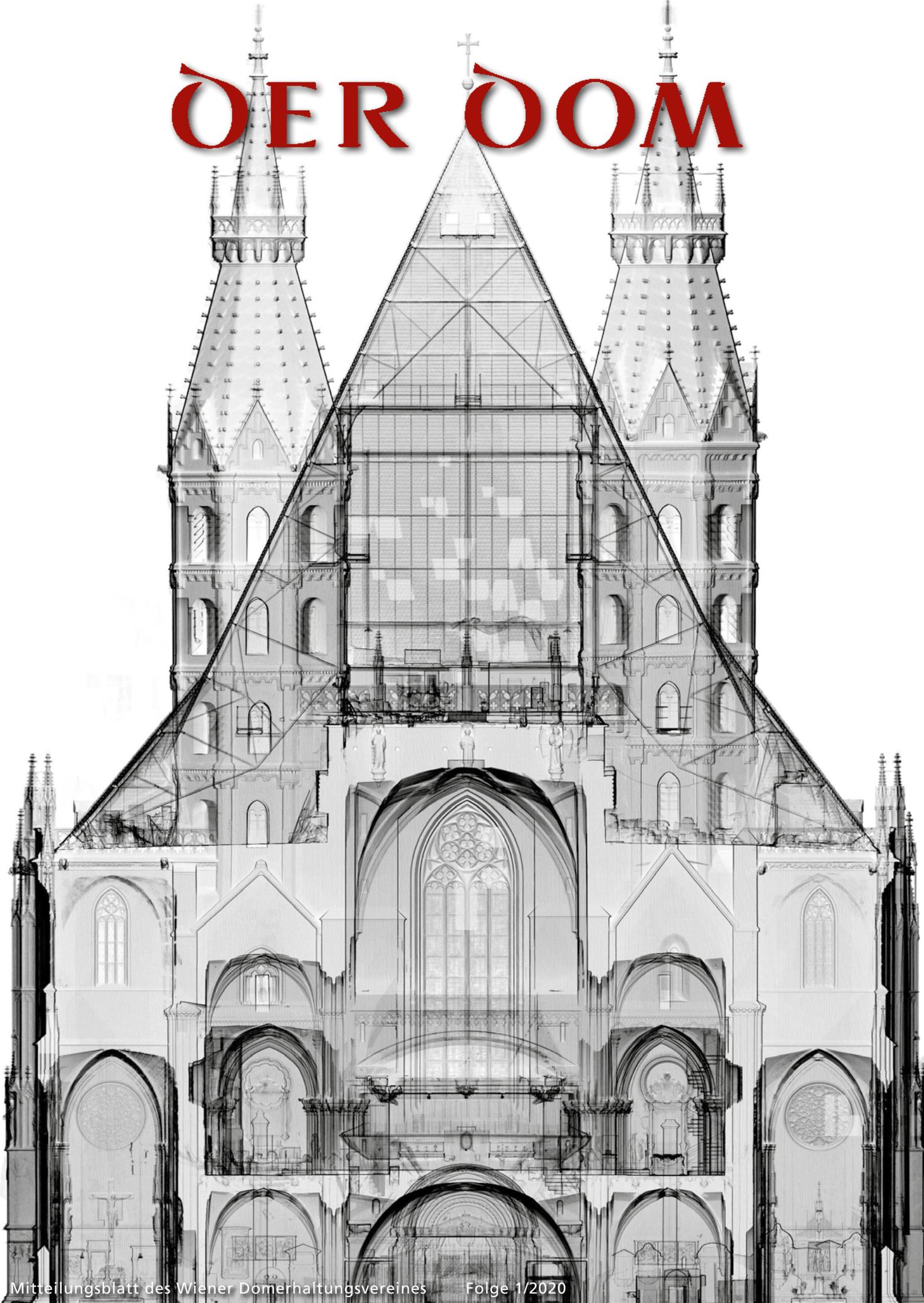


DER DOM



3D-Vermessung und 3D-Modell des Domes

Dokumentation des Zustands des Domes und der Arbeiten der Dombauhütte.

Von Nikolaus Studnicka und Franz Zehetner

Pläne von Bauwerken sind für die Errichtung unumgänglich und auch für ihre Erhaltung von hoher Bedeutung. Von den Originalplänen des Mittelalters für den Dom haben sich zwar einige erhalten, aber sie bilden den Dom natürlich nicht umfassend ab. Die Anfertigung von Bestandsplänen ist daher eine wichtige Aufgabe und eine Grundlage für die bauliche Erhaltung und Erforschung des Domes.

Die Ausführung der vorhandenen Pläne unterscheidet sich je nach ihrem Zweck: Eine Ansicht oder Orientierungshilfe für interessierte Besucher unterscheidet sich von einem Plan in dem bauliche Details oder der Fugenschnitt der Steine dargestellt werden, oder von Ausführungsplänen für die Steinmetze der Dombauhütte, die beschädigte Werkstücke ersetzen oder ausbessern.

Auch die mittelalterlichen Pläne sind für unterschiedliche Zwecke gezeichnet worden. Ein besonders

interessanter Plan zeigt die Spitze des Südturmes, der entweder für die Errichtung, oder als Bestandsplan für die Reparatur, die Gregor Hauser 1514–19 durchführte, hergestellt wurde. Zahlreiche Pläne sind ab 1810 für die Erhaltungsmaßnahmen des Südturmes angefertigt worden, die nicht nur seine Ansicht, sondern auch vertikale und horizontale Schnitte zeigen.

Für die Restaurierungen und Ausbauten des 19. Jahrhunderts am Dom wurden meist vor dem Eingriff sehr detaillierte Studien des betroffenen Bauteils angefertigt, so von Leopold Ernst für die Langhausgiebel und von Friedrich Schmidt für den Südturm und das Riesentor (dieses Projekt einer einheitlichen gotischen Umgestaltung setzte er allerdings nicht um). Schmidt rief auch eine sehr verdienstvolle Druckserie ins Leben: „Die Wiener Bauhütte“. Unter diesem Namen wurden zahlreiche Bauanalysen vom Dom aber auch von vielen anderen historischen Baudenkmalern



RIEGL VZ-400i Laserscanner bei der Datenaufnahme

des damaligen Österreich und weit über seine Grenzen hinaus, angefertigt und publiziert. Mit der Dombauhütte hängt sie aber nicht direkt zusammen.

Die Druckwerke von Franz Tschischka¹ und Ladislaus Rupp² aus dem frühen Biedermeier zeigen sehr detailgetreue Planansichten des Domes. Wegen der eingeschränkten Druckgröße – sie wurden in Büchern veröffentlicht – können sie die Architekturdetails nicht exakt wiedergeben, liefern aber einen guten Eindruck des Gesamtbaues. Diese frühen Abbildungen sind auch deshalb so interessant, weil sie uns den Dom zeigen, wie er vor der großen Restaurierungs- und Regotisierungskampagne, die ab 1850 einsetzte, ausgesehen hat. Viele barocke Ausstattungsgegenstände, aber auch noch originale mittelalterliche Details, die später ausgetauscht wurden, sind hier noch zu sehen.

Für die von Hans Tietze³ 1931 im Rahmen der „Österreichischen Kunsttopographie“ herausgegebene Beschreibung des Stephansdomes wurden nicht nur umfangreiche Photodokumentationen, sondern auch genaue Planaufnahmen von Mauerwerk und auch Dachwerk angefertigt. Dank dieser genauen Dokumentation können wir uns eine annähernde Vorstellung davon machen, wie der Dom vor der Zerstörung 1945 ausgesehen hat. Für den Wiederaufbau konnte man auf die vorhandenen Pläne zurückgreifen, die eine wichtige Grundlage für die Detailpläne waren.

Die Dombauhütte hat im Mittelalter für die anstehenden Bauvorhaben sehr genau ausgearbeitete Pläne erstellt, ein Teil des mittelalterlichen Bestandes hat die Jahrhunderte überstanden und wird in der Akademie der Bildenden Künste aufbewahrt⁴. Das Archiv der Bauhütte mit Plänen aus dem 19. Jahrhundert ist 1945 beim Brand verloren gegangen. Die vorhandenen Pläne, die hauptsächlich aus der Zeit des Wiederaufbaues stammen, wurden kopiert und digitalisiert und sind an mehreren Orten gesichert. Die vorhandenen historischen Pläne betreffen aber naturgemäß nur die Bauteile, die nach 1945 wieder aufgebaut worden sind, können aber keine umfassende Dokumentation des Domes bieten.

Geschichte

Die Erstellung von Bestandsplänen mit Maßband und Winkel „von Hand“ ist bei den komplizierten Formen des Domes sehr aufwändig. Sie wurden deshalb nur für „aktuelle“ Bauvorhaben angefertigt, wie im 19. Jahr-

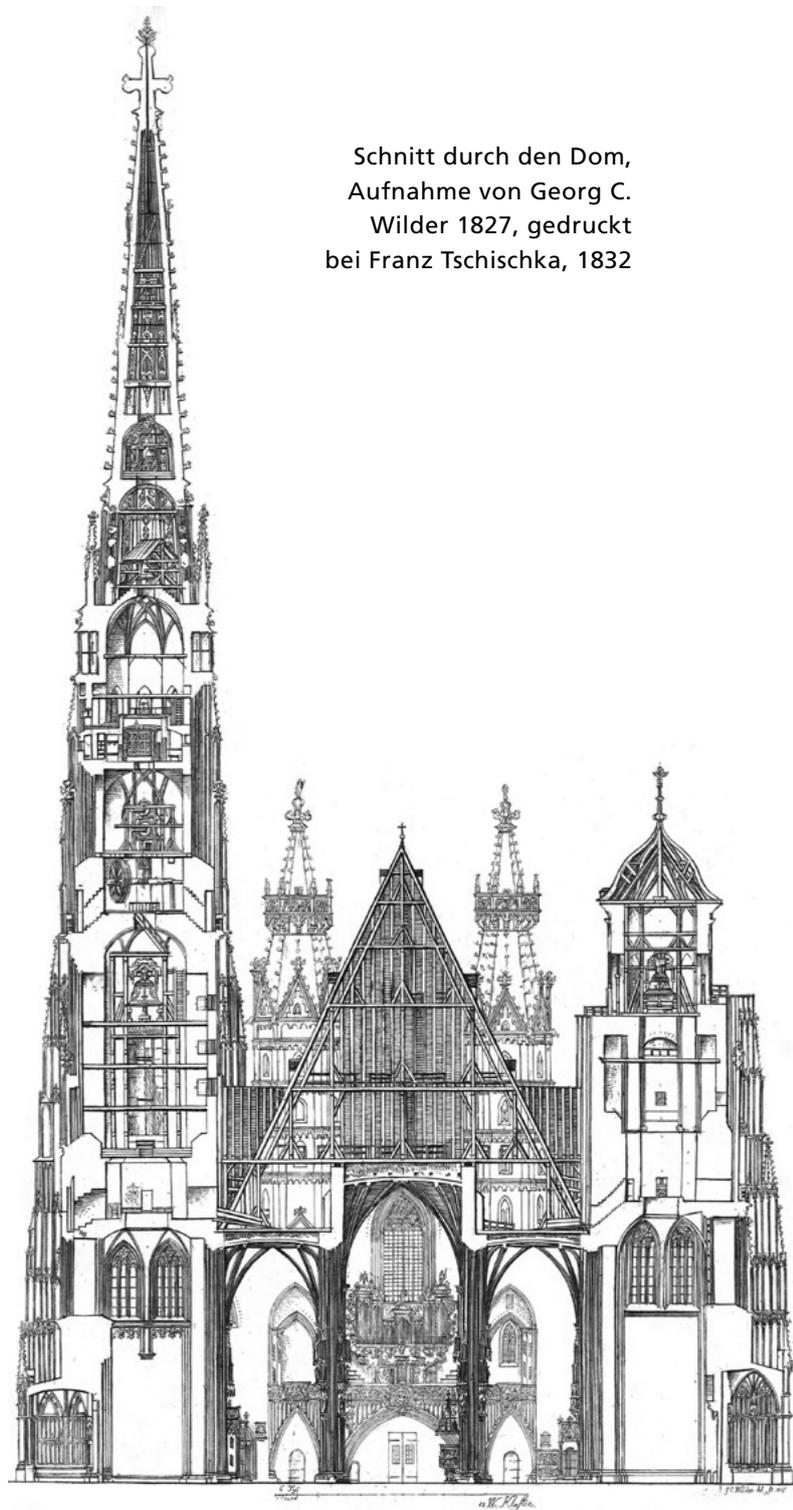
¹ Franz Tschischka: *Der St. Stephans Dom in Wien und seine alten Kunstdenkmale*, Wien, 1832.

² Ladislaus Rupp: *Chiese Principali d'Europa*, Mailand, 1824–31.

³ Hans Tietze: *Geschichte und Beschreibung des St. Stephansdomes in Wien*, Wien, 1931. Die Pläne stammen von Michael Engelhart.

⁴ Monika Knofler: „Von der Dombauhütte in die Sammlungen. Die Odysee der gotischen Planrisse“ in: *Der Dombau von St. Stephan*; [Hrsg.: Michaela Kronberger; Barbara Schedl], Wien, 2011.

Schnitt durch den Dom,
Aufnahme von Georg C.
Wilder 1827, gedruckt
bei Franz Tschischka, 1832



hundert für die Kanzel oder das Riesentor. Besonders eindrucksvoll und detailgenau sind die Zeichnungen der Schichtenlagen des Südturmes, die Studenten von Friedrich Schmidt 1868 im Maßstab 1:12 (1 Fuß entspricht 1 Zoll) anfertigten.

Eine der ersten Möglichkeiten, die Bauanalyse berührungsfrei vorzunehmen, war die Photogrammetrie, die im 19. Jahrhundert von Albrecht Meydenbauer entwickelt wurde. Er verwendete großformatige Kameras mit verzerrungsarmen Objektiven, die – mit genau eingemessenen Punkten – das Erstellen von weitgehend naturgetreuen Bildern ermöglichten.

Meydenbauer war Bauingenieur, der ursprünglich für den Eisenbahnbau arbeitete. Er setzte seine Technik der Bestandsaufnahme aber nicht nur für die Darstellung von Landschaftsformen für die Projektierung von Eisenbahnstrecken ein, sondern vor allem für die Dokumentation historischer Denkmäler. Anlass für die Entwicklung war wohl ein Unfall bei einer Bauaufnahme an einem historischen Bauwerk: Er war nämlich als junger Mann bei der Vermessung des Domes in Wetzlar abgestürzt und hatte sich dabei schwer verletzt. Das dürfte ihn zur Entwicklung seiner Vermessungstechnik aus der Distanz inspiriert und motiviert haben⁵. Er stellte seine Methode 1867 vor und dokumentierte damit in der Folge zahlreiche Gebäude. Viele dieser Aufnahmen sind heute noch erhalten und ermöglichen es, den früheren Zustand beschädigter oder zerstörter Bauwerke zu studieren und gegebenenfalls auch zu ihrer Rekonstruktion oder originalgetreuen Wiederherstellung heranzuziehen.

Um 1900 wurde das Prinzip des räumlichen Sehens des Menschen, bei dem aus den zwei unterschiedlichen Bildern, die von den beiden Augen wahrgenommen werden, die räumliche Information herausgelesen werden kann, auf die photographische Technik übertragen.

Diese Technik wurde auch für die erste umfassende Bauaufnahme des Stephansdomes ab 1991 angewendet: Unzählige Stereofotos, die teilweise mit Hilfe eines Hubschraubers angefertigt wurden, erlaubten eine

⁵ Zumindest hat er das auf einem Messbild des Wetzlarer Domes, das er 1900 aufnahm, selbst so vermerkt.



räumliche Darstellung des Domes. Die Auswertung erfolgte dann analog auf Papierplänen, und bietet eine maßstabsgetreue (1 : 50) Wiedergabe des Domes, zumindest in den Hauptansichten. Auf Basis dieser Pläne wurde um 2000 auch ein virtuelles 3D-Modell gebaut, es konnte aber mit den damaligen Computerleistungen bei weitem nicht alle Details naturgetreu wiedergeben.

3D-Laserscan

Eine erste dreidimensionale Aufnahme des Innenraumes von St. Stephan⁶ erfolgte 2005 durch die TU Wien und die österreichische Herstellerfirma von Laserscannern, die in Horn ansässige Firma Riegl Laser Measurement Systems GmbH. Erstmals wurden 130 Scans miteinander verknüpft. Das Ergebnis war eine maßstabsgetreue und verzerrungsfreie Punktwolke. Auch wenn die Messrate (12 kHz) und Präzision (10 mm) mit heutigen Verhältnissen nicht mehr vergleichbar sind, bildeten bereits damals die Scanergebnisse eine gute Grundlage für weitgehende Gebäudeanalysen an Grundriss, Gewölben und Proportionen. Die weiterentwickelte Technik erlaubt nun eine höhere Genauigkeit, eine automatisierte Zusammenführung der einzelnen Scans und eine wesentlich höhere Zahl an Einzelscans innerhalb weniger Vermessungstage. Außerdem ist man in der Lage mit der modernen Computertechnik wesentlich rascher hochauflösende Plandarstellungen zu erzeugen.

Laserscanner

Für die in dieser Arbeit beschriebene Vermessung des Stephansdoms 2018/2019 wurde der terrestrische RIEGL Laserscanner VZ-400i⁷ eingesetzt. Von jedem Standpunkt tastet der Scanner seine Umgebung systematisch durch Drehung um die vertikale und horizontale Achse bei gleichzeitiger Laserentfernungsmessung ab, wobei pro Sekunde durchschnittlich etwa 500.000 Messpunkte (max. Messrate von 1,2 MHz) erfasst werden. Die Präzision einer Entfernungsmessung beträgt 3 Millimeter. Durch Aneinanderreihung mehrerer Scanstandorte können größere Bereiche erfasst werden, wobei die gegenseitige Orientierung und Zusammenführung dieser Scanpositionen („Registrierung“) automatisch erfolgt.

Datenaufnahme

Beim typischen Arbeitsablauf mit einem TLS Scanner wird ein Panoramascan (eine vollständige Umdrehung

⁶ Nikolaus Studnicka und Franz Zehetner: Cultural heritage documentation by combining near-range photogrammetry and terrestrial laser scanning – St. Stephens Cathedral, Vienna, 6. Internat. LACONA Tagung 2005 in Wien

⁷ Riegl (2020), www.riegl.com, letzter Zugriff 05/2020, RIEGL Laser Measurement GmbH, 3580 Horn, Österreich

um die Vertikalachse) nach dem anderen aufgenommen. Ein Operator trägt den auf einem Dreibeinstativ montierten Laserscanner etwa im Minutentakt ein paar Meter weiter und startet mit nur einem Tastendruck einen neuen Scan. Dabei werden in einer vollen Scandrehung zirka 22,5 Millionen Messpunkte in 45 Sekunden Scanzeit erfasst. Die Winkelauflösung beträgt standardmäßig 40 Milligrad, mit anderen Worten: die räumliche Auflösung der Messpunkte beträgt in 10 Metern Distanz vom Scanner durchschnittlich sieben Millimeter. Zwischen den Scanpositionen werden je nach Situation 5–15 Meter Abstand gelassen. So ist gewährleistet, dass möglichst wenig Oberflächen „unerfasst“ bleiben und die großen Überlappungsbereiche das Zusammenfügen der einzelnen Scans erleichtern. Erst seit Kurzem ist man in der Lage, bis zu 400 Scans pro Arbeitstag aufzunehmen. Ermöglicht wird das durch die hohe Geschwindigkeit des Laserscanners, aber vor allem auch durch die geräteinterne automatische Registrierung der Scanpositionen zueinander.

Registrieren der Scanpositionen

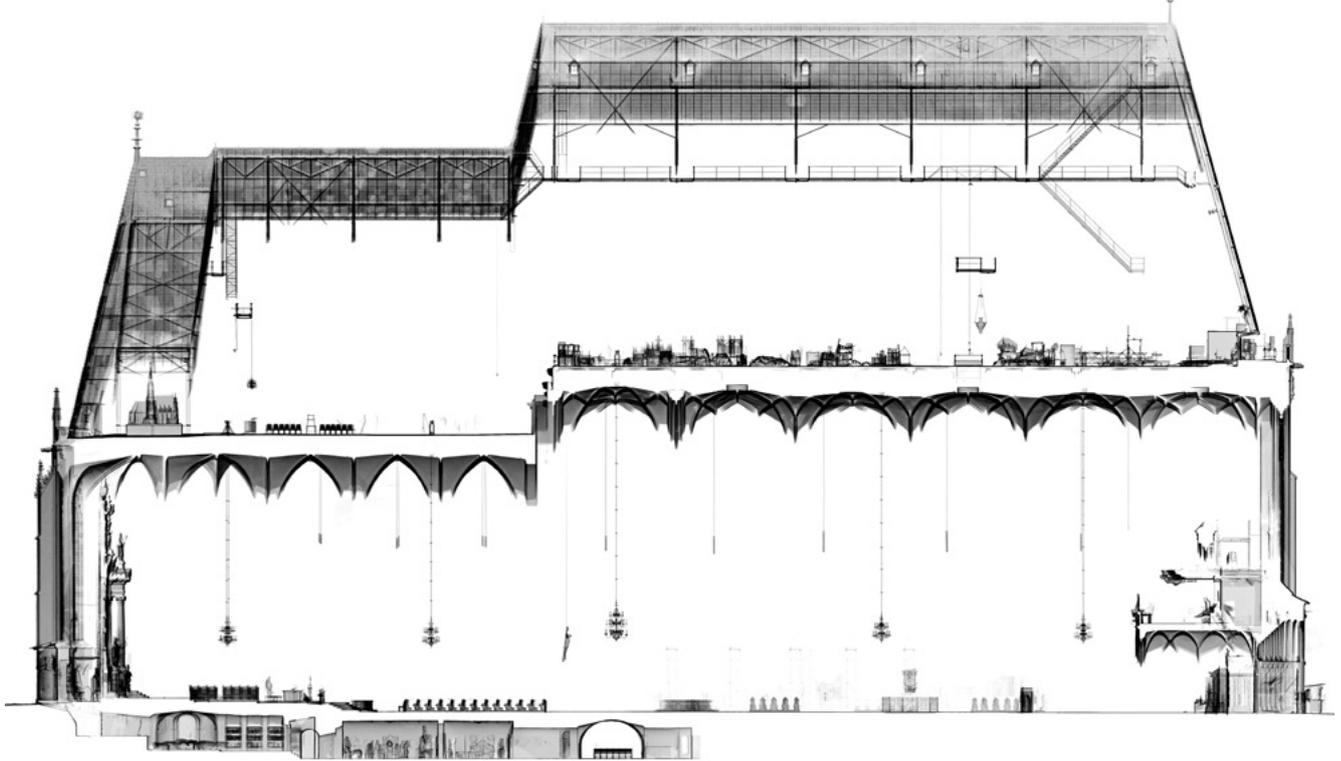
Die Scans werden zeitgleich zur Aufnahme im Scanner miteinander registriert, das Ergebnis kann während der Datenaufnahme auf einem Mobiltelefon quasi in Echtzeit überwacht und gesteuert werden. Diese Punktwolke kann, um ein realistisches Aussehen zu erreichen, mit Fotos eingefärbt werden. Diese wurden mit einer aufgesetzten Kamera aufgenommen. So wird der räumlichen Information auch eine Textur-



information hinzugefügt. Dafür wurden bei diesem Projekt pro Scanposition fünf kalibrierte 45 Megapixel Fotos aufgenommen. Die Datenaufnahme im Inneren des Domes wurde in den Nachtstunden bei voller Beleuchtung durchgeführt.



Eingefärbte Punktwolke des Friedrichsgrabs mit registrierten Scanpositionen



Längsschnitt durch die Laserscan-Punktwolke des Stephansdoms mit Dachboden, Kirchenraum und Katakomben

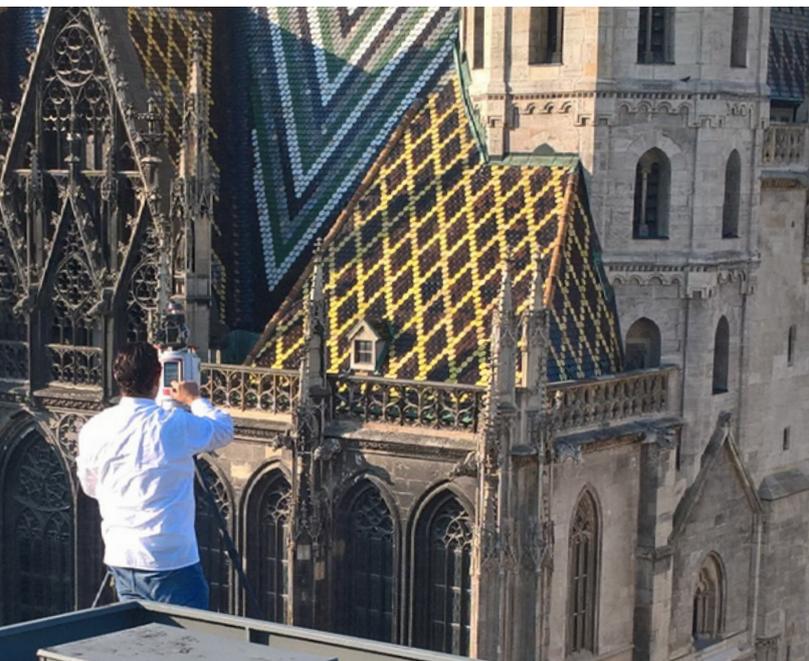
Bei dieser Vermessung wurden an mehreren Messtagen zirka tausend Laserscans aufgenommen und bereits im Scanner zusammengefügt. Gerade bei der Vermessung eines so wichtigen und großen Baumonuments ist es wertvoll, Kontrollpunkte mit einer Totalstation einzumessen. Diese dienen der Unterstützung und Kontrolle der Messgenauigkeit des gesamten Scanprojektes. Das Vermessungsbüro Meixner⁸ hat zirka fünfzig retro-reflektierende kreis-

⁸ Meixner (2020), www.meixner.com, letzter Zugriff 05/2020, Meixner Vermessung ZT GmbH, 1060 Wien, Österreich

runde Klebefolien mit seiner hochgenauen Totalstation eingemessen. Dabei wurden der Stephansplatz, der Innenbereich, der Dachboden und die Katakomben des Doms abgedeckt. Die Genauigkeit des Polygonzugs lag bei einem Millimeter. Während der Scanaufnahme wurden dieselben Reflektoren feingescannt und beim Blockausgleich (Multistation Adjustment) in die Scandaten eingerechnet. Die Standardabweichung der Restklaffungen betrug 6 Millimeter. Die Punkt-Koordinaten wurden im Gauß-Krüger-Koordinatensystem und dem „Wiener Null“ Bezugsniveau eingemessen. Um die vorhandenen zweidimensionalen Pläne und Schadenskartierungen, die sich auf die Ausrichtung des Domes beziehen, weiterhin nutzen zu können, wurde das sogenannte Dom-Koordinatensystem mit weiteren Kontrollpunkten im Dom definiert. Dadurch ist es nun möglich geworden, Daten, die aus unterschiedlichen Quellen stammen, zusammenzuführen. Als Ergebnis erhält man eine homogene Punktwolke mit einem fast einheitlichen Punktabstand von wenigen Millimetern.

Verwendung der Laserscans in der Praxis

Die dreidimensionale Punktwolke, manchmal auch kurz „3D-Modell“ genannt, erlaubt es nun, den Gesamtbau und die meisten Abschnitte der räumlich komplexen Bauteile, maßstabs- und detailgetreu darzustellen. Dort wo der Scanner keine freie Sicht hatte, zum Beispiel hochgelegene Bereiche, die vom Boden oder den Dächern der umliegenden Häuser nicht eingesehen werden konnten, entstehen kleine Lücken im Datensatz. Diese werden vom Fachmann „nach den Regeln der Baukunst“ interpretiert oder durch spätere Aufnahmen ergänzt.



Scan aus erhöhter Position von den Dächern der umliegenden Häuser

Erstellung von orthogonalen Ansichten und Schnitten

Der klassische, zweidimensionale Plan bildet noch immer eine wichtige Grundlage für die Beschäftigung mit einem historischen Bauwerk. Im Baubetrieb sind zweidimensionale Pläne seit Jahrhunderten üblich, für die Fachleute leicht verständlich und für die meisten Anwendungsgebiete ausreichend. Die klassischen Planansichten Grundriss, Aufriss und repräsentative Schnitte können leicht aus der Punktwolke gewonnen und dann in dem für die weitere Verarbeitung passenden Programm nachgezeichnet und bearbeitet werden.

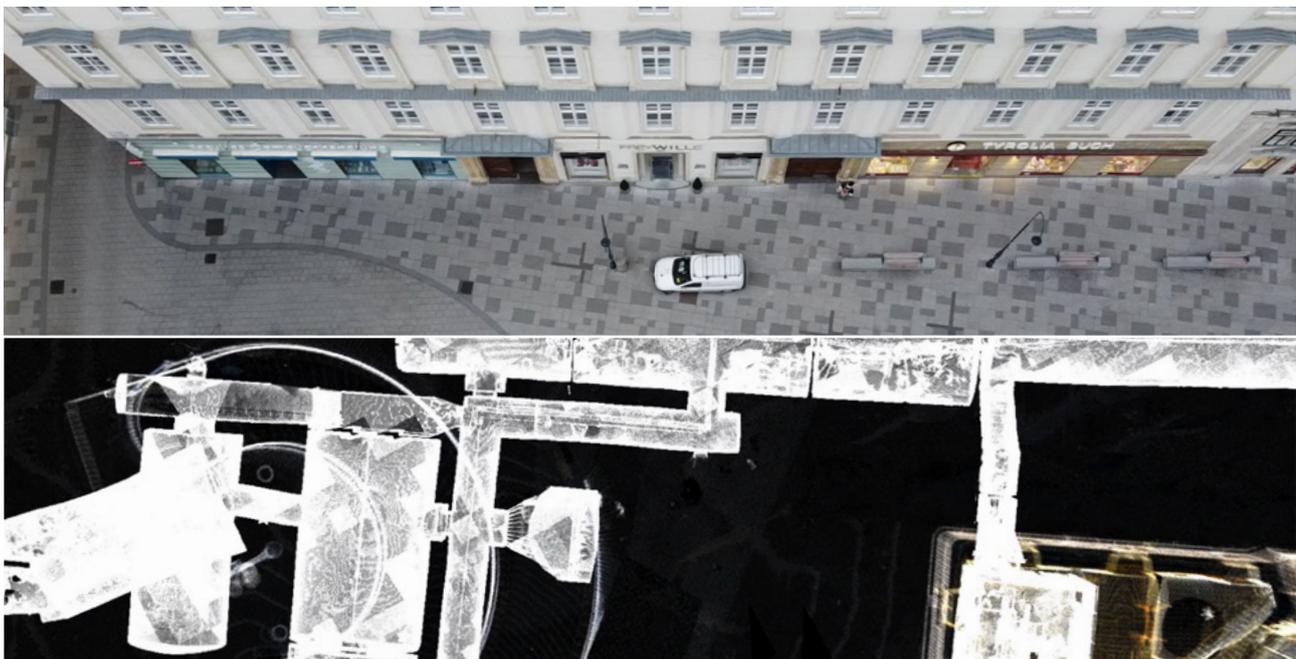
Ein Laserscanprojekt aus vielen hunderten Scanpositionen ergibt in einem ersten Schritt eine Punktwolke mit mehreren Milliarden Messpunkten. Sie widerspiegelt die Objektgeometrie sehr gut, aber alleine durch ihre Größe ist sie schwierig zu bearbeiten (Abbildung 3). Bereits in der Punktwolke ist es möglich, Distanzen exakt zu vermessen. Dies kann in der proprietären Software „RiPANO“ auch von mehreren Personen gleichzeitig ohne eigene Softwareinstallation mit einem üblichen „Browser“ durchgeführt werden.

Die Fülle an Informationen kann für verschiedene Aufgaben unterschiedlich ausgewertet werden, wie z. B. Architektur und Statik des Gebäudes, sowie seine Schäden und Gefährdungen. Die erforderlichen Analysen können mit den entsprechenden Programmen durchgeführt und die Daten weiter verarbeitet werden, etwa mit CAD-Programmen.

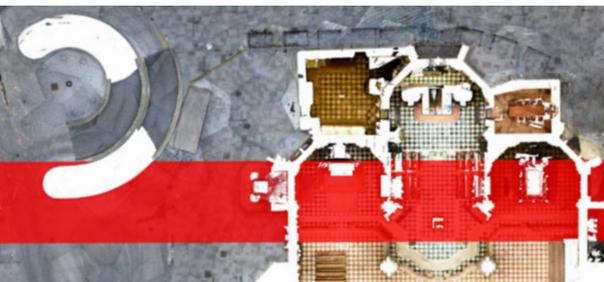
Die so gewonnenen Pläne und Schnitte bieten ein weitgehend getreues Bild des Gebäudes in seiner Kom-

plexität und mit allen seinen Unregelmäßigkeiten. Die Aufnahme des Bauwerks erfüllt auch noch den Zweck, den Bau in seinem jetzigen Zustand möglichst exakt zu dokumentieren. Denn der Bau verändert sich sowohl durch die natürliche Erosion, die wir zwar bremsen aber nicht völlig verhindern können, als auch durch Katastrophen wie Erdbeben, Kriegseinwirkungen oder Brände, die – wie uns der Brand von Notre Dame in Paris 2019 sehr eindrucksvoll bewusst gemacht hat – auch in unserer Zeit nicht ausgeschlossen sind. Die Extraktion der Pläne aus der Punktwolke kann jederzeit mit hinreichender Auflösung und Genauigkeit durchgeführt werden. Wichtig ist dabei, dass die Messdaten permanent zur Verfügung stehen und so auch kontinuierlich verwendet werden können.

Ein enormer Vorteil der dreidimensionalen Aufnahme gerade für einen komplexen Gewölbekbau wie den Stephansdom ist die Möglichkeit, Schnitte nicht nur in den Hauptachsen des Gebäudes, sondern entlang beliebig im Raum liegender Ebenen zu legen. Natürlich können solche Schnittzeichnungen auch mit klassischen Mitteln angefertigt werden, das erfordert aber einen erheblichen Mehraufwand. Sie können nun vergleichsweise einfach erstellt werden: Diagonale Schnitte, die für die statische Analyse von Türmen besonders aufschlussreich sein können, da in dieser Richtung die maximale Kraftableitung erfolgt; Schnitte entlang von Gewölberippen ermöglichen es nicht nur, die Konstruktionsweise und den Kraftverlauf in einem einfachen Kreuzrippengewölbe abzubilden, es können auch komplexe Netzrippengewölbe, wie



Fotoaufnahme (oben) und Scanansicht (unten) des östlichen Stephansplatzes mit den unterirdischen Katakomben



oben: Grundriss des Dom-Innenraums und der Katakomben/Unterkirche, rechts: Schnitt quer zum Hauptschiff mit Katakomben



sie etwa im Langhaus des Stephansdomes vorkommen, analysiert und dadurch besser verstanden und auf Schwachstellen untersucht werden.

Lageplan der Katakomben

Die Katakomben von St. Stephan sind über viele Jahrhunderte entstanden. Der älteste Teil ist die Herzogsgruft unter dem Chorraum aus dem 14. Jahrhundert. Sie wurde 1754/55 erheblich erweitert und mit einer weitläufigen Unterkirche ergänzt⁹. Der heutige Stephansplatz wurde bis 1723 großteils als Friedhof genutzt. Die unter dem Platz liegenden „Katakomben“ konnten daher erst danach angelegt werden, ab 1745 fanden hier Bestattungen statt. Aus dieser Abfolge von Gängen und Räumen führten auch Aufgänge in die benachbarten Häuser; derjenige zum Deutschordenshaus ist noch gut erkennbar, auch wenn er heute abgemauert ist.

Interessant sind auch die Überschneidungen der Katakomben mit den älteren, tieferliegenden Kellern der umgebenden Häuser, die völlig anders ausgerichtet sind. Schon seit dem 18. Jahrhundert sind diese unterirdischen Räume immer wieder untersucht und Pläne von ihnen erstellt worden. Die Höhenlage, der Abstand zum Platzniveau und ihre räumliche Situation zueinander sind aber mit klassischen Mitteln nur sehr aufwändig zu vermessen und auf einem zweidimensio-

nen Plan nur schwer zu zeigen, erst mit dem 3D-Scan ist man nun in der Lage, diese komplexen räumlichen Verhältnisse präzise darzustellen.

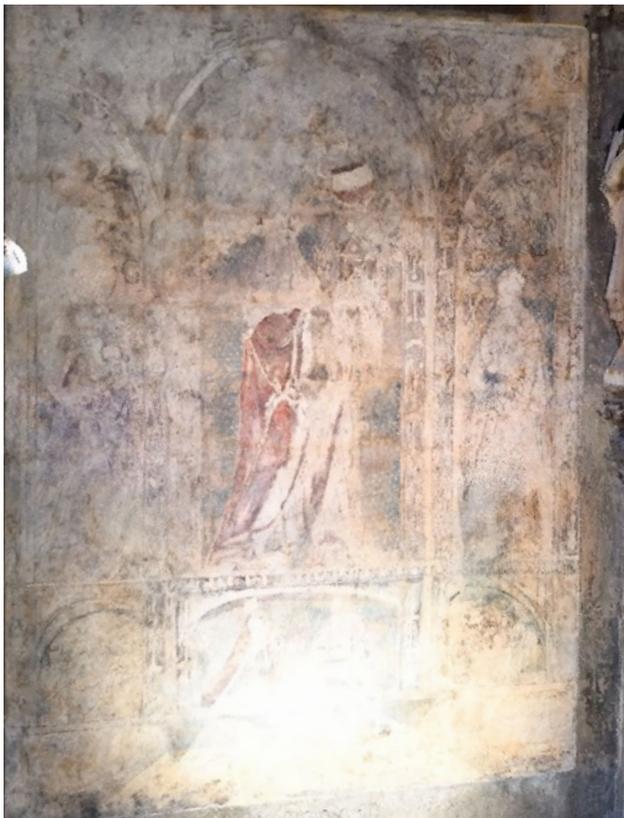
Wandgemälde im Bischofstor

Die Vorhalle des Bischofstores, in der sich heute der „Domshop“ befindet, wurde im 16. Jahrhundert errichtet. Ihre Ostwand wird von einem Strebepfeiler des Langhauses gebildet. Dass sich an dieser eine großformatige Wandmalerei befand, konnte man unter der dunklen Schmutzschicht nur mehr erahnen. 2018 konnte diese Fläche gereinigt und konservatorisch behandelt werden¹⁰. Die Malerei, die zum Vorschein kam, war überraschend und ist sowohl in den Medien als auch in dieser Zeitschrift schon präsentiert worden¹¹. Bemerkenswert ist, dass die Umrisse des mittleren Feldes der Malerei dieselbe Form haben wie das um 1515 entstandene Epitaph des Johannes Rechwein, das sich im Inneren des Domes befindet. Dieses Epitaph könnte in einer früheren Phase das Mittelstück der gesamten Komposition im Bischofstor gebildet haben. Die Plausibilität dieser Theorie kann mit Hilfe des Laserscans überprüft werden: Nach dem Scannen beider Teile wurden im virtuellen Modell das Epitaph und der Strebepfeiler mit seiner Wandmalerei zusammengeführt. Die Umrisse stimmen exakt überein, das

⁹ Tietze, S. 262

¹⁰ Restaurierbericht von Restaurator Jörg Riedel im BD Archiv der Dombauhütte.

¹¹ Der Dom“, 2/2019, Bericht des Dombaumeisters.



Wandfläche des Strebepfeilers beim Bischofstor: links: Ansicht der originalen 3D Punktwolke mit der durerzeitlichen Unterzeichnung, rechts zusätzlich mit virtuell eingesetztem Epitaph des Johannes Rechwein

Epitaph könnte daher wirklich Teil der Komposition der Wandmalerei gewesen sein.

Obwohl die Aufmerksamkeit für dieses Projekt wegen der möglichen Urheberschaft von Albrecht Dürer sehr hoch war, ist diese Anwendung der 3D-Scans kein Einzelfall: Ähnliche Fragestellungen finden sich in der Bauforschung häufig. Der Dom wurde immer wieder erweitert und umgestaltet, die Ausstattung erneuert, zahlreiche Skulpturen wurden im Laufe der Zeit an andere Bauteile versetzt oder in ein Museum gebracht.

Vermutete frühere Zustände und Zusammenhänge können nun auf Grundlage der dreidimensionalen Aufnahme des Domes dargestellt werden. Mit Hilfe der räumlichen Simulationen kann die Plausibilität von Rekonstruktionsvorschlägen besser beurteilt werden.

Unregelmäßigkeiten am Gebäude

Die dreidimensionale Punktwolke ermöglicht auch Detailuntersuchungen an der Bausubstanz, um geplante oder durch die Jahrhunderte entstandene Unregelmäßigkeiten zu erkennen. St. Stephan stammt ja nicht aus einer einzigen Bauphase, sondern wurde immer wieder vergrößert, modernisiert und verschönert. Oft wurden aber auch in einem Bauteil während der Bauarbeiten die Pläne geändert. Der Südturm des Stephansdomes, das Wahrzeichen Wiens, wurde in

der Mitte des 14. Jahrhunderts an den bestehenden Chor angebaut. Ursprünglich war der Turm in einer viel geringeren Höhe geplant¹². Um 1400 erfolgte eine Umplanung, deren Spuren noch gut zu erkennen sind: Es wurde ein weiteres Turmgeschoß eingefügt, womit der Turm die Höhe von 137 m erreichte – er war damit zu dieser Zeit der höchste Steinturm Europas. Durch die gesteigerte Höhe ergab sich auch ein noch höheres Gewicht, das zwar die Fundamente nicht überforderte, aber zu einer noch stärkeren Setzung des Turmes, vor allem gegenüber dem schon bestehenden Chor, der die normale Fundamentsetzung schon hinter sich hatte, führte. Der Südturm, und auch der ab 1450 an Chor und Langhaus angesetzte Nordturm, der zwar nicht die volle Höhe erreichte, aber dennoch ein außerordentliches Gewicht aufweist, haben sich daher um ca. 30 cm stärker gesenkt als die angrenzenden Chorsteile, was zu Rissen in der Chorwand und zur Verformung der angrenzenden Gewölbe geführt hat. Während die Risse in der Wand natürlich sichtbar waren und im 19. Jahrhundert geschlossen wurden, ist die Analyse der

¹² Die höchsten Türme des 14. Jahrhunderts waren zwar schon um 120 m hoch (Freiburg, Lübeck), die Konzeption Rudolfs IV. sah wohl vor, eine viertürmige Anlage zu errichten, in die die schon bestehenden, ca. 60 m hohen romanischen Westtürme einbezogen worden wären. Eine zu große Höhe von Nord- und Südturm hätte diesem Plan aber nicht entsprochen.



Trianguliertes
und texturiertes
Modell, erstellt
in der Soft-
ware Euclidean

Gewölbeverformung erst jetzt mit Hilfe des Laserscans möglich. Schon auf Grundlage der Scans von 2005¹³ konnten die Auswirkungen der Setzungsbewegungen der Türme auf die benachbarten Gewölbe untersucht werden. Trotz ihrer Verformung sind die Gewölbe aber rissfrei, stabil und statisch sicher. Mit den genaueren und weit umfangreicheren Scans und der komfortablen Bearbeitungsmöglichkeit können nun weitere Untersuchungen in diesem Bereich erfolgen.

Bei statisch relevanten Veränderungen kann ihr Gefahrenpotential berechnet oder abgeschätzt werden. So können nötigenfalls die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen geplant und durchgeführt werden. Die statisch heikelste Zone sind die Gewölbe: sie entwickeln großen Horizontalschub, der von den Pfeilern oder Mauern, auf denen sie lasten, aufgefangen werden muss. In der Gotik wurden dafür die sehr aufwändigen aber wirkungsvollen, oft filigran ausgeführten Strebewerke entwickelt. Diese kühnen Konstruktionen stabilisieren das Gewölbe meist sehr gut, aber auch schon geringe Veränderungen können gefährliche Folgen haben. Gewölbeverformungen, Verschiebungen der Pfeiler oder geringfügige Schräglagen der Wände können Hinweise auf statische Probleme sein, die – wenn man sie rechtzeitig bemerkt und die geeigneten Maßnahmen ergreift – behoben werden können. Die vollständige Abbildung der Wand im 3D-Modell erlaubt auch hier eine genaue Analyse und allenfalls nötige Eingriffe.

Kartierungsgrundlage

Auch bei der Planung und Dokumentation von Restaurierungsmaßnahmen bietet der 3D-Scan neue Möglich-

keiten. Derzeit sind die photogrammetrischen Planaufnahmen aus den 1990er Jahren Grundlage für die Projektierung der Restaurierungen und die Dokumentation von Schäden und durchgeführten Maßnahmen. Ein Problem dabei ist aber, dass in den Plänen nur die Hauptansichten des Domes wiedergegeben sind, wodurch viele Bauteile – wie etwa die Flanken der Strebe Pfeiler und allgemein plastische Details – nicht ersichtlich sind. Die fehlenden Teile müssen immer wieder mittels Handzeichnungen ergänzt werden, was einen hohen Aufwand darstellt und nicht in der erforderlichen Genauigkeit erfolgen kann.

Im 3D-Scan hingegen sind die meisten dieser wichtigen Details vorhanden und dreidimensional exakt aufgenommen. Auf dieser räumlichen Grundlage kann zukünftig die Dokumentation der Schäden und der Restaurierungsmaßnahmen in einer viel höheren Qualität und wesentlich aussagekräftiger durchgeführt werden. Allenfalls erforderliche, zusätzliche räumlich-geometrische Daten können einfach bereitgestellt und zu den vorhandenen Scans hinzugefügt werden.

Diskussion

Vor allem Projekte an solchen Monumentalbauten wie dem Stephansdom motivieren immer wieder dazu, der modernen Technik möglichst viel abzufordern. Dabei darf am Weg zu technisch möglichen Daten aber das Grundziel der geforderten, bewährten Ergebnisse nicht aus den Augen verloren werden. 3D-Punktwolken können mit ihrer Fülle an Informationen nur schwer verstanden werden, erst 2D-Ansichten und Schnitte in hinreichender Auflösung (im Innenraum fast flächendeckend 2–3 Millimeter), die rasch und exakt erstellt werden können, bilden für die meisten Anwendungen eine brauchbare Grundlage. Bei vielen 3D-Aufnahmen der jüngeren Vergangenheit wurden die Daten zwar sorgfältig gespeichert, wegen

¹³ Nikolaus Studnicka und Franz Zehetner: Cultural heritage documentation by combining near-range photogrammetry and terrestrial laser scanning – St. Stephens Cathedral, Vienna, 6. Internat. LACONA Tagung 2005 in Wien

der Komplexität der Handhabung aber von den Bau-Verantwortlichen kaum genutzt. Die Verfügbarkeit auf einem eigenen Laptop, die Ausstattung mit einfach zu bedienender Software ermöglicht es nun, sehr schnell auf die Daten zuzugreifen und die Informationen abzurufen. Voraussichtlich werden die Vermessungen mittels Laserscanner die Arbeit der Dombauhütte auch weiterhin begleiten. Viele Details können nur aus der Nähe aufgenommen werden und daher erst im Zuge der Restaurierungsarbeiten an dem jeweiligen Teil vom Gerüst aus erfasst und dann in das bestehende Modell eingefügt werden. Die Dombauhütte dokumentiert seit ca. 15 Jahren ihre Arbeit mit Hilfe von planorientierten Datenbanken, in denen Beschreibungen von Schäden und Maßnahmen, Photodokumentation und Materialanalysen sehr exakt am Gebäude verortet werden können und so Problemzonen gut auffind- und darstellbar gemacht werden.

Dieses Projekt hat geholfen, anfängliche Probleme mit dem Zusammenfügen einer so hohen Zahl von Scans zu lösen. Es hat sich gezeigt, dass Bereiche wie der Innenraum, der Dachboden, die Katakomben oder der Stephansplatz zuerst einzeln und dann in ihrer Gesamtheit ausgeglichen werden sollten. Die Datenanalyse, etwa mit Schnitten, erlaubt die Überprüfung der Gesamtpunktwolke auf Fehler und Ungenauigkeiten.

Obwohl praktisch die gesamte Datenaufnahme automatisiert ist, sind doch noch immer händische Reinigungen der Punktwolke von Vorteil. Messpunkte von Spiegelungen an Glasflächen oder von sich bewegenden Menschen am Stephansplatz können nur halbautomatisch gelöscht werden. Es besteht Hoffnung, dass in Zukunft auch für diese Arbeiten intelligente Algorithmen entwickelt werden.

Im Zuge der Auswertungen wurden vom Büro Meixner in der Software „Euclidean Geoverse Massive Datenmanager“ die Punktwolken trianguliert und mit den automatisch aufgenommenen Fotos texturiert. Die Navigation ist an moderne Spielkonsolen angepasst und die Geschwindigkeit der virtuellen Flüge ist beeindruckend. Es bleibt zu hoffen, dass so auch viele junge Besucher in Zukunft Interesse an historischen Gebäuden gewinnen.

Zusammenfassung und Ausblick

In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich der 3D-Laserscan als schnelle und zuverlässige Technologie für die Vermessung von Bestandsgebäuden etabliert¹⁴. Aber warum ist der 3D-Scan so praktisch für die Architek-

turvermessung? Der wohl wichtigste Aspekt neben Vollständigkeit, einfacher Handhabung und dem hohen Detailgrad der Vermessung, der erzielt werden kann, ist die Wirtschaftlichkeit. Die traditionellen Techniken vom Handaufmaß bis zur tachymetrischen Vermessung sind langsam und bergen großes Fehlerpotential durch die Tatsache, dass der Anwender nur jene Baudetails vermisst, die er selbst auch wahrnimmt und als relevant einschätzt. Mit dem 3D-Laserscanner, der die Raumgeometrie unvoreingenommen und millimetergenau vermisst, ist es ausgeschlossen, dass ein Detail übersehen wird, sofern es im Aufnahmebereich des Scanners liegt. Der Anwender muss nur Sorge tragen, durch Umstellen des Dreibeinstativs Scanschatten zu minimieren.

Verfügt man über einen vollständigen und korrekten Datensatz eines Objektes, kann er für die jeweiligen Anwendungen aufbereitet werden. Hier liegt der Vorteil der Technologie darin, dass alle Produkte für alle Bedarfsträger auf demselben Datensatz basieren. Es können sowohl die Forderung der Denkmalpflege nach verformungstreuen 2D-CAD-Plänen in Grundriss, Schnitt und Ansicht erfüllt als auch progressive Herangehensweise via BIM („Building Information Modeling“) in allen Varianten unterstützt werden. Die Informationen aus den unterschiedlichsten Anwendungen können über das 3D-Modell und seine exakte Geometrie zusammengeführt und so auch für andere zur Verfügung gestellt werden.

Die exakte räumliche Bestandsaufnahme und Dokumentation von Schäden und Maßnahmen wird – wegen ihrer großen Möglichkeiten und der immer einfacher und effizienter werdenden Handhabung – in der Zukunft wohl ein immer öfter eingesetztes Werkzeug der Baudenkmalpflege im Allgemeinen und am Stephansdom im Besonderen werden. Die mittels Laserscanner erstellte Momentaufnahme liefert schon für sich sehr viel mehr Informationen als ein zweidimensionaler Plan. Mit modernen – auch mobilen – Computern können die großen dreidimensionalen Modelle sehr gut bearbeitet werden, laufende Veränderungen am Bauwerk können auf diese Weise effizient dokumentiert werden. Die dreidimensionale Baudokumentation entwickelt sich – neben Photodokumentation und beschreibenden Texten bzw. Datenbanken – zu einem unverzichtbaren Werkzeug für die Pflege von komplexen Baudenkmalern. 

Projektpartner

Dombauhütte St. Stephan, 1010 Wien, www.dombauwien.at

RIEGL Laser Measurement GmbH, 3580 Horn, Österreich www.riegl.com

Meixner Vermessung ZT GmbH, 1060 Wien, Österreich www.meixner.com

¹⁴ Studnicka N., Groiss B., Ganspöck M. (2019) „Online-Erstellung von orthogonalen Ansichten und Schnitten aus Laser Scanner Daten“, Oldenburger 3D Tage 2019, Tagungsband, <https://www.vde-verlag.de/buecher/537660/photogrammetrie-laserscanning-optische-3d-messtechnik.html>