

Die Domitilla-Katakombe in Rom

Baugeschichtliche Erforschung und Dokumentation eines subterranean Friedhofs der Antike mittels Photogrammetrie und Laser-Scanning

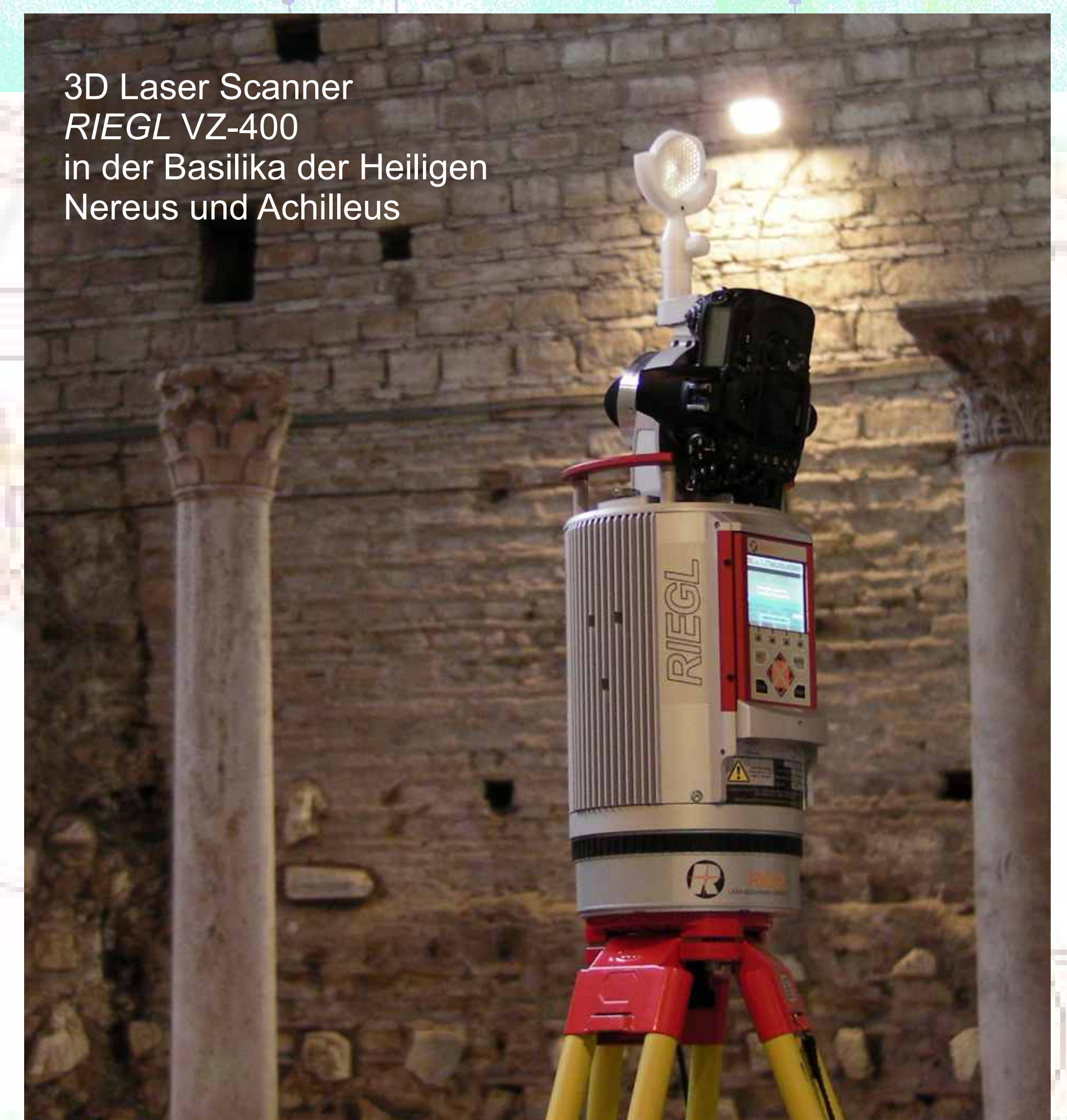
Gerold Eßer,
gerold.esser@tuwien.ac.at

Irmengard Mayer,
irmengard.mayer@tuwien.ac.at

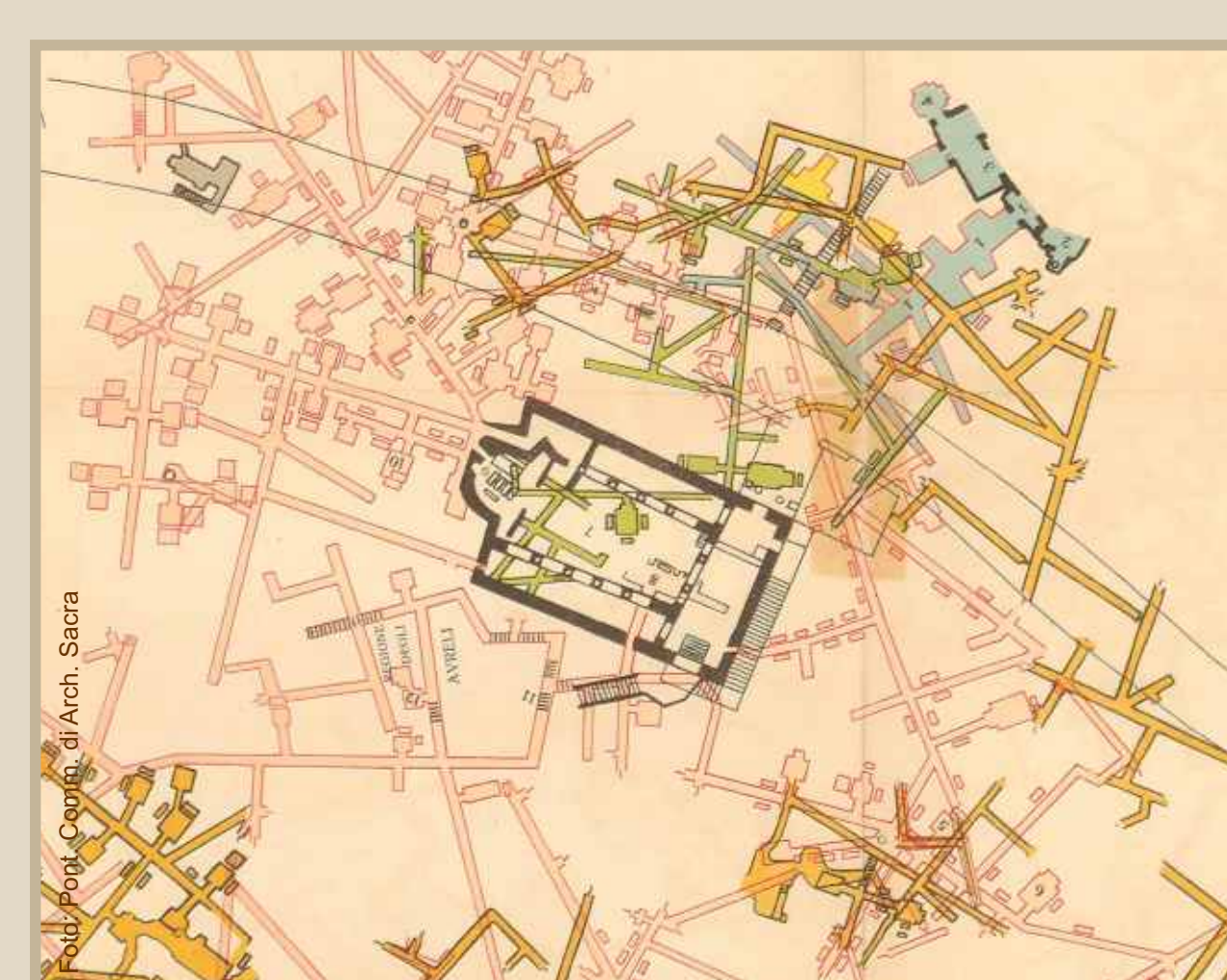
Nikolaus Studnicka,
nstudnicka@riegl.co.at

Kolloquium Altbergbau in Leoben 2009

Die Domitilla-Katakombe in Rom ist ab dem 2. Jahrhundert n. Chr. aus einer Abbau-stätte für vulkanische Baugesteine entstanden und wurde mit antiker Bergbau-technik sukzessive ausgebaut. Mit ihrem weit verzweigten Galeriesystem und einer großen Zahl erhaltener frühchristlicher Wandmalereien gehört sie zu den wichtigsten und archäologisch interessantesten unterirdischen Grabanlagen Roms. Dimension, räumliche Komplexität und amorphe Wandoberflächenstruktur haben ihre Vermessung seit jeher erheblich erschwert und ihre Erforschung bis in unser Jahrhundert hinein behindert.



3D Laser Scanner
RIEGL VZ-400
in der Basilika der Heiligen
Nereus und Achilleus



Historischer Katakombenplan: Palombi, 1907

Ein 2006 begonnenes österreichisches START-Forschungsprojekt hat es sich zum Ziel gesetzt, erstmals einen so großen Katakomben-Organismus in seiner Gesamtheit zu dokumentieren. In seiner bisher knapp vierjährigen Arbeit hat das Projektteam aus Archäologen, Bauforschern und Vermessungsspezialisten einen Tachymetrie, Laserscanning und Photogrammetrie kombinierenden Workflow etabliert, mit dessen Hilfe die Katakombe nunmehr in Gänze als digitales Geometrie- und Texturabbild existiert.

Projektziel

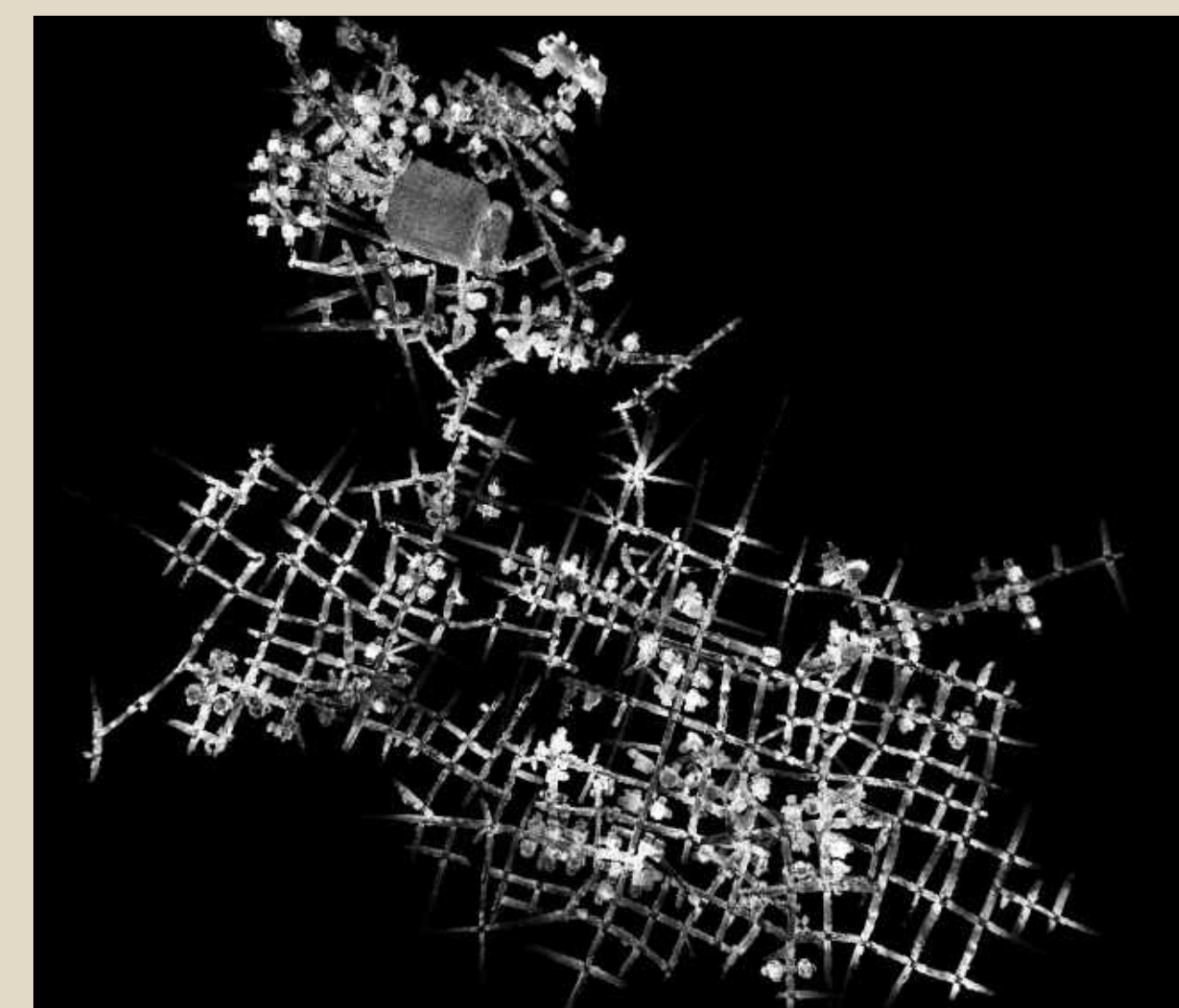
Ein wichtiges, übergeordnetes Ziel des Forschungsprojektes ist die Erstellung einer hochpräzisen, Geometrie und Textur vereinigenden Dokumentation der Architektur der Katakombe und der in ihr enthaltenen frühchristlichen Wandmalereien.

Das größte Hindernis für eine umfassende, formtreue Dokumentation der unterirdischen Grabanlage und ihrer auf amorphen Wand- und Deckenflächen haftenden Fresken ist die räumliche Komplexität, Enge und enorme Größe der aus dem Tuffgestein herausgearbeiteten Raumstruktur. Diese besteht aus einem ungeordneten, von strengen Geometrien abweichenden Raster unterirdischer Erschließungs- und Bestattungsgalerien, deren Gesamtlänge auf über 15 Kilometer geschätzt wird.

Darüber hinaus ist der in der Domitilla-Katakombe enthaltene Bestand von über 80 bis zu 1700 Jahre alten, bis heute nur unvollständig dokumentierten Wandmalereien von höchstem Interesse für die Forscherwelt, sind diese doch bis heute nur unter großem Aufwand zugänglich zu machen.

Die wichtigsten im Rahmen des Projekts erstellten Dokumentations-Produkte sind:

- ein formtreues, detailgenaues 3D-Modell des gesamten Katakombenkörpers (Punktwolke zur Dokumentation der Geometrie)
- ein texturiertes dreidimensionales Gesamtmodell für Visualisierungszwecke (farbige Punktwolke)
- ein vollständiges Kartenwerk aller Geschossbereiche der Katakombe (Grundrisse im Maßstab 1:100)
- detaillierte Grundrisse, Vertikalschnitte und orthophotographische Wandansichten der zentralen Regionen der Katakombe zur Nutzung in Archäologie und archäologischer Bauforschung
- formtreue und mit Echtfarben ausgestattete 3D-Modelle der frühchristlichen Malereien und ihres Architekturzusammenhangs



Grundriss aus knapp 2000 Scan-Positionen



Texturiertes 3D Modell

Aufnahmestrategie

Die Domitilla-Katakombe besteht aus bis zu vier untereinander in das lokale Tuffgestein gegrabenen Geschossen, die vertikal durch eine ganze Reihe antiker Zugangstreppen erschlossen werden. Die knapp zehn anfänglich unabhängig voneinander angelegten und jeweils über eigene Treppen erreichbaren Kernregionen der Katakombe sind im Laufe der Zeit zu dem heute größten römischen Friedhof der Antike zusammengewachsen. Vertikale Schächte verteilen sich unregelmäßig über das unterirdische Gangsystem. Sie sind meist vor den wichtigsten, mit Malereien besonders ausgestatteten Grabkammern reicher römischer Familien oder Berufsgenossenschaften angeordnet.

Während die Aufnahme der Oberflächengeometrien einem terrestrischen Laser-Scanner vorbehalten war, wurden alle Texturen mit Hilfe einer hoch auflösenden digitalen Spiegelreflexkamera aufgenommen. Zwecks Geo-Referenzierung der einzelnen Scans und Scancluster wurde ein übergeordnetes Netz hochreflektierender Targets ausgebracht. Alle Scan- und Photodaten konnten weitgehend spannungsfrei in ein zuvor geodätisch ausgeglichenes Polygonnetz eingehängt werden.

Technisches Equipment

Die Scans wurden hauptsächlich mit einem RIEGL LMS-Z420i 3D Laser Scanner ausgeführt. Vor allem in der Basilika wurde erstmals ein echo-digitalisierender Laser Scanner RIEGL VZ-400 eingesetzt. Die besonderen Weiterentwicklungen der neuen Baureihe sind die hohe Messrate, die Mehrzielfähigkeit, die kalibrierte Reflektivität, die Ausgabe eines Qualitätsmaßes für jede Entfernungsmessung und das besonders geringe Gewicht. [Datenblatt www.riegl.com] Die Kurzspezifikationen sind in der Tabelle zusammengefasst.

Aufnahmestrategie für Texturen

Eine auf dem Scanner fest installierte, kalibrierte Digitalkamera liefert unter ausgeglichenen Beleuchtungsbedingungen hinreichend nutzbare Texturen der vermessenen 3D-Objekte. In den nicht bemalten Grabbereichen wurden die so erstellten Photos zur automatischen Texturierung der entstehenden Punktwolken herangezogen.

Im Falle der archäologisch wertvollen, oft unrestaurierten und häufig unvollständig erhaltenen frühchristlichen Wandmalereien war aber eine abweichende Aufnahmestrategie erforderlich.

Nur durch Abtrennung des Scan-Vorgangs von der Aufnahme des digitalen Photomaterials war es möglich, in den bemalten Grabbereichen optimale, studioähnliche Beleuchtungsbedingungen bei der Aufnahme der Texturen herzustellen.

Mithilfe eines professionellen Beleuchtungssystems (Flächenleuchten der Fa. KINO FLO) unter Nutzung eines Photostativs mit Panoramafunktion (MANFROTTO 058B und 303 SPH) und einer digitalen Kamera (Canon EOS 1Ds mit 14mm-Objektiv) war die Aufnahme von zunächst noch unreferenzierten, qualitativ hochwertigen Texturen möglich, die anschließend teilautomatisiert mithilfe einer Photogrammetrie-Software (ADAMTECH 3dm Analyst) über in Bildpaaren oder -gruppen selektierbare gemeinsame Referenzpunkte orientiert werden konnten.

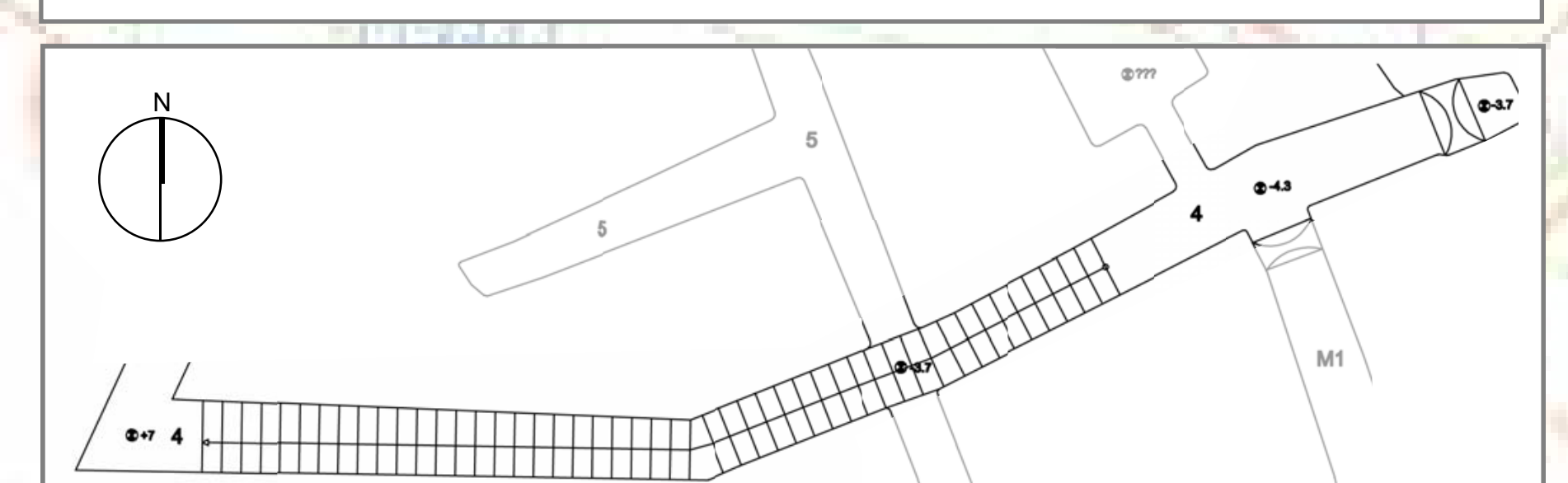
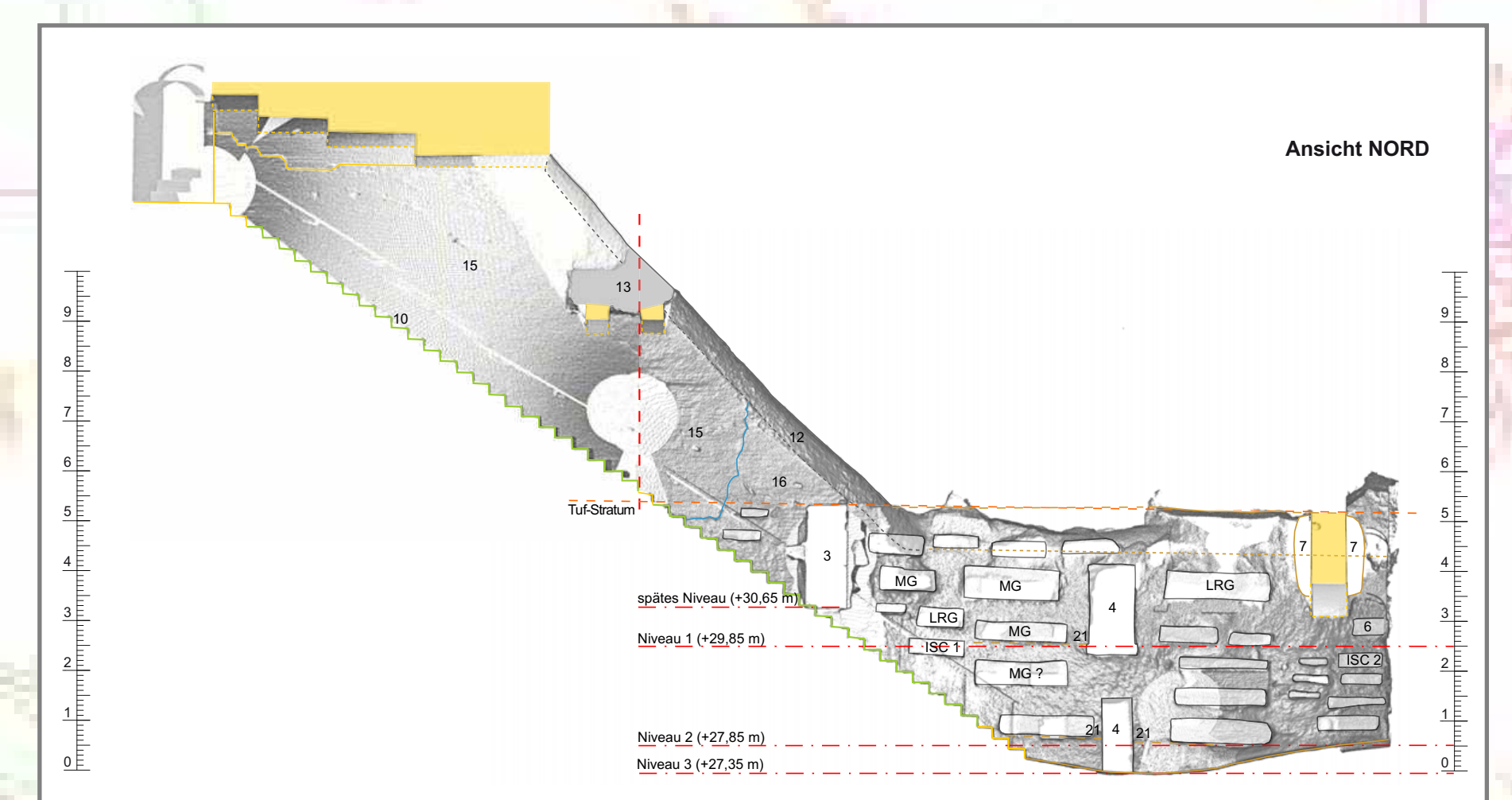
Eckdaten der Aufnahme

- Gesamtdauer des 3D-Scannings: 27 Wochen verteilt auf 11 Messkampagnen
- Teamgröße: 6 Personen (Tachymetrie / Photogrammetrie / Scanning)
- 300 tachymetrisch vermessene Polygonpunkte
- 2000 Scan-Positionen
- 3000 geodätisch vermessene Targets
- 10000 automatisch orientierte Photos (Texturierung des Gesamtmodells)
- 20000 frei aufgenommene Photos (Texturierung der Malereien)
- 2 Milliarden prozessierte 3D-Punkte

Ergebnisse

Am Beispiel der Domitilla-Katakombe wurde ein Workflow erarbeitet, der die Aufnahme und Ausarbeitung von Geometrie- und Texturdaten mit dem Ergebnis einer ganzen Palette von effizienten Dokumentationsprodukten unterschiedlicher Aussage und Detaillierung ermöglicht. Im Rahmen der Katakombenforschung stellt diese Dokumentation die erste vollständige, formtreue und räumlich vollflächige Erfassung einer solchen Anlage dar. Texturen konnten erstmals mit den amorphen Raumflächen der Grabkammern verbunden und zu detailscharfen, photorealistischen 3D-Modellen verarbeitet werden. Der so geschaffene Datensatz wird zukünftigen Forschungsgenerationen nun erstmals als ein umfassendes virtuelles Abbild des archäologischen Objekts zur Verfügung gestellt werden können. Er bietet der archäologischen und bauhistorischen Auseinandersetzung eine völlig neue, effiziente Plangrundlage und setzt Maßstäbe im Bereich der Katakomben-Dokumentation.

Die neue Methode kann verlustfrei auf Objekte ähnlicher Art und Größe - so etwa die Raumkörper des Altbergbaus - übertragen werden. Auf diese Weise könnten auch hier anhand eines vergleichbaren Daten-Materials bauhistorisch und bautechnisch bedeutsame Fragestellungen vor dem neuen Dokumentations-Hintergrund diskutiert und umfassend bearbeitet werden.



Kartierte Wandansicht und Grundriss eines Ganges in der Region M

	RIEGL Z420i	RIEGL VZ-400
Messrate	8 kHz	125 kHz
Genauigkeit	10 mm	5 mm
Präzision	8 mm	3 mm
Blickfeld	80° x 360°	100° x 360°
Gewicht	16 kg	9.8 kg
Zielanzahl	erstes/letzes	mehrzielfähig
Reichweite	2m - 1000m	1.5m - 500m

Tabelle: Kurzspezifikationen der verwendeten 3D Laser Scanner



Ausgrabung der Basilika, 1874

3D Laser Scan Punktwolke der Basilika, 2009

