ausgeglichenen Koordinaten wurden abschließend in das CAPLAN interne K-Format für die Registrierung der Laserscans generiert. Ein letzter Funktionstest des IMAGER 5006 mit aufgesetzter Digitalkamera rundete diesen Tag ab.

Montag 22.09.08

Nach Abschluss sämtlicher Vorbereitungen und dem Anbringen der Zielzeichen erfolgten die ersten Messungen mit dem terrestrischen Laserscanner IMAGER 5006 auf den zuvor erkundeten und festgelegten Standpunkten. Die sorgfältige Planung vorab, mit Festlegung der Scannerstandpunkte und der entsprechenden Verknüpfungspunkte, waren für den eigentlichen Messablauf sehr hilfreich. Bis zum Mittag wurden von insgesamt zwölf Standpunkten Messungen im Innenraum des Zentralbaus durchgeführt, womit ein Großteil des Innenraums abgedeckt wird. Im Anschluss an die Messungen wurden von Dr. Stephani photogrammetrische Aufnahmen mit den identischen Zielzeichen durchgeführt. Am Nachmittag erfolgte die erste Auswertung der TLS Messungen mit dem Programm Z+F LaserControl. Parallel dazu erfolgte die Erkundung und Festlegung der Scannerstandpunkte im Aussenbereich für den nächsten Tag.

Dienstag 23.09.08

Im Außendienst konnten am Vormittag weitere 11 Laserscans zur Erfassung des Zentralbaues durchgeführt werden. Wegen eines aufkommenden Sandsturmes mussten die Arbeiten aber gegen 12:30 Uhr eingestellt werden. Der verbliebene Rest der Fassade sollte mit abschließenden drei Scans nach Ende des Sturmes dokumentiert werden. Die Arbeiten verschoben sich wegen des Wetters auf Mittwoch. Parallel erfolgte im Innendienst die Aufbereitung der Daten mit dem Programm Lasercontrol der Firma Zoller und Fröhlich. Die Scans werden per WLAN-Verbindung auf dem Laptop zur Bearbeitung abgespeichert. Eine

Sicherung der Rohdaten erfolgt daraufhin auf einer externen USB-Festplatte. Für die erbrachten Datenmengen eines Messtages von fünf bis sieben Gigabyte benötigt der Kopiervorgang ca. 45-50 Minuten (WLAN). Die Speicherung auf externer USB-Festplatte vollzieht sich mit ca. 7 Minuten wesentlich schneller.

Die Auswertung der einzelnen Scans beginnt mit einer automatischen Filterung in fünf Arbeitsschritten. Dabei werden unbrauchbare oder fehlerbehaftete Pixel erkannt und ausmaskiert. Mix- und Singlepixel werden detektiert, Distanz- und Intensitätsabhängige Schwellen werden gesetzt.

Im Anschluss an die Bereinigung der Scans müssen die im 2D-Intensitätsbild sichtbaren Verknüpfungs- und Referenzpunkte bestimmt und identifiziert werden. Eine im Feld geführte Liste der verwendeten Zielzeichen ist für die Büroarbeit sehr hilfreich. Das Ausmessen der Zielzeichen erfolgt im idealen Fall nach anklicken des Zentrums automatisch. Mit der Punktnummernvergabe schließt der Vorgang ab. In vielen Fällen konnten die Ziele nicht automatisch gefunden werden. Manuelle Korrekturen des Bearbeiters sind zwingend erforderlich. Reflexionen, Spiegelungen, Abstände über 25m oder eine mangelnde Reflektivität lassen den Automatismus rasch an seine Grenzen stoßen.

Nachdem alle Scans des Innenraumes in dieser Weise bearbeitet werden konnten, erfolgte eine lokale Registrierung über die gemessenen Passpunkte. Dem Softwarepaket ist eine strenge Bündelausgleichung BetaNeptan beigelegt. Wegen günstiger räumlicher Verteilung der Zielzeichen und ausreichender Anzahl in den einzelnen Scans konnten Standardabweichungen für die 3D-Punktkoordinaten von weniger als 2mm erreicht werden. Der nächste Arbeitsschritt ist eine Georeferenzierung auf das, mit dem Tachymeter und Nivellier erweiterte Koordinatensystem Resafa.

Durch die zusätzliche Stützung des Ausgleichungsnetzes konnte nochmals eine geringfügige Verbesserung der Standardabweichung erzielt werden. Das vorläufige Resultat des Innenbereiches macht keine Wiederholungs- oder Ergänzungsmessungen nötig.

Mittwoch 24.0908

Bis zur Frühstückspause wurden die ausstehenden Scans des Außenbereiches abgearbeitet und der Ring um den Zentralbau geschlossen. Im Innendienst erfolgte die Aufbereitung der Scans im Außenbereich, die am Vortag bis zum Sturmabbruch aufgenommen wurden. Dabei erschien die Wiederholung zweier Standpunkte ratsam, die nicht ausreichend Verknüpfungspunkte enthalten hatten. Mit diesen Scans sollte die Messwerterfassung abgeschlossen werden.

Unmittelbar beim Start des ersten Scans nach dem Frühstück brach der Laserscanner seinen automatischen Messprozess mit einer Fehlermeldung 1204, -Leistung eines Laserkanals zu gering- ab.

Eine Wiederholung nach Abkühlung hatte keinen Erfolg. Im Grabungshaus wurde eine telefonische Fehleranalyse mit der Herstellerfirma in Deutschland gestartet. Trotz aller

Bemühungen hat das Lasermesssystem keine brauchbaren Daten mehr geliefert. Das Messinstrument kann nicht mehr eingesetzt werden. Ein Austausch wäre unverhältnismäßig und so muss das bis dahin gesammelte Datenmaterial von insgesamt ca.20 Gigabyte für die Bestandsdokumentation des Zentralbaues der Stadt Resafa ausreichen. Bis zum frühen Abend konnte eine Registrierung von Innen- und Aussenbereich samt Georeferenzierung in der bereits erwähnten Genauigkeit durchgeführt werden. Eine visuelle Kontrolle der gesamten Punktwolke erbrachte ebenfalls einen zufrieden stellenden Eindruck, so dass der Ausfall des Laserscanners für dieses Projekt keine negativen Auswirkungen hat.

Abschließend wurden zur Abrundung der Arbeit die Neupunkte eingemessen und dokumentiert.

Donnerstag 25.09.08

Um eine Zerstörung der vermarkten Punkte zu erschweren, wurden alle Punkte verschlossen und mit natürlichem Material abgedeckt. Damit waren die Außenarbeiten in der Kampagne 2008 abgeschlossen. Im Innendienst steht die Berichterstellung, Dokumentation und Erstellung der Einmessskizzen auf dem Programm.

Freitag 26.09.08

Der Tag stand im Zeichen der Dokumentation und Präsentation der Messergebnisse. Zum einen wurde ein Arbeitsbericht mit den durchgeführten Tätigkeiten geschrieben, der am Nachmittag an Martin Gussone von der UniBerlin übergeben wurde. Zum anderen wurde eine PowerPoint Präsentation unserer Ergebnisse erstellt, die sämtlichen Grabungsteilnehmern am Nachmittag über Beamer präsentiert wurde. Dieses stellte einen zufrieden stellenden Abschluss der Messkampagne dar.

Samstag 27.09.08

Der Vormittag wurde damit verbracht, das gesamte Vermessungsgerät zu reinigen und anschließend, entsprechend der Hinfahrt einzulagern. Nach dem großen Frühstück starteten wir unseren Rücktransport Richtung Deutschland!

3.2 Tagebuchnotizen

Datum	Uhr	Aktion	Bem.
08.09.	11:00	Abfahrt UniBW	
	11:30	1. Stop/Ottobrunn wg. Leberwurst etc	Fa. Käfer !
	12:15	Irschenberg, Pickerl, S-Brille Manfred	
	13:20	Am Brenner, hinein nach bella Italia	
	19:00	Hotel Royal, Riccione mit „Tief“-garage	
	20:00	A-essen im Velia Restaurant	
09.09.	8:00	Europ. Frühstück im Hotel	
	9:00	Abfahrt	
		Fahrt mit 2 Kaffeepausen und abwechslungsreichen Landschaften (Marken, Abruzzen, bei Foggia flach)	
	16:30	Brindisi, Hafen-erkundung, Hotel „La Rosetta“ (2. Reihe), mit Garage, komplizierte Ein-Ausfahrt	
	19:00	Ital. Vorspeisen und 1 Dorade, Vino	Tratoria !
10.09.	7:00	Frühstück im Hotel, weiter z. nahen Hafen, „Marmaris Line“	
	8:30	Zoll und Carnet-formalitäten	
	10:15	Auf der „Cesme“-Fähre, Aussenkabinen	
	12:45	Ablegen von Brindisi	
	14:30	Kl. Essen (Salat, Pasta) an Bord, danach Siesta	
	17:00	Ausführlicher Rundgang auf dem Schiff	
	20:00	A-essen (Self_Service) und Gespräche	Bierchen
	23:30	Betruhe	
11.09.	9:00	Aufstehen und Frühstück a. Bord Hans => Buchhaltung Wolfgang => Video Manfred =>Tagebuch Fahrt verlangsamt (Pelopones?)	
	11:30	erste Inseln rechts	
	13:30	Katharos und Pelopones	
	16:45	Paros und Antiparos passiert	
	20:00	Käptn-Dinner	for free !
	21:00	bis 23:00 Schlummern	
12.09.	0:00	Ankunft in Cesme	
	3:00	Beim Zoll (€ 10.000 Depozit Forderung)	
	3:30	Hotel Kerman am Hafen	
	8:00	Frühstück vor dem Hotel	
	9:00	bis 12:30 beim Zoll (Depozit € 1000.-) und Bakschisch	
	13:30	Abfahrt Cesme über Aydin, Denizli, Nazili nach Antalya	
		DKV- Tankstelle die funktioniert bei Aydin	
	19:00	Ankunft in Antalya	
	21:00	Nach langer Suche gefunden	Armin !
	21:30	Green Beyza Hoteli eingchecked	
	22:00	Bis 24:00 Essen im feinen Fischlokal	teuer!

13.09.	8:30	Abfahrt in Antalya zu viert!	
	12:00	Schöne Strecke bis Silifke, Fahrer: W,A,H,W mehrere DKV-Versuche!	
	20:00	Diesel (75l) bei Adana ohne DKV	
	21:00	Über Dört Yol (Raffinerien) nach Iskenderun, Aykut Palace Oteli	Aufzüge! Gepäck
	21:30	Türkisches A-essen in der Fussballer-kneipe	ordentlich
14.09.	8:20	Nach Frühstück mit Obst, Käse und Oliven und Tee, Abfahrt	
	9:30	Über Kirikhan nach	
	10:00	Bab el Hawa	
	14:00	Türk. Zollformalitäten (Depozit bleibt)	wg.Sonntag
	15:30	Syr. Zollformalitäten, Ibrahim hilft, Treffen mit Martina Müller-Wiener und Martin G.	4 kg Zambaraki bestellt
	19:00	Ankunft in Resafa, A-essen und Raki	
15.09.	7:00	Aufstehen	Spätes!
	11:00	Auspacken und Bericht an Dothy	
	12:30	bis 13:30 Zentralbau (ZB) erkunden, Konzeptentwicklung	
	16:00	Dothy's Vorstellung der Teilprojekte	
	17:00	Konzept-definitivierung ZB	Steinlager
	22:00	Betruhe	
16.09.	6:00	Aufstehen, kl. Frühstück, Tee u. Kekse	
		Erkunden des Polygonzugs und der Niv.-punkte an den Außenseiten, (Spezial-Bolzen) bohren	
	16:30	Hochpunkte außen festlegen mit Leiter	1FI-stab!
17.09.	7:00	Nach Frühstück Hilti-Tag PP-punkte vermarken (Wolfgang)	
	9:00	Nivellement mit Armin und Hans	
	16:30	Hochpunkte bohren (Wolfgang)	
	18:00	Galabien, Dothy's Schneider Maße!	
	19:00	Fest der Karlsruher DGM'S (Wälle)	
	22:00	Nivellement stimmt!	Armin!
18.09.	7:00	Apsis Hochpunkte gesetzt	
	8:45	Offizielles Grabungsphoto 2008	Alle!
	10:00	Lagebeobachtungen und tachym. Höhenmessung bis 14:00 für alle Punkte	
19.09.	7:00	Abfahrt nach Aleppo, Bus bleibt beim Museum, Armin Sightseeing	
	7:30	Hans, Wolfgang und Manfred mit Taxi (2500 SP) nach Bab el Hawa	
	10:30	Wolfgang darf nicht ausreisen ohne Auto!	Pass!
	11:30	1. Kontakt mit türk. Zoll, Fax nach Cesme	
	14:00	Fahrt über Reyhanli nach Antakia (50 km), Einkauf Datteln+Chips u. zur.	„Manifest“
	14:30	Hans erhält das Depozit in YTL Einkauf im Duty free für Dothy u. Wein	
	15:00	Wolfgang erlöst (von der anderen Seite freigegeben!), Wieder-Einreise Syrien	
	16:30	Hotel Tourath, Dothy benachrichtigt	

	18:00	Hamam, leider schlecht!	
	21:30	Essen im „Sissi“ mit Allen	
		Absacker mit Hans und Armin	Terasse
20.09.	9:00	Frühstück im Hotel- Tourath Innenhof	
	10:30	Bis 13:30 Souk von Aleppo	
	13:30	Essen an der Zitadelle	
	14:30	Souk von Aleppo	
	18:00	Rückfahrt nach Resafa	
21.09.		Rechentag	
		Höhen: Nivellement + Tachym.	
		Lage: Präzisionstachym.	
		1. Kurs Surfer-8 für Martin G	
		Abends: 2 Fl Rotwein mit Tobias, Christoph, Hans und Manfred	
22.09.		Scans, zunächst Standpunkte festlegen, Zielmarken montieren (ausrichten) z.T. mit Leiter, Ca. 13 Scans für Innenraum mit Kamera Standpunkte für Außenraum erkundet, erste Georeferenzierungen (Wolfgang)	
23.09.		Außenraum scannen (8 Standpunkte)	
		Wolfgang bearbeitet den Innenraum	
		Ab 12:00 Sandsturm, Abbruch der Messungen wg. Wind und Staub	
		Einige Standpunkte bleiben übrig	
		Sun-downer für Karlsruhe Studies	
		Neue Galabien	
24.09.		4 Standpunkte auf der N- und W-seite	
	9:00	Frühstück	
	9:30	Ausfall des Meßsystems. Telefonat mit Z+F, leider keine Abhilfe möglich	
		Hans begleicht die € 1000 an Dothy	
		Punktskizzen von PP 700-704	
25.09.	7:30	Alle Punkte versichert (ggf. mit Stöpsel + Zement) Papier-Zielmarken entfernt. Punktskizzen an Martin (PP 700-704)	
		2. Kurs Surfer-8 mit Martin	
		Begehung der Grabungen (bes. FP220) mit Christoph	
		1. Version des Berichts für Dothy	
26.09.		Bericht fertiggestellt (Armin)	
		Präsentation vorbereitet (Wolfgang u. Armin)	
		3. Kurs Surfer-8 mit Martin	
		Auto gewaschen	
		Besuch von Uwe Finkbeiner+Mitarbeiter	
		Präsentation, Hans und Wolfgang	
		Sun-downer am ZB mit Allen	
27.09.		Packen bis 9:00, danach Frühstück	
	10:00	Abfahrt in Richtung Palmyra	
	14:00	Am Tower-Hotel (leider nicht Heliopolis)	
	15:00	Bier am Zenobia-Hotel, schlechte Sicht	Sandsturm

	19:30	A-essen mit Ehepaar Hölscher u. Razan	Gut!
	21:00	Illegales Bier im Hotel (Dachterasse)	
28.09.	9:00	Frühstück im Hotel	
		Besuch der Zitadelle von Palmyra	Photos!
	10:00	Fahrt über Homs/Hama nach	
	14:30	Aleppo, Hotel Ramsis	Parkplatz!
		Souk, 3 Halebi Fistik Zangen	1 f. Dothy
	20:00	Essen im Beit Hakil	
	22:00	Absacker mit Wasserpfeife i. Ramsis	
29.09.	8:00	Frühstück im Ramsis	
	9:00	Abfahrt, ohne Hans, nach Bab el Hawa	
	10:00	bis 12:00 syr. Seite, Backschisch	
	12:00	Bis 12.15 türk. Seite, no problems!	
		Fahrt mit Regenschauern bis Kiz Kalesi, Hotel Korikos	
		Abends Regen, Manfred Frisör	
	19:00	Abholung zur Fischkneipe mit Doluca	Sehr gut
	22:00	Rückkehr mit Taxi des Restaurantbesitzers	
30.09.	8:00	Frühstück i. Hotel Korikos	
	9:00	Abfahrt	
	12:30	Pause mit Tee, Falafel und Honig	
	15:30	Side, VIP-Ausweis Wolfgang	
	16:00	Aspendos, Besichtigung d. Theaters	
	18:30	Tanken, Nähe Kemer	
	20:00	A-essen in Kemer (Hotel Melisa) DACAPO- Rest.	
01.10.	7:30	Aufstehen ohne Frühstück	
	8:10	Tanken	
	9:30	Frühstück im Ort (25 YTL!)	
	14:00	M-essen am Weg (letzte 25 YTL)	
	14:15	Unnötiger Tunnel	
	17:30	Ticket in Marmaris, ab Bodrum erstanden (reserviert)	
	18:45	Tanken	
	23:00	Essen in Bodrum, Nähe Hotel Mausolos	
02.10.	7:00	Frühstück im Hotel Mausolos	
	8:00	Fahrt in den Hafen, Ablegestelle Kos Pass-und Zollkontrolle, no problems	
	9:30	Abfahrt nach Kos	
	12:00	In Kos, bis 14:00 Zoll und Passkontrolle	
	14:00	Check-in auf Blue-Line Ferries, Kos	
	15:00	Kl. Essen Caravelle	
	15:00	Bis 17:00 Badeausflug	
	18:00	A-essen im Rest. Caravelle	
	20:00	Einchecken Fähre, viele Laster, Wohnmobile	Kab. 828,829
	21:30	Ablegen nach Piräus m. Zwischenstops	
	22:30	Betruhe	
03.10.	6:30	Aufstehen	
	7:00	Kaffee an Bord	
	8:00	Piräus an	
	9:10	Autobahn nach Patras Gebühr € 5.60	
		Tanken mit DKV	

	12:00	Patras an	
	13:30	3 Sandwiches mit Getränken	a Tankstelle
	16:00	An Bord der Fähre	
	20:00	A-essen an Bord	
04.10.	8:30	Opulentes Frühstück an Bord	teuer
	13:00	an Ancona	
	14:00	Auf der Autostrada	
	16:15	3 Capucci, Fahrerwechsel, Po-ebene	
	19:00	Sterzing € 33, A-Gebühr	
	19:15	Brenner-Maut Österr. € 8.-	
	20:30	Bichl, bei Wolfgang	
	22.10	UniBW München	

10.4 Arbeitsplan und Reisebericht der Messkampagne 2010

von M. Krause und Chr. Priebus

- 1. Geplanter Ablauf**
- 2. Materialliste**
- 3. Reisebericht**
 - 3.1 Leben und Arbeiten in Resafa
 - 3.2 Impressionen aus Resafa
 - 3.3 Palmyra
 - 3.4 Damaskus

1. Geplanter Ablauf

Zeitplan Meßkampagne „Resafa 2010“ 07. September – 28. September 2010

Teilnehmer UniBw: Hans Heister (Hst), Wolfgang Liebl (Li), Neumann (Ne), Armin Sternberg (St), Markus Krause (Kr), Christian Priebus (Pr)

Datum	Tätigkeiten	Personen	Instrumente / Gerät
Di. 07.09.	07:45 Abf. Geod. Labor UnibwM 08:06 Abf.U6 Neuperlach Süd 08:55 Abfahrt mit ICE München – Frankfurt Flughafen, Ank. 12:22 14:35 FRA-DAM-ALP mit RB 408 und RB 113 22:20 Ankunft Aleppo 14:20 FRA-AMM-ALP mit RJ 126 und RJ 437 22:15 Ankunft Aleppo 23:00 Abfahrt Aleppo	Hst, Ne, Kr, Pr Li Abfahrt ab Bichl St (eigene Anfahrt Fra) Hst, Li, Ne, St, Kr, Pr	VW-Bus Y-990 752 2 Scanner, 3 Laptops Persönl. Gepäck Abholung von Martin mit 2 Kfz
Mi. 08.09.	ca. 01:30 Ankunft Resafa Beziehung der Quartiere (Persönliche Einrichtung) Einrichtung des Gerätelagers Überprüfung des Instrumentariums / Testmessungen ab 09:30 Besprechung / Organisation der Messkampagne, Erstbegehung / Erkundung	Hst, Li, Ne, St, Kr, Pr Li, St, Kr, Pr Sack, Hof, Hell + Hst, Li, Ne, St, Kr, Pr	

Do. 09.09.	Erkundung und Aufdeckung aller notwendigen Messpunkte (alt), Zustandsüberprüfung	Hst, Li, Ne, St, Kr, Pr	Hacke, Spaten Fluchtstäbe etc. Digitalkamera, GPS Unterlagen vorangeg. Messungen
Fr. 10.09.	Ruhetag / Exkursion		
Sa. 11.09.	Erkundung zur Festlegung der Referenzpunkte (Georeferenzierung) bzw. zur Erweiterung des Netzes in Richtung Scan-Objekte <ul style="list-style-type: none"> - Nordtor mit Torhof, - Rundturm 36 mit Gewölbe, - Turm 29 mit Gewölbe, - Kurtinenabschnitt T8 bis T15, für Lage und Höhe Vermarkung der Lage und Höhenpunkte Vorbereitung des Scannen Dokumentation und Organisation des weiteren Messablaufs	Hst, Li, St, Kr, Pr Hof + NN	wie 09.09., zusätzl. Vermarkungsmaterial: Messingmarken, Bohrer, Schnellbinder, Rohre
So. 12.09.	Scannen des Kurtinenabschnitts 8 – 11 dabei Photogr. Aufnahmen Dokumentation und Datensicherung	Hst, Li, St, Kr, Pr , Hof + NN Ne, St, Kr, Pr	2 x Imager Z+F 5006 Stative, Zielmarken Photogr. Kamera 2x Laptop usw.
Mo. 13.09.	Scannen des Kurtinenabschnitts 11 – 15 Photogr. Aufnahmen Dokumentation und Datensicherung / Auswertung	Hst, Li, Pr Hof + NN St, Kr,	2 x Imager Z+F 5006 Stative, Zielmarken Photogr. Kamera 2x Laptop usw.
Di. 14.09.	Beobachtung der Referenzpunkte Nordtor und Turm 36	Hst, Li	GPS System 500,

	Datensicherung / Auswertung	St, Kr	TCRA1101, Stative, Reflektoren, Corner-Cube, 1 Schirm, Wandadapter 2x Laptop usw.
Mi. 15.09.	Höhenbestimmung der Referenzpunkte Auswertung (Koordinaten, Höhen) der Referenzpunkte, Datensicherung	Hst, Li St, Kr, Pr	TCRA1101, Stative, Reflektoren, Corner-Cube, 1 Schirm, Wandadapter 2x Laptop usw.
Do. 16.09.	Scannen des Nordtores dabei Photogr. Aufnahmen Datensicherung / Auswertung	Hst, St, Kr Hof + NN Ne, Pr	2 x Imager Z+F 5006 Stative, Zielmarken Photogr. Kamera 2x Laptop usw.
Fr. 17.09.	Ruhetag / Exkursion		
Sa. 18.09.	Scannen des Nordtor Photogr. Aufnahmen Datensicherung / Auswertung	Hst, Li, St, Kr Hof + NN Pr	2 x Imager Z+F 5006 Stative, Zielmarken, Photogr. Kamera 2x Laptop usw.
So. 19.09.	Scannen der Türme 23, 29, 32, 36 Photogr. Aufnahmen 14:00 Abreise Hst Resafa – Damascus - Fra Datensicherung, Auswertung	Li, Pr Hof + NN St, Kr	2 x Imager Z+F 5006 Stative, Zielmarken Photogr. Kamera 2x Laptop usw.
Mo. 20.09.	Beobachtung der Referenzpunkte Turm 23, 29, 32, 36 Datensicherung / Auswertung	Li, Pr Pr	GPS System 500, TCRA1201, Stative, Reflektoren, Corner-Cube, 1 Schirm, Wandadapter 2x Laptop usw.

So. 26.09.	9:00 Uhr Weiterfahrt Palmyra - Damascus	Li, Kr, Pr	Übernachtung Damascus
Mo. 27.09.	Damascus zur eigenen Verfügung	Li, Kr, Pr	Übernachtung Damascus
Di. 28.09.	07:00 Transfer zum Airport 10:05 DAM – FRA mit RB 407 13:35 Ankunft Frankfurt 14:22 mit ICE von Frankfurt Flughafen nach München Hbf, 18:00 Ankunft 18:22 mit S6 nach Neubiberg 18:50 Ankunft Neubiberg 19:00 Geod. Labor UniBw M	Li, Kr, Pr Barth	2 Scanner, 2 Laptops Persönl. Gepäck VW-Bus 990 752

Zuständigkeiten

Allg. Org. / Visa:

Heister

Geodätische Instrumente:

Liebl, Krause, Priebus

Photogrammetrie:

Krause, Hof

Datensicherung / Datenauswertung:

Sternberg, Krause, Priebus

2. Materialliste

Gegenstand	Anzahl	Kiste	Bemerkung	To do
Allgemein				
Multimeter	1	A	Zubehör, Kabel, KrokoKlemmen	
Werkzeug Satz	1	A	Imbus, Maul, Zangen, Seitenschneider, Schraubendreher	
Sicherungen Satz	1	A	für alle Geräte	
USB-Multicardreader	1	A	inkl. USB-Kabel	
Schutzhauben, Müllsäcke	div.	A		
Linsenputzmittel, opt. Tücher	div.	A	Isopropylalcohol	
Pinsel	div.	A	fein, mittel, grob	
Alufolie	1	A	Rolle, ca. 30cm breit	
Paketschnur	1	A	Rolle	
Erkundung				
Unterlagen, Dokumente, Pläne			Punktübersichten Grundriss, Aufriss, CAD-Pläne	Handgepäck
Bolzenschlüssel gem. A-35	3	A	Pongratz	
Pressluft in Spraydose	2	A		
Kreide, weiß, Pck	1	A	dazu Markierkreide, rot, gelb, 1 Halter	
Textilklebeband	1	A		
Markierstift Edding	8	A	davon 1x Edding 850 (Liebl)	
Bürste	1	A		
Spachtel	1	A		
Körner	1	A		
Hammer	1	A		
Feldbuchrahmen A4	2	A	mit Feldtasche	
Laserscanning				
Z+F IMAGER 5006	2	4x Koffer	Ersatzakku (2x3), leihen	Z+F anfragen
Laptop Siemens Fujitsu H250	2	2x Tasche	ZF Lasercontrol 7.6, CAPLAN, LGO, Cyclone 7.02	Hr. Kestel
Zieltafeln auf CCR-Halbkugel	10 + 9	B, C	150mm und 200mm in Holzkiste	
Papierzielzeichen, Z+F	50	D	mit Punktnummer	ausdrucken
Z & F Autotargets	10	D		Z+F anfragen
Henkel Bauklebstoff	2	D	Anbringung Papierzielzeichen	Baumarkt
Kugelziele 150, 200, 250 mm	15,9,6	B, C	Adaption Lotstab fertigen	Hr. Pongratz
Stative, Aluminium	2	E	Leica	
Kern Pfeilerplatte	1	D	mit Adapter Kern auf 5/8" (Kreisel)	
Lotstab mit Leica-Zapfen	10	E		
Reisefluchtstab-Set	1 (3x2)	E	unteres Teil mit Metallspitze, Adaption Zielkugel fertigen	Hr. Pongratz
Spinnen	15	E		
Lotstabhalter, schwere Ausführ.	6	E	Adaption Zielkugel fertigen	Hr. Pongratz
Leichtstativ Magnavox	1	E	von GEOCEIVER MX 1502, Adaption Zielkugel fert.	Hr. Pongratz
Kugelhalter Baustahl mit Bohrung	10	vor Ort	vor Ort fertigen	Martin Skizze
Schutzhaube	2	D	rosa Müllsack	
Feldschirm	2	E	Verlängerung & Erdnagel, Hülle	
Lattenrichter	2	D		
Messkamera Rollei d7 metric	1		inkl. Übertragungskabel + Ersatzbatterien	Handgepäck

Datensicherung				
12>>220V Wandler	3	D	2x Büro oder Zelt	
Ladegerät 12V Bosch	1	D		
Kabeltrommel 220V	2	D	10m	
Wechselfestplatten USB	3	Laptoptaschen	2x320GB, 1x500 GB + Übertragungskabel USB	Handgepäck
DVD+ -Rohlinge	20	D		
12V Kabel-Paar , rot, blau	2	D	Kroko-Klemmen	
Dreifachsteckdose 220V	4	D	Büro oder Zelt	
Büro-Utensilien	div.	D	Locher, Tacker, Papier, Bleistifte, Kugelschreiber, Lineale	
Vermarkung				
Bohrer für Akkuschrauber				
Schnellbinder-Zement	1	D	1kg Eimer	
Spezialvermarkungen Resafa	div.	B	Pongratz	
Standard-Vermark.	je 20	B	gem.Seite 61, Abb. 57, a und b	
Niv-Bolzen klein, Messing	5	D		
div. Montagmaterial		D	Holzkeile, Doppelklebeband, 2 Schraubzwingen	
Massband 50m	2	D		
Zollstock	2	D		
Rollbandmaß 2m	2	D		
Reepschnur	3	D		
Thermometer	2	A	Standard Messing	
Barometer	2	A	Thommen	
Corner Cube 1.5" Reflektor	1	D	mit Halteband	
Verpackung				
Alu-Kiste groß	1	E	Aussenmaß (cm) 120 x 80 x 40	Beschriftung
Alu-Kiste klein	5	A,B,C,D+Res	Aussenmaß (cm) 55 x 40 x 40	Beschriftung

3. Reisebericht

3.1 Leben und Arbeiten in Resafa

Dienstag, 07. September 2010

Bereits um 7.45 Uhr trafen wir uns am geodätischen Labor der UniBw München zur Aufnahme der beiden Laserscanner und deren Zubehörkoffer, die aus Sicherheitsgründen im Rahmen des Fluggepäckes mit nach Syrien genommen werden mussten. Mit dem VW-Bus des Labors und unserem gesamten Gepäck wurden wir zum U-Bahnhof gebracht, von wo aus wir zum Hauptbahnhof München fuhren. Dort erreichten wir auch pünktlich unseren ICE, der uns fünf zum Frankfurter Flughafen bringen sollte. Mit leichter Verspätung trafen wir dort ein, wo wir im Terminal 2 auch sofort auf unser sechstes und letztes Mitglied Armin Sternberg trafen, der noch zusätzlich elektronisches Gerät von uns in seinem Gepäck aufnahm. Auch das Einchecken mit den beiden Laserscannern die wir als Zusatzgepäck hatten geschah wider erwarten völlig problemlos. Mit etwa 25 Minuten Verspätung hoben wir um kurz nach 15 Uhr zu unserem viereinhalbstündigen Flug in Richtung Damaskus ab. Dort hieß es nach der Landung sofort unsere Flugtickets für den Weiterflug nach Aleppo am Schalter zu lösen, was auch reibungslos geschah. Auf die Minute pünktlich hoben wir in Damaskus um 21.00 Uhr in Richtung Aleppo ab, wo wir kurz nach 22 Uhr landeten. Ein erstes Problem unserer noch jungen Reise tauchte bei der Ankunft in Aleppo auf, als Teile unseres Gepäcks nicht auffindbar waren. Da wir nicht die einzigen Betroffenen waren, klärte sich die Situation recht schnell auf. Die kleine Propellermaschine mit der wir aus Damaskus gekommen waren verfügte nicht über ausreichend Stauraum, da viele Reisende mit großem Gepäck an Bord waren. So versprach man uns ein Eintreffen unseres Gepäcks mit der nächsten Maschine aus Damaskus, die allerdings erst um 1.15 Uhr in Aleppo eintreffen sollte. Nach der Begrüßung durch Dorothee Sack und deren Mitarbeiter Dietmar und Ibrahim, entschieden wir uns, dass zunächst nur 3 Personen vor Ort blieben um sich um die letzten Gepäckstücke zu kümmern. Die Restlichen nahmen somit bereits gegen kurz nach Mitternacht in einem Kleinbus, dem berühmten „Balduin“, Kurs auf das etwa 170 km entfernte Resafa.

Mittwoch, 08. September 2010

Gegen 2.30 Uhr trafen wir in Resafa ein und uns wurden direkt durch Dietmar unsere Quartiere gezeigt. Gleichzeitig wies er uns in die Örtlichkeiten ein und gab nützliche Tipps und Verhaltensweisen vor Ort während wir auf die Restlichen, am Flughafen verbliebenen Personen, warteten. Kurz vor 4 Uhr trafen diese dann mit den „vermissten“ Gepäckstücken ein und nochmals wurde überprüft ob alles vorhanden war. Gegen 4.15 Uhr sanken wir für einen kurzen Schlaf erschöpft in die Betten. Da der heutige Tag für uns noch nicht „standardmäßig“ wie ein gewöhnlicher Arbeitstag ablaufen sollte, standen wir erst gegen 6.45 Uhr auf und nach einem Morgentee und einer erfrischenden Dusche begannen wir damit, unser Gerätelager einzurichten, das Instrumentarium zu verstauen, die Rechner anzuschließen und die bereits 2 Wochen zuvor eingetroffenen Zielkugeln, Stative, Spinnen und Lotstäbe zu überprüfen. Nach dem großen Frühstück um 9 Uhr, bei welchem wir von Dorothee dem ganzen Grabungsteam

vorgelegt wurden, einigten wir uns mit Prof. Hell von der HS Karlsruhe auf eine erste Erkundung der Stadtmauer, wo er uns alle neu vermarkten Punkte zeigte und auf sonstige Nützlichkeiten hinwies. Hierbei wurde gleichzeitig auch der von uns aufzunehmende Bereich der Stadtmauer im Nord-Osten begutachtet sowie Problem- und Schlüsselstellen klassifiziert. Pünktlich um 13.30 Uhr wurde zum Mittagstisch mit Suppe, Brot und jeder Menge Obst gerufen. Am Nachmittag nach einer kleinen Siesta teilten wir uns auf, um sowohl die Zuverlässigkeit der metrischen Rollei-Kamera vor Ort sowie die beiden Laserscanner einem ersten Test zu unterziehen. Dabei wurden verschiedene Aufnahmekonstellationen mit unterschiedlichen Entfernungen durchgespielt und im Anschluss mit zufriedenstellenden Ergebnissen ausgewertet. Einzig die Software zur Erzeugung der photogrammetrischen Punktwolken wies einige Unregelmäßigkeiten auf und gab Aufschluss darüber was bei den zukünftigen Aufnahmen beachtet bzw. besser gemacht werden muss. Nach einer kurzen Dokumentation dieser Tests ging es um 20.00 Uhr zum Abendessen mit einem anschließenden geselligen Tagesabschluss. Bereits um 23.00 Uhr sanken die meisten erschöpft in ihre Betten.



„eingerrichtetes Quartier im Geodätenzimmer“

Donnerstag, 09. September 2010

Der zweite Tag unserer Messkampagne begann um 5.30 Uhr durch den individuellen Weckruf Dorothee's. Nach der Körperpflege und dem obligatorischen Morgentee wurde dann gegen 07.00 Uhr die besprochene Tagesplanung in Angriff genommen. Erster Schwerpunkt lag in der Freilegung und Sichtbarmachung der verschiedenen Festpunkte entlang der Stadtmauer im inneren und äußeren Bereich. Pünktlich um 09.00 Uhr zum gemeinsamen Frühstück wurde

diese Aufgabe auch erfolgreich abgeschlossen. Nach der morgendlichen Stärkung wurde dann eine detaillierte Erkundung der durch Laserscanning aufzunehmenden Objekte in Begleitung von Catharine durchgeführt. Sie erklärte uns die Schwerpunkte ihrer Arbeit, so dass wir unsere Messungen besser an die Bedürfnisse der Archäologen vor Ort anpassen und die Ergebnisse unserer Messkampagne auch in Zukunft noch von großem Nutzen für die hiesigen Arbeiten sein können. Hier wurde uns auch mitgeteilt, dass das Osttor der Ruinenstadt doch von größerer Bedeutung ist, als zunächst angedacht und so kurzerhand eine Messplanänderung durchgeführt wurde. So fiel das Nordtor aus unseren Planungen heraus und das Osttor wurde dafür integriert. Um 13.30 Uhr stand dann das Mittagessen auf der Tagesordnung, gefolgt vom alltäglichen Mittagsschlaf und dem Nachmittagstee um 15.30 Uhr. Gegen 16.45 Uhr wurde dann wieder in die Ausgrabungsstätte verlegt und die Hauptaufgabe des Tages stand bevor. Für den Folgetag musste die Messvorbereitung durchgeführt werden. Als erstes zu messendes Objekt haben wir uns das verwinkelte und komplexe Osttor vorgenommen, da solche zusammenhängenden Gebäude möglichst an einem Tag fertig gemessen werden müssen, um Probleme bei der Registrierung durch bereits abgebaute Zielzeichen zu vermeiden und im Innendienst noch keine Daten verarbeitet werden müssen, so dass heute und morgen auf das komplette Messteam zugegriffen werden kann. Es entstand ein durch Markus dokumentierter Messaufbau mit geplanten Scanner- und Verknüpfungsstandpunkten, der die koordinierte Aufnahme des gesamten Gebäudekomplexes des Osttores inklusive seiner Seitentürme für den nächsten Tag ermöglichen soll. Zum Sonnenuntergang hinter den westlichen Mauern der Stadt konnte diese herausfordernde Arbeit auch größtenteils abgeschlossen werden und wir verlegten mit gutem Gewissen zum Abendbrot und den allabendlichen Geselligkeiten zurück ins Quartier.

Freitag, 10. September 2010

Am heutigen Tage fand die Aufnahme des am Vortag detailliert erkundeten Bereiches im und um das Osttor statt. Vormittags wurde der Messaufbau aus dem Papier ins Gelände übertragen. So teilten wir uns in drei kleinere Teams auf. Während Markus und Christian hauptsächlich die Dokumentation des tatsächlichen Ist-Zustandes von Scanner- und Verknüpfungsstandpunkten abglichen, bauten Wolfgang, Armin und Herr Heister die Zielkugeln auf koordinierten und temporären Punkten auf, während Herr Neumann die Black/White – Targets als Ergänzung zur Registrierung anbrachte. Nach dem großen Frühstück stand nun die konsequente Abarbeitung der 27 geplanten Scannerstandpunkte auf dem Programm. Für gleichbleibende Lichtverhältnisse einigten wir uns darauf, mit der Sonne zu wandern und das Licht im Rücken zu haben, um einen übermäßigen Schattenwurf zu vermeiden. Bei der Auflösung der Laserscanneraufnahmen variierten wir entfernungsabhängig zwischen den Modi „super-high“ (Außenraum) und „high“ (Gebäudeintern). Aufgrund des aufwendigen Messumfangs haben wir truppweise zur Mittagsverpflegung ins Grabungshaus des DAI verlegt, um Messpausen zu vermeiden. Auch Dank der tatkräftigen Unterstützung Catharine's konnten wir am späteren Nachmittag gegen 16.30 Uhr die Aufnahme des Osttores für abgeschlossen erklären. Nach dem Abbau des Instrumentariums und einer anschließenden Vollzähligkeit fuhren wir zum

Grabungshaus zurück. Nach einer kurzen Pause und einem Glas Tee wurden die Daten der Scanner auf mobile Festplatten und die Rechner übertragen, um so möglichst zeitnah mit der Auswertung beginnen zu können. Der Abend wurde mit einem Glas Arak in gemütlicher Runde beschlossen.



„gemeinsames Abendessen“

Samstag, 11. September 2010

Heute standen zunächst keine neuen Messungen auf dem Plan, sondern eine erste Erkundung der Ostmauer, einem etwa 150m langen Abschnitt zwischen den Türmen 6 und 10. Diese Aufgabe übernahmen Armin, Wolfgang sowie Prof. Heister nach einer gemeinsamen Besprechung im Grabungshaus, wo mitgeteilt wurde, dass Herr Neumann an diesem Morgen krankheitsbedingt zurück nach Deutschland abreisen wird. Christian und Markus widmeten sich anschließend der kompletten Auswertung des Vortages. Zunächst wurde eine matrixförmige Datei in Excel angelegt, in der die sichtbaren Zielzeichen mit den jeweiligen Scannerstandpunkten verknüpft wurden und so Klarheit brachten, welches Ziel wie oft angemessen wurde. Zielzeichen, die von LaserControl nicht voll getroffen oder gar verfehlt wurden, sind von Hand „gefittet“ worden um so die Genauigkeit zu erhöhen. Im Anschluss daran wurden alle Standpunkte gefiltert, um die Datenmenge zu reduzieren und gleichzeitig das Messrauschen durch Staub und andere Objekte zu eliminieren. Da die darauf folgende

Registrierung und Georeferenzierung noch nicht die geforderten Genauigkeiten brachten, wurden die Zielzeichen mit den größten Abweichungen deaktiviert, um so die Vorgaben einzuhalten. Nach dem Abendessen gab es bei einem Bier noch erste Planungen für die Aufnahme der Ostmauer am Folgetag.



„tägliche Auswertung im Geodätenzimmer“

Sonntag, 12. September 2010

Wie bereits am Vorabend festgelegt, ging es heute schon gegen 6.15 Uhr an unsere lieb gewonnene Stadtmauer. Bis zum großen Frühstück hatten wir uns wieder vorgenommen, den Messaufbau als solchen inklusive unserer „Zielzeichenphalanx“ im Bereich der östlichen Stadtmauer aufzubauen, was auch problemlos gelang. Unmittelbar nach dem traditionell guten Frühstück mit Eiern, Salaten, Obst und landestypischem Brot machten wir uns an die Messarbeiten, welche von zwei Einzelteams abgearbeitet wurden. Auch Catharine unterstützte uns wieder tatkräftig, wo sie nur konnte. Schließlich kamen wir auch an diesem Tag auf ansehnliche 25 Standpunkte und gingen verrichteter Dinge gegen 13.40 Uhr zum Mittagessen. Aufgrund der Strapazen am Morgen und der Temperaturen bis 45° Grad im Schatten machten wir direkt nach dem Essen ein kleines Mittagsschläfchen bis zum Tee um 16 Uhr. Danach wurden sämtliche Daten übertragen und die Vollzähligkeit der Geräte sichergestellt. Am Abend luden die Mitarbeiter der TU Berlin zum Vortrag über ihre große Türkei-Exkursion, die vom 30.08. bis 04.09.2010 durchgeführt wurde. Beeindruckende Bilder und interessante

Geschichten waren zu sehen und zu hören, die uns auch noch beim Abendessen und beim gemütlichen Beisammensein bis etwa 23 Uhr beschäftigen und für Gesprächsstoff sorgen.

Montag, 13. September 2010

Getreu unserem Arbeitsrhythmus stand heute wieder die Auswertung der Messdaten vom Vortag im Fokus. Zunächst wurden aber nach dem Tee gegen 6.45 Uhr die „kühlen“ Morgentemperaturen ausgenutzt, um bereits den Messaufbau für die Aufnahme des großen Nordostturmes und einem kleinen Mauerstück bis Turm 11 für den Folgetag zu planen und zu dokumentieren. Während Markus und Christian ab dem großen Frühstück mit der Registrierung der östlichen Mauer zwischen Osttor und Nordostturm beschäftigt waren, sägte der Rest des Teams stabile Holzbretter zurecht, die für weitere Messungen als Verstärkungen für unsere relativ labilen Auto-Targets, neuartige Zielzeichen von Z+F für die automatische Erkennung und Dokumentation, dienten. Nach getaner Arbeit stand noch ein Highlight auf dem Plan. Die Zisternen der Ruinenstadt wurden als idealer Standort für das Betrachten des hiesigen, immer wieder beeindruckenden Sonnenuntergangs hinter den Mauern Resafas genutzt, wo Dorothée eine Delegation aus Damaskus in Empfang nahm. Hier wurde dann bei Bier und kleinen Leckereien die Szenerie genossen und bis in die Dunkelheit hinein über dies und jenes geplaudert, bevor es zum Abendbrot ins Grabungshaus zurück ging.



„diverse Leckereien zum Abendessen“

Dienstag, 14. September 2010

Erneut ging es heute an die beeindruckende Stadtmauer Resafas, um die Aufnahme des Nord-Ost-Turmes wie geplant durchzuführen. Der Reiz dieses Messobjektes bestand darin, selbst verwinkelte Ecken, wie beispielsweise eine kleine Wendeltreppe westlich des eigentlichen Turmes zu scannen und somit eine nahezu lückenlose Aufnahme dieses Gebäudekomplexes zu realisieren. Zudem macht die Stadtmauer hier den Knick nach Westen, um uns ihr letztes zu messendes Teilstück, die Nordmauer zwischen dem Nord-Ost-Turm und Turm 15, zu offenbaren. Gegen 13.30 Uhr wurde die Aufnahme des Turmes mit insgesamt 26 Standpunkten erfolgreich abgeschlossen, bei der wir auch erste Eindrücke von den Auto-Targets sammeln konnten und gespannt sein durften, wie sich diese bei der Registrierung verhalten würden.

Mittwoch, 15. September 2010

Neben der Auswertung der Messdaten vom Nord-Ost-Turm stand heute die Photogrammetrie wieder stärker im Fokus. In der späteren Nachmittagssonne, nach kleineren Besprechungen und Erkundungen des Folgetages, haben Markus und Christian im nördlichen Bereich der Stadtmauer ausgewählte Bögen des Wehrganges fotografiert um zu überprüfen, inwieweit sich die Photogrammetrie für spezielle Bereiche, die für einen Laserscanner nur schwer erreichbar sind, eignet. Die Auto-Targets ließen sich zunächst nur sehr zeitaufwendig registrieren und zeigten bereits ab einer mittleren Entfernung von 15-20m erste Ungenauigkeiten bei der automatischen Detektion, so dass zahlreiche Ziele von „Hand“ registriert werden mussten. Gegen Abend konnte auch diese Aufgabe als abgeschlossen betrachtet werden und es lagen für den 3. Scantag Genauigkeiten unter 14 mm für die Georeferenzierung vor.

Donnerstag, 16. September 2010

Heute stand der wohl größte Abschnitt des gesamten Projektes auf dem Programm. Der etwa 150m lange Abschnitt von Turm 10 zu Turm 15 wurde nicht nur von außen und innen gescannt sondern auch der sehr gut erhaltene Wehrgang innerhalb der Mauer war Bestandteil dieses Teilabschnitts. Somit kamen wir auf stolze 36 Standpunkte mit einem Datenvolumen von 16,2 GB. Nach der Vollzähligkeit und dem Rückbau der Zielzeichen verlegten wir um 15.30 Uhr zurück zum Grabungshaus um uns zunächst eine kleine Verschnaufpause zu gönnen. Nach dem Tee wurde dann mit der ersten Sichtung der Daten begonnen, um für den Folgetag eine reibungslose Auswertung vorzubereiten. Am Abend stand dann eine kleine Filmvorführung an, bei der wir zunächst einen „spektakulären“ Stummfilm aus dem Heimatort von Ines anschauen durften und die spannende Reise der Kühe über einen Tiroler Kamm zum Weideland bestaunen konnten. Danach amüsierten wir uns mit einigen Episoden von „Shaun, das Schaf“, bei der uns auch noch einige Kinder aus dem Dorf Gesellschaft leisteten.

Freitag, 17. September 2010

Die Auswertung des letzten Teilabschnittes nahm heute nochmals unsere komplette Aufmerksamkeit in Anspruch. Schon alleine wegen der immensen Anzahl von Stand- und Verknüpfungspunkten war hier höchste Konzentration gefragt, um keine Verwechslungen zu provozieren, was bis auf einen Standpunkt auch gut gelang. Die leichte Verwirrung bei der Registrierung konnte aber schnell in Klarheit umgewandelt werden, als die vertauschten Zielzeichen detektiert wurden. Andere Mitglieder des Grabungsteams und auch Wolfgang begaben sich am Nachmittag an den gewaltigen Assad-Stausee, um sich im 30°C warmen Wasser etwas zu erfrischen. Sie kamen leider etwas zu spät, um den hiesigen Sonnenuntergang vom 16 Meter hohen Baugerüst der Basilika „A“ mitzuerleben, von dem aus Christian, Markus, Armin und Herr Heister gemeinsam mit Tobias von der TU Berlin, dem Baustatiker Friedjof und dem Bauingenieur Shafik bei einem kühlen Bier den Tag langsam ausklingen ließen.

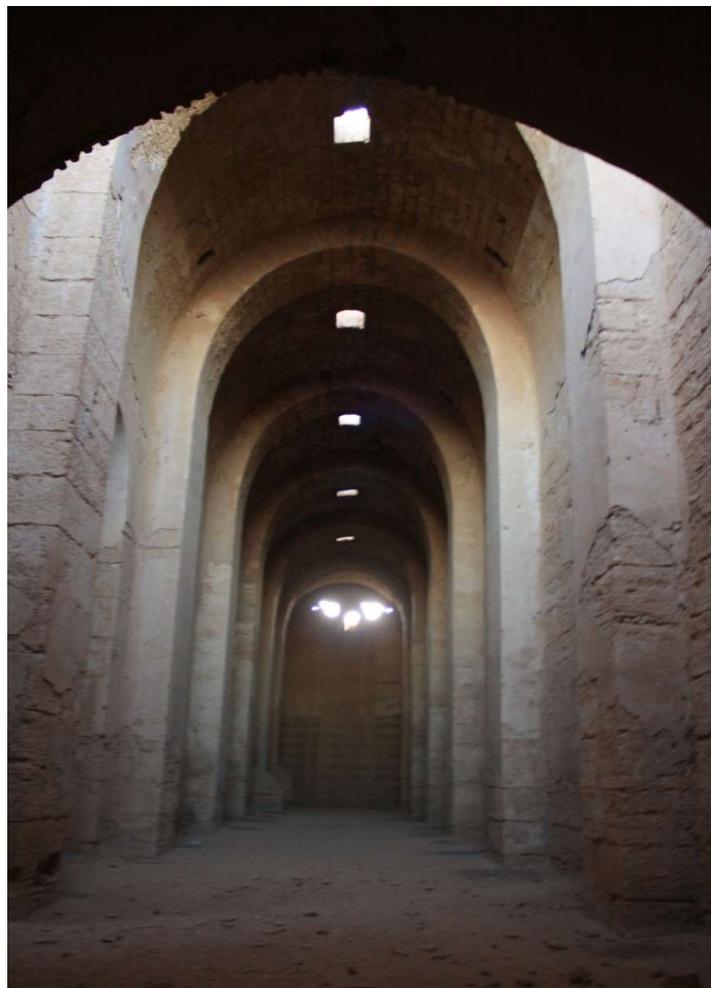
Samstag, 18. September 2010

Nach getaner Arbeit an unserem eigentlichen Hauptprojekt war nun noch etwas Zeit übrig, um die messtechnischen Wünsche einiger Archäologen vor Ort zu erfüllen. Dazu wurden die 3D-Aufnahmen von 4 weiteren Türmen im Westen der Stadtanlage diskutiert und vor Ort erkundet. Diese sollten aber zunächst nur im lokalen System erfolgen und erfordern somit keine Georeferenzierung. Zusätzlich bat uns Ines, die Apsiden von Basilika „B“ und Basilika „C“ zu scannen, was ebenfalls in die weiteren Messplanungen eingebunden wurde. Als letzter Wunsch wurde die Aufnahme der gewaltigen Zisternen im Südwesten Resafas besprochen, bei der wir uns auch zur Anbringung zusätzlicher Festpunkte zur Georeferenzierung bereit erklärten. Die Aufnahme der Zisterne war zudem ein Anliegen von Herrn Heister und Wolfgang, sodass bereits am nächsten Tag dieses Projekt in Angriff genommen werden sollte. Als nächstes machten wir uns an die Anfertigung unseres Arbeitsberichtes, der nach dem Nachmittagste in Erstfassung an Prof. Heister gegeben wurde und seine Verbesserungswünsche bis zum Abendbrot eingearbeitet wurden. Für den Arbeitsbericht wurden bereits einige Daten von ausgesuchten Teilen des Osttores so aufbereitet, dass man erste Ergebnisse anschaulich darstellen konnte. Gleichzeitig begannen wir damit, die Stand- und Zielpunktübersichten zu digitalisieren um somit einen besseren Überblick zu erhalten und eine bessere Darstellung für unsere Diplomarbeit zu ermöglichen. Am letzten gemeinsamen Abend vor der Abreise von Herrn Heister wurde auf den erfolgreichen Abschluss des Hauptprojektes angestoßen und vertiefende Gespräche rund um die Geodäsie, Politik und Wirtschaft geführt.

Sonntag, 19. September 2010

Die Zisternenaufnahme wurde bereits in aller Frühe in Angriff genommen und das Material bereits gegen 6.25 Uhr auf das Fahrzeug verladen. Während sich Christian und Wolfgang um

den Aufbau und die Aufnahme im Außenbereich kümmerten und durch Anbringung von Festpunkten die Georeferenzierung sicherstellten, begaben sich Armin und Markus in den Innenbereich der Zisternen um diese Bogen für Bogen lückenlos aufzunehmen. Unterstützt wurden wir dabei von Catharine und Nicole, die halfen, das Material in die über 10m tiefen Zisternen zu befördern. Nach 4 Scans im Außenraum und 16 Scans im Innenraum wurde auch diese Aufgabe pünktlich zum Frühstück um 9.20 Uhr abgeschlossen. Gleich nach dem üppigen Frühstück machten wir uns an die Datenübertragung und die Registrierung des Zisternenprojektes. Da die neu angebrachten Festpunkte noch nicht koordinatenmäßig bestimmt wurden, erfolgte zunächst keine Georeferenzierung, bis die GPS-Daten über diese Punkte vorlagen. Am Nachmittag gegen 13 Uhr verabschiedete sich Herr Heister, der sich auf seine Rückreise über Damaskus zurück nach Deutschland machte.



„Aufnahme der großen Zisternen – linker Teilblock“

Montag, 20. September 2010

Die letzte Woche in Resafa stand vor der Tür. Die geplanten Messungen nahmen heute die Zeit zwischen dem morgendlichem Tee und dem wie immer leckeren Frühstück in Anspruch. In 2

Teams wurden zum einen die 4 erwähnten Türme und zum anderen die Apsiden der Basiliken aufgenommen. Ersteres hatte besonders viel Spaß bei der Arbeit, als der Trupp mit Schubkarre und Leiter unterm Arm von Turm zu Turm zog, um seine Messungen durchzuführen. In der Auswertung am Nachmittag wurden dann die ersehnten Punktwolken für Catharine und Ines gesichtet und der Datensatz übergeben. Zum Ende von Armins Aufenthalt, der am Folgetag abreisen wird, verpackten wir nochmals ein paar kühle Bier und begaben uns zum Sonnenuntergang auf die Gerüstplattform der Basilika „A“. Dort trafen wir uns dann noch mit Wolfgang und zu viert wurde bis in die Dunkelheit hinein über die nun bald hinter uns liegende Messkampagne und vor uns liegenden „Abenteuer“ in Palmyra und Damaskus geredet.



„Messung in den großen Zisternen“

Der Morgen begann sehr entspannt, da zunächst keinerlei Messungen und Auswertungen anstanden. Gegen 8 Uhr verabschiedete sich Armin, der sich zu seiner Reise nach Damaskus und letztlich zurück nach Deutschland aufmachte. Nach dem Frühstück wurde „klar Schiff“ im Geodätenzimmer gemacht. Anschließend entfernte Wolfgang die restlichen Klebe-Zielzeichen an der Stadtmauer, während Markus und Christian bei guter Musik die Stand- und Zielpunktübersichten digitalisierten und den Daten etwas „Schliff“ verliehen. Bei mehrfachen kurzen Stromausfällen gestaltete sich diese Arbeit etwas schwieriger, da sich die Haltbarkeit der Akkus dem Ende neigte. Am Abend stand eines der Highlights an, als für alle Mitarbeiter ein großes Grillen mit leckeren Fleischspießen veranstaltet wurde und sich bei kühlem Bier und Arak gestärkt wurde. Erst gegen 23:30 Uhr gingen die letzten von der Terrasse in ihre Betten.

Mittwoch, 22. September 2010

Beim morgendlichen Tee um kurz vor 6 wurden von Dorothée und Ibrahim die lang ersehnten Gallabien vom Schneider aus Raqqa verteilt. Jeder Kampagnenteilnehmer erhält als Dank eine maßgeschneiderte Gallabie in einem von ihm gewählten Tuch. Markus und Christian

entschieden sich für das sehr elegante und schwere schwarze Tuch mit schwarzen Stickereien. Vor und nach dem großen Frühstück wurde von Wolfgang, Markus und Christian das gesamte Material gesäubert und wieder in die 6 zur Verfügung stehenden Metall-Kisten verpackt. Überraschenderweise brachten wir auf Anhieb alles unter und musste nicht mehr groß umpacken. Letzte Digitalisierungen wurden noch vor dem Mittagessen und der Siesta durchgeführt. Allgemein schien der Tag sehr wolkig und zum ersten Mal seit 15 Tagen drang kaum Sonnenlicht auf die Erde. Dies widerspiegelte sich auch bei leichtem Regenfall und mehreren heftigen Sandstürmen am Nachmittag und frühen Abend. Catharine zeigte uns die Funktionsweise von LupoScan zur Erstellung ihrer Schnitte und für die Generierung von Orthophotos und wie sie unsere Daten dafür einsetzt. Kurz vor dem Abendbrot wurden die Rechnungen für die privaten Einkäufe und den Genussmittelverzehr mit Dothy beglichen, wo sich auch gleich die Möglichkeit ergab noch ein paar Euro für unsere Reise nach Damaskus in syrische Pfund einzutauschen. Schlafenszeit heute schon gegen 22:40 Uhr.

Donnerstag, 23. September 2010

Stromausfall in der Nacht gegen 2 Uhr. Auch der heutige morgen war nicht sehr sonnig aber allgemein doch sehr warm. Nach erneuten Sandstürmen in der Nacht reinigten wir unsere Dokumente und die Arbeitsplätze im Geodätenzimmer. Nahezu alles war mit einer feinen Sandschicht bedeckt. Mit Martin wurden noch Daten ausgetauscht und wir erhielten die Jahrbücher von Dothys Institut aus den Jahren 2004 bis 2010 digital. Letzte „entlehene“ Ausrüstung wurde zurückgegeben. Wolfgang und Christian schauten sich die imposanten Steinbrüche im Osten Resafas an, wo einst das gesamte Steinmaterial zum Bau der Stadt gewonnen wurde. Die Notebooks wurden an eine Autobatterie angeklemt, da noch immer kein Ende des Stromausfalls in Sicht war. Nach dem großen Frühstück wurden von Martin die Gesamtergebnisse unserer Arbeit betrachtet und gleichzeitig die Format-Möglichkeiten abgesprochen in der die Daten übertragen werden sollen/können. Nach einer ausgedehnten Siesta am Nachmittag wurden die privaten Dinge eingepackt. Strom gab es wieder gegen 16:20 Uhr. Am Abend gab es noch einen Vortrag über eine weitere Exkursion die am Wochenende zuvor von Dothy und einigen Mitarbeitern zu anderen Grabungen in Syrien unternommen wurde. Der Abend endete mit lustigen Gesprächen und einem Gläschen Arak gegen 23 Uhr.

Freitag, 24. September 2010

Der heutige Morgen stand ganz unter dem Fokus der Abreise Richtung Palmyra, unserem ersten touristischen Zwischenziel auf dem Weg in die Hauptstadt Damaskus. Bereits gegen 8 Uhr waren alle privaten Dinge in die Koffer verpackt und wir erwarteten unser letztes Frühstück hier im Grabungshaus, bei dem wir uns nochmal kräftig für die Reise stärkten. Gegen 10 Uhr verluden wir die Koffer nachdem wir uns von allen Grabungsmitgliedern verabschiedet hatten und traten gemeinsam mit unserem Fahrer Mohammed, dem ältesten Sohn von Achmed, die Reise ins knapp 200km entfernte Palmyra an. Auf etwa halber Strecke besichtigten wir das

„Wüstenschloss“, einer Ruine und ehemaligen Residenz des Kalifen. Gegen 13:15 Uhr trafen wir in Palmyra ein und Mohammed erklärte uns noch die örtliche Busstation Kadmous bevor er uns direkt am Zenobia Palace, unserem Hotel für die kommende Nacht, absetzte. Nach dem einchecken im modernen Dreibettzimmer entschieden Christian und Markus sich direkt für einen ersten Geschmackstest des Buffets im Restaurant während Wolfgang ein Nickerchen machte. Gegen 16:30 besichtigten wir die Haupteinkaufsstraße Palmyras und kauften Getränke, Obst und Postkarten. Nach einem erfrischenden Bier an der Hotelbar besuchten wir die Zitadelle von Palmyra in den Bergen von wo aus wir einen atemberaubenden Blick über die Ruinen im Abendrot hatten. Gegen 20:30 Uhr gingen wir zum Abendessen ins Hotel-Restaurant, wo wir erneut mit einem reichhaltigen Buffet überrascht wurden und nun auch Wolfgang wieder kräftig zulagte weil er ja am Mittag nichts gegessen hatte. Bei Bier und Arak erzählte uns Wolfgang lustige Geschichten seiner Bundeswehrzeit sowie seiner Studienzeit an der UniBw München während wir ihm die heutigen Veränderungen in der Offizierausbildung näher brachten. Gegen 23 Uhr fielen wir total müde in die Betten.

Samstag, 25.09.2010

Nach erholsamen 8 Stunden Schlaf, die wir bitter nötig hatten, erwachten wir gegen 7 Uhr und machten uns zum Frühstück bereit. In Buffetform erwartete uns eine riesige Auswahl an Backwaren, Torten, Marmelade und Müsli. Da in diesen frühen Morgenstunden die Temperaturen noch entsprechend niedrig waren, entschieden wir uns für eine Besichtigung der Ruinen von Palmyra. Während Wolfgang sich im Anschluss noch eine Besichtigung des Baal-Tempels gönnte gingen Markus und Christian in die Stadt um für die Fahrt nach Damaskus noch Getränke und Süßigkeiten einzukaufen. Nach einer kurzen Siesta räumten wir um 11:45 Uhr das Hotelzimmer, checkten aus und wurden per Taxi zur örtlichen Busstation Kadmous gebracht, von wo aus regelmäßiger Reisebusverkehr nach Damaskus angeboten wurde. Der Kauf von Tickets gestaltete sich zunächst schwierig, da der Mittagsbus mit Abfahrt um 12:40 Uhr angeblich schon ausgebucht war. Dies betraf allerdings mehrere Personen und so wurde schließlich nach längerer Diskussion ein zusätzlicher Bus organisiert. Nach einer Wartezeit von ca. 90min und mehr und mehr genervten Personen teilte man uns mit, dass der 2. Bus defekt sei und derzeit in Palmyra bei einem anderen Busunternehmen ein weiterer Bus angefordert wurde. Dieser traf schließlich auch ein und um 14:55 Uhr ging es im stickigen Bus bei etwa 40 Grad die 230km nach Damaskus. Verschwitzt und Müde trafen wir um 18:10 Uhr am Hauptbusterminal in Damaskus ein. Ein überteuertes Taxi brachte uns zum Sultan Hotel im Zentrum der Stadt. Nach einer erfrischenden Dusche erkundeten wir die Hauptstraße und hielten Ausschau nach einem Lokal, um uns endlich zu stärken. Wir entschieden uns für das Abu Kamal und durften uns auf ein reichhaltiges und günstiges Abendessen freuen. Gegen 21:45 Uhr liefen wir zurück zum Hotel und gingen nach einem Kurzfilm gegen 22:45 Uhr erschöpft ins Bett.

Sonntag, 26.09.2010

Heute stand die Besichtigung der Hauptstadt Syriens auf dem Programm. Doch zunächst stärken wir uns gegen 8 Uhr im Restaurant des Sultan Hotels mit einem einfachen Frühstück bestehend aus Brötchen, schwarzem Tee, Butter sowie Erdbeer- und Aprikosenmarmelade. Allgemein fiel uns auf, dass der Tag sehr staubig und trist war. Es lag ein Smog über der Stadt und die Sichtweite betrug höchstens 300m. Direkt gegenüber dem alten Hauptbahnhof im Zentrum der Stadt befand sich ein Reisebüro der Syrian Air wo wir uns den Heimflug bestätigen ließen bevor wir uns zur Umayyaden-Moschee aufmachten. Anschließend besuchten wir die Souqs, die Einkaufsstraßen, rund um die Umayyaden-Moschee und kauften kleine Souvenirs. Gegen 12:30 Uhr entdeckten wir ein kleines gemütliches Café am Rande der Souqs wo wir belegte Baguettes als Mittags-Snack aßen. Nach dem Essen entschied sich Wolfgang direkt zum Friseur gegenüber zu gehen während wir uns auf den Weg zurück zum Hotel machten und uns auf eine kleine Siesta im klimatisierten Hotelzimmer freuten. Am Nachmittag war ein Besuch im legendären Hammam al Malik al Zahir aus dem 12. Jahrhundert geplant. Wir genossen das Dampfbad, die Waschung und die anschließende Massage. Nach etwas Ruhe wurde uns ein Tee und Mineralwasser serviert. Gegen 18 Uhr verließen wir müde und nun auch hungrig das Badehaus. Zunächst aber standen wir noch vor der nahezu unlösbaren Aufgabe Knoblauch auf dem Gewürzmarkt zu finden, was letztendlich mit einigen sprachlichen Hindernissen auch erledigt wurde. Zum Abendessen wurde uns das Jarbi House, einem zunächst kleinen, unscheinbaren Restaurant in einer Seitenstraße der Souqs, empfohlen. Dies entpuppte sich als beeindruckendes Restaurant in einem größeren Innenhof und überraschte mit verschiedenen frisch gepressten Fruchtsäften und Mixed-Grill-Platten. Gegen 21:30 Uhr machten wir uns von dort aus wieder auf den etwa 30 minütigen Spaziergang zurück zum Hotel.

Montag, 27.09.2010

Heute trafen wir uns erst gegen 8:30 im Frühstücksraum des Hotels. Danach machten wir uns auf zum historischen Museum sowie zum Militärmuseum in Damaskus. Diese gewährten uns einige Eindrücke aus der Geschichte Syriens sowie auch Jahrhunderte alte Funde die auf syrischem Hoheitsgebiet gemacht wurden. Zu bewundern waren Handwerkzeug, Maschinen zur Feldarbeit, Kleidung und heimisches Inventar, militärisches Gerät aus der Vergangenheit sowie eine antike Münzsammlung. Anschließend entschieden wir uns über den Souq der Handwerker zu laufen und fanden dabei noch schöne handgearbeitete Ohringe und Halsketten. Nach einem kleinen Mittagessen in Form von lang ersehnten Cheeseburgern entschieden wir uns nochmals für eine kleinere Siesta bevor wir den Souqs rund um die Umayyaden-Moschee einen letzten Besuch abstatteten und ein weiteres Hammam besuchten. Den Abend verbrachten wir im Al Kahir Palace, einem sehr geschmackvollen Restaurant im Osten der Souqs. Mit Importbier, Arak und ordentlichen Fleischportionen ließen wir den letzten Abend bei gemütlichen Gesprächen ausklingen und kamen etwa gegen 22:30 Uhr zum Hotel zurück.

Dienstag, 28.09.2010

Der heutige Tag stand ganz im Fokus der Rückreise nach Deutschland. Das Taxi, das uns zum Flughafen bringen sollte wurde schon am Abend zuvor reserviert. Zum normalen Reisegepäck kamen nun ja auch noch die 4 Kisten mit den Scannern und Zubehör die wieder zurück nach Deutschland gebracht werden mussten. Um kurz nach 7 Uhr war Abfahrt des vollbeladenen Taxis. Die Fahrt zum Flughafen im Süd-Osten von Damaskus nahm etwa 35 Minuten in Anspruch und so kamen wir rechtzeitig an den noch verhältnismäßig leeren Airport. Wie vermutet bekamen wir zunächst Probleme bei der Gepäckkontrolle, da unsere Laserscanner doch weitgehend unbekannt sind und manch Sicherheitsbeamter es für eine mögliche Waffe hält. Doch nachdem die Zollpapiere zufriedenstellend geprüft wurden durften wir zum Check-In-Schalter passieren. In der Wartehalle gaben wir noch unsere letzten syrischen Pfund für Süßigkeiten und Souvenirs aus, bevor wir pünktlich um 10:05 Uhr ins Flugzeug einstiegen. Mit leichter Verspätung hoben wir in Damaskus ab und konnten ein letztes Mal die Wüste und die in ihr liegende syrische Hauptstadt bestaunen bevor wir nach Westen abbogen und über das Mittelmeer zurück nach Europa flogen. Gegen 13:40 Uhr setzten wir mit knapp 5 Minuten Verspätung in Frankfurt auf. Von nun an begann der Stress so richtig, denn unser ICE nach München, für den wir reservierte Sitzplätze hatten, fuhr schon um 14:25 Uhr los. Glücklicherweise war unser Gepäck rasch vollzählig und wir rannten mit 3 Gepäckwägen die letzten Meter zum Flughafenbahnhof. Doch mit etwas Anstrengung schafften wir es pünktlich ans Gleis, etwa eine Minute bevor der Zug einfuhr. Das Verstauen der insgesamt 7 Gepäckstücke erwies sich noch als kleines Hindernis welches aber auch sehr schnell gelöst wurde und wir uns erschöpft niederlassen konnten. Auch die 3,5 Stunden im Zug vergingen wie im Fluge und ehe wir uns versahen wurden wir von Herrn Barth, einem Labormitarbeiter, am Gleis abgeholt. Die Rückfahrt zur Uni verlief dem Innenstadtverkehr Münchens entsprechend und gegen 19:15 Uhr trafen wir zufrieden und müde an der Uni ein.

3.2 Impressionen aus Resafa

„das letzte Sonnenlicht des Tages“



„Hier sägt der Chef noch selbst“



„Baugerüst nach EU-Norm“



„Beercall mit Tobias und Shafik“



„immer Spaß bei der Arbeit“



„Malika“ schwer beladen mit geodätischen Instrumenten



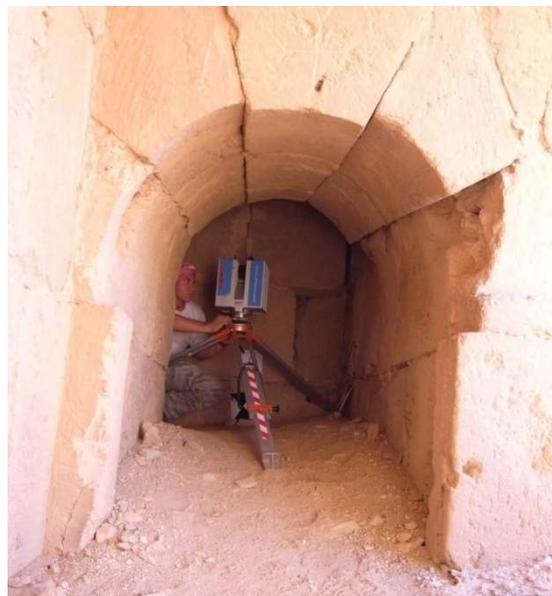
„Shaun, das Schaf“



„Ab und zu wurde es uns mal zu warm“



„Imager 5006 und Osttor vom Innenbereich“



„jede Kleinigkeit wurde dokumentiert“



„wohin mit der Schubkarre?“



„Blick auf die sanitären Anlagen“



„typisches Wohnhaus aus Lehm für 6-8 Personen“



„Restaurationsmaßnahmen am Süd-Ost-Turm“



„Restaurationsarbeiten Basilika A“



„Führung durch die Anlage mit Dothy“



„Blick nach Westen mit den großen Zisternen im Vordergrund“



„Osttor kurz vor Sonnenuntergang“



„Blick nach Westen aus der Basilika A“



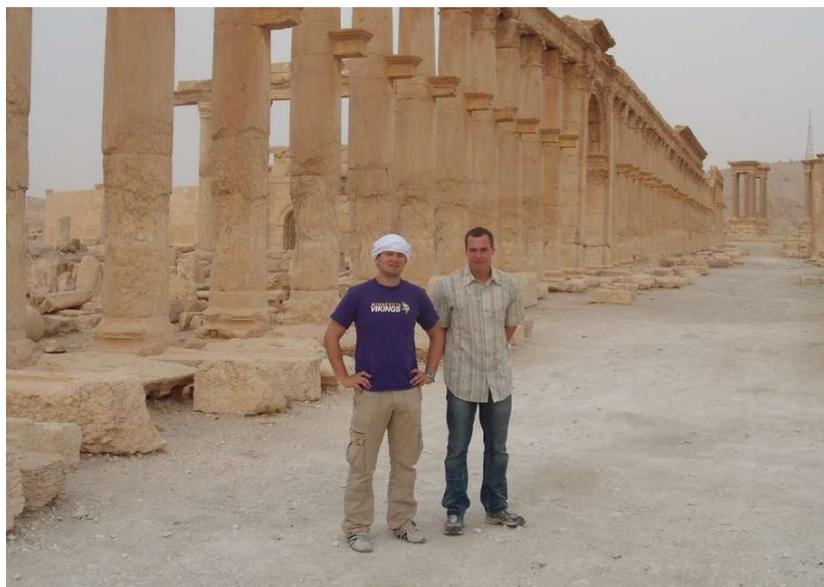
„tierische Begegnungen in Resafa“ (oben u. unten)



3.3 Palmyra



„antike Grabungsstätte Palmyra“





„Baal-Tempel Palmyra“



„Fernöstliche Kollegen bei der Arbeit – man beachte die Anordnung der Zielzeichen!!!“



„unser Hotel in Palmyra“



„klassische Souvenir- und Einkaufsläden in Palmyra“

3.4 Damaskus



„allmorgendlicher Smog über Damaskus“



„Souq – Einkaufsstraße in Damaskus“



„Verkehrsverhältnisse in Damaskus“



„Besuch der Umayyaden-Moschee“



„Hamam-Besuch in Damaskus“

Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München

Bisher erschienene Hefte:

Heft 1/1978 (*vergriffen*)

Schödlbauer, Albert (Bearb.): Curriculum für den wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München. 53 S.

Heft 2/1978

Chrzanowski, Adam / Dorrer, Egon (Hrsg.): Proceedings „Standards and Specifications for Integrated Surveying and Mapping Systems“. Workshop held in Munich, Federal Republic of Germany, 1-2 June, 1977. Assisted by *J. McLaughlin*. VII, 181 S.

Heft 3/1978

Caspary, Wilhelm / Geiger, Axel: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungsmesser. 62 S.

Heft 4/1979

Baumann, Eberhard / Caspary, Wilhelm / Dupraz, Hubert / Niemeier, Wolfgang / Pelzer, Hans / Kuntz, Eugen / Schmitt, Günter / Welsch, Walter: Seminar über Deformationsanalysen, gehalten an der Hochschule der Bundeswehr München. 106 S.

Heft 5/1981

Torlegård, Kennert: Accuracy Improvement in Close Range Photogrammetry. 68 S.

Heft 6/1982

Caspary, Wilhelm / Welsch, Walter (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. 271 S.

Heft 7/1982

Borre, Kai / Welsch, Walter M. (Hrsg.): International Federation of Surveyors – FIG. Proceedings „Survey Control Networks“. Meeting of Study Group 5B, 7th-9th July, 1982, Aalborg University Centre, Denmark. 431 S.

Heft 8/1982

Geiger, Axel: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente. Dissertation. 125 S.

Heft 9/1983

Welsch, Walter (Hrsg.): Deformationsanalysen '83. Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen Geodätischer Netze. Beiträge zum Geodätischen Seminar 22. April 1983. 339 S.

Heft 10/1984

Caspary, Wilhelm / Schödlbauer, Albert / Welsch,

Walter (Hrsg.): 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Beiträge aus dem Institut für Geodäsie. 244 S.

Heft 11/1984 (*vergriffen*)

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 23. September 1983. 270 S.

Heft 12/1984

Schwintzer, Peter: Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen. Dissertation. 159 S.

Heft 13/1984

Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung. 81 S.

Heft 14/1984

Neukum, Gerhard: Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse. Mit Beiträgen von *G. Neugebauer*. Herausgegeben von *G. Neugebauer*. 102 S.

Heft 15/1984

Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): Satelliten-Doppler-Messungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar 24./25. September 1984. 396 S.

Heft 16/1985 (*vergriffen*)

Szacherska, Maria Krystyna / Welsch, Walter M.: Geodetic Education in Europe. 234 S.

Heft 17/1986

Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W.: A Contribution to 3d-Operational Geodesy. Part 4: The Observation Equations of Satellite Geodesy in the Model of Integrated Geodesy. 190 S.

Heft 18/1985

Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil II. 116 S.

Heft 19/1986 (*vergriffen*)

Landau, Herbert / Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W.: GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy. 210 S.

Heft 20/1985

Heft 20-1

Welsch, Walter / Lapine, Lewis A. (Hrsg.): International Federation of Surveyors – FIG. Proceedings „Inertial, Doppler and GPS Measurements for

- National and Engineering Surveys“. Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1-3, 1985. Band 1. 310 S.
- Heft 20-2
Welsch, Walter / Lapine, Lewis A. (Hrsg.): International Federation of Surveyors – FIG. Proceedings „Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys“. Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1-3, 1985. Band 2. S. 311 - 634.
- Heft 21/1986
Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil III. 100 S.
- Heft 22/1987
Caspary, Wilhelm / Hein, Günter W. / Schödlbauer, Albert (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Geodätisches Seminar 25./26. September 1986. 386 S.
- Heft 23/1987
Dorrer, Egon / Peipe, Jürgen (Hrsg.): Motografie. Symposium 11./12. März 1986. 285 S.
- Heft 24/1987
Neugebauer, Gustav (Hrsg.): Brenta-Monographie – Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Hochgebirgskartographie. Mit Beiträgen von *D. Beineke, H. C. Berann, W. de Concini, G. Hell, D. Herm, H. Immel, U. Kleim, G. Neugebauer und K. Ringle.* 187 S.
- Heft 25/1987
Perelmuter, Avraam: Beiträge zur Ausgleichung geodätischer Netze. 75 S.
- Heft 26/1987
Ellmer, Wilfried: Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches. Dissertation. 109 S.
- Heft 27/1988
Heister, Hansbert: Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmeßinstrumente. Habilitationsschrift. 213 S.
- Heft 28/1987
Paßberger, Ernst H.: Systemstudie zur Sicherung ökologischer Vorrangflächen mittels Bodenordnung in Bayern / System study for the protection of ecological priority areas by means of Land rearrangement in Bavaria. Dissertation. 186 S.
- Heft 29/1987
Glasmacher, Hans: Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren. Dissertation. 131 S.
- Heft 30/1987
Zhang, Yan: Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze. Dissertation. 151 S.
- Heft 31/1988
Lechner, Wolfgang: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Dissertation. 165 S.
- Heft 32/1988
König, Rolf: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Dissertation. 143 S.
- Heft 33/1988
Borutta, Harald: Robuste Schätzverfahren für geodätische Anwendungen. Dissertation. 161 S.
- Heft 34/1988
Landau, Herbert / Hehl, Klaus / Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W. / Reilly, Ian W.: Operational Geodesy Software Packages. 325 S.
- Heft 35/1988
Oberholzer, Gustav / Paßberger, Ernst: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil IV. 153 S.
- Heft 36/1988
Landau, Herbert: Zur Nutzung des Global Positioning Systems in Geodäsie und Geodynamik: Modellbildung, Softwareentwicklung und Analyse. Dissertation. 287 S.
- Heft 37/1989
Eissfeller, Bernd: Analyse einer geodätischen raumstabilisierten Inertialplattform und Integration mit GPS. Dissertation. 327 S.
- Heft 38/1990 (*vergriffen*)
Heft 38-1
Schödlbauer, Albert (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil I: Global Positioning System. 352 S.
- Heft 38-2
Schödlbauer, Albert (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil II: Nivellement. Teil III: Vermessungskreisel. S. 353 - 551.
- Heft 39/1989
Kersting, Norbert / Welsch, Walter (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen. Seminar 8./9. Juni 1989. 307 S.
- Heft 40/1989
Oberholzer, Gustav: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung. 214 S.
- Heft 41/1990
Hein, Günter W. / Hehl, Klaus / Eissfeller, Bernd / Ertel, Michael / Jacoby, Wolfgang / Czerek, Dirk: On Gravity Prediction Using Density and Seismic Data. 148 S.
- Heft 42/1992
Kersting, Norbert: Zur Analyse rezenter Krustenbewe-

gungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen. Dissertation. V, 246 S.

Heft 43/1992

Hehl, Klaus: Bestimmung von Beschleunigungen auf einem bewegten Träger durch GPS und digitale Filterung. Dissertation. XII, 206 S.

Heft 44/1992

Oswald, Wolfgang: Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen. Dissertation. 128 S.

Heft 45/1993

Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 12.-14. Mai 1993. 314 S.

Heft 46/1994

Brunner, Kurt / Peipe, Jürgen (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. 254 S.

Heft 47/1994

Heft 47-1

Thiemann, Karl-Heinz: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil I: Renaturierungsleitbild, Naturschutzverfahren. XXXVI, 384 S.

Heft 47-2

Thiemann, Karl-Heinz: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil II: Planungsrechtliche Aspekte. XXXVI, S. 385 - 572.

Heft 48/1994

Schwartz, Christian: Experimente zur GPS-gestützten Aerotriangulation unter besonderer Berücksichtigung systematischer Einflüsse. Dissertation. VIII, 192 S.

Heft 49/1995

Scheuring, Robert: Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen. Dissertation. 126 S.

Heft 50/1997

Welsch, Walter M. / Lang, Martin / Miller, Maynard M. (Hrsg.): Geodetic Activities, Juneau Icefield, Alaska, 1981-1996. 268 S.

Heft 51/1996

Blomenhofer, Helmut: Untersuchungen zu hochpräzisen kinematischen DGPS-Echtzeitverfahren mit besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Fehlereinflüsse. Dissertation. X, 168 S.

Heft 52/1997

Wang, Jian Guo: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Dissertation. XV, 138 S.

Heft 53/1996

Chen, Guoping: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich. Dissertation. III, 128 S.

Heft 54/1997

Dold, Jürgen: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemeßsystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. Dissertation. 140 S.

Heft 55/1997

Eissfeller, Bernd: Ein dynamisches Fehlermodell für GPS Autokorrelationsempfänger. Habilitationsschrift. XII, 182 S.

Heft 56/1997

Sutor, Thomas: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich. Dissertation. 123 S.

Heft 57/1997

Oberholzer, Gustav: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung, Teil II. 186 S.

Heft 58/1997

Zhong, Detang: Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze. Dissertation. 160 S.

Heft 59/1997

Jiang, Ting: Digitale Bildzuordnung mittels Wavelet-Transformation. Dissertation. II, 136 S.

Heft 60/2000

Heft 60-1

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 1: Wissenschaftliche Beiträge und Berichte. 331 S.

Heft 60-2

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 2: Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen. 113 S.

Heft 60-3

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 3: Aus dem Leben des Instituts. 149 S.

Heft 61/1998

Cui, Tiejun: Generierung hochwertiger Digitaler Geländemodelle aus analogen Karten mittels Mathematischer Morphologie. Dissertation. 188 S.

Heft 62/1999

Brunner, Kurt / Welsch, Walter M. (Hrsg.): Hochgebirgs- und Gletscherforschung. Zum 100. Geburtstag von Richard Finsterwalder. 114 S.

Heft 63/1999

Fosu, Collins: Astrogeodetic Levelling by the Combination of GPS and CCD Zenith Camera. Dissertation. 155 S.

- Heft 64/1999
Werner, Wolfgang: Entwicklung eines hochpräzisen DGPS-DGLONASS Navigationssystems unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolites. Dissertation. 226 S.
- Heft 65/1999
Krack, Klaus: Dreizehn Aufgaben aus der Landesvermessung im Geographischen Koordinatensystem. 84 S.
- Heft 66/2000
Joos, Gerhard: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Dissertation. 150 S.
- Heft 67/2000
Sternberg, Harald: Zur Bestimmung der Trajektorie von Landfahrzeugen mit einem hybriden Meßsystem. Dissertation. 158 S.
- Heft 68/2000
Oberholzer, Gustav: Die Weiterentwicklung der Kulturlandschaft. Landespflege in der Flurbereinigung, Teil V. 150 S.
- Heft 69/2000
Hollmann, Rolf: Untersuchung von GPS-Beobachtungen für kleinräumige geodätische Netze. Dissertation. 350 S.
- Heft 70/2001
Roßbach, Udo: Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS. Dissertation. 167 S.
- Heft 71/2001
Beineke, Dieter: Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten. Dissertation. 155 S.
- Heft 72/2001
Oehler, Veit: Entwicklung eines „end-to-end“ Simulators zur Satellitennavigation unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolite gestützten GNSS-Landesystemen. Dissertation. 212 S.
- Heft 73/2001
Schüler, Torben: On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation. Dissertation. 370 S.
- Heft 74/2001
Neudeck, Stefan: Zur Gestaltung topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung. Dissertation. 131 S.
- Heft 75/2002
Shingareva, Kira B. / Dorrer, Egon: Space Activity in Russia – Background, Current State, Perspectives. 135 S.
- Heft 76/2002
Tiemeyer, Bernd: Performance Evaluation of Satellite Navigation and Safety Case Development. Dissertation. 151 S.
- Heft 77/2004
Shi, Wei: Zum modellbasierten Austausch von Geodaten auf Basis XML. Dissertation. 115 S.
- Heft 78/2004
Plan, Oliver: GIS-gestützte Verfolgung von Lokomotiven im Werkbahnverkehr. Dissertation. 115 S.
- Heft 79/2004
Ebner, Matthias: Ein Beitrag zur monetären Bewertung von digitaler Netzinformation in Versorgungsunternehmen. Dissertation. 107 S.
[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]
- Heft 80/2005
Forstner, Gustav: Längenfehler und Ausgangsmeridiane in alten Landkarten und Positionstabellen. Dissertation. 319 S.
- Heft 81/2006
Dutescu, Eugen: Digital 3D Documentation of Cultural Heritage Sites Based on Terrestrial Laser Scanning. Dissertation. 140 S.
- Heft 82/2007
Schäuble, Doris: Nutzungstausch auf Pachtbasis als neues Instrument der Bodenordnung. Dissertation. 176 S.
- Heft 83/2008
Pink, Sönke: Entwicklung und Erprobung eines multifunktionalen Geo-Sensornetzwerkes für ingenieur-geodätische Überwachungsmessungen. Dissertation. 180 S.
- Heft 84/2009
Gräfe, Gunnar: Kinematische Anwendungen von Laserscannern im Straßenraum. Dissertation. 177 S.
- Heft 85/2010
Heichel, Wolfgang: Chronik der Erschließung des Karakorum. Teil II – Central Karakorum I. 460 S.
- Heft 86/2010
Riesner, André: Möglichkeiten und Grenzen der Bewegung von Landentwicklungsprozessen und deren Nachhaltigkeit. Dissertation. 222 S.
- Heft 87/2012
Beineke, Dieter / Heunecke, Otto / Horst, Thomas / Kleim, Uwe G. F. (Hrsg.): Festschrift für Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner anlässlich des Ausscheidens aus dem aktiven Dienst. 328 S.
- Heft 88/2012
Lüdecke, Cornelia / Brunner, Kurt (Hrsg.): Von A(ltenburg) bis Z(eppelin). Deutsche Forschung auf Spitzbergen bis 1914. 100 Jahre Expedition des Herzogs Ernst II. von Sachsen-Altenburg. Tagung 2011 des Fachausschusses Geschichte der Meteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft und des Arbeitskreises Geschichte der Polarforschung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung, 24.-25. September 2011, Naturkundliches Museum Mauritianum, Altenburg. 120 S.

Heft 89/2012

Hinz, Silvia Arabella: Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung. Dissertation. 257 S.

Heft 90/2015

Krack, Klaus / Oberholzer, Gustav: Die Ostausrichtung der mittelalterlichen Kirchen und Gräber. 194 S.

Heft 91/2015

Strübing, Thorsten: Kalibrierung und Auswertung von lasertriangulationsbasierten Multisensorsystemen am Beispiel des Gleisvermessungssystems RACER II. Dissertation. 182 S.

Heft 92/2016

Soboth, Andrea: Gestaltete lokale Veränderungsprozesse – Change Management als neues Instrument der Landentwicklung. Dissertation. 226 S.
[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 93/2017

Hendricks, Andreas: Bodenrichtwertermittlung. Habilitationsschrift. 244 S.
[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 94/2018

Glabsch, Jessica: Konzeption und Realisierung kosteneffizienter GNSS-Monitoring-Systeme für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen. Dissertation. 156 S.

Heft 95/2018

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Kleim, Uwe G. F. / Mayer, Helmut / Pietzner, Gisela (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt zum 65. Geburtstag. 181 S.

Heft 96/2019

Krack, Klaus / Oberholzer, Gustav: Die Natur der Bienen und die dringend notwendige Umgestaltung unserer Agrarlandschaft – ein Vorschlag. 220 S.
[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 97/2020

Hesse, Franziska: Evaluation der Kommunikation in Flurneuordnungsverfahren an Beispielen in Bayern. Dissertation. 230 S.

Heft 98/2023

Wehner, Andreas: Entwicklung und Erprobung von Systemen zur automatisierten präzisen Punktabsteckung. Dissertation. 156 S.

Heft 99/2023

Pimpi, Julian: Rapid Prototyping für Anwendungen in der Ingenieurgeodäsie. Dissertation. 166 S.

Heft 100/2024

Heister, Hansbert / Liebl, Wolfgang / Stephani, Manfred (Hrsg.): Dokumentation geodätischer und photogrammetrischer Arbeiten in Resafa / Sergiopolis, Syrien im Zeitraum 2000 – 2010.

