

# Von der Digitalisierung eines Denkmals und seiner Geschichte

KIRCHBÜHL DIE KIRCHE ST. MARTIN AUF KIRCHBÜHL WIRD DIGITAL ERFASST

Seit rund eintausend Jahren steht die Kirche St. Martin an ihrem Platz mit Aussicht auf den Sempachersee – ungefähr einen Kilometer nördlich der heutigen Pfarrkirche St. Stefan. Unter den Bodenplatten der Kirche, im Erdreich verborgen, liegen die Reste antiker und frühmittelalterlicher Bauten, welche von einer jahrhundertelangen Geschichte der Bautätigkeit am Ort des Weilers Kirchbühl zeugen. Wer heute die Kirche besucht, erkennt schnell, dass sie eine lange Baugeschichte zu erzählen hat. Bei genauem Hinsehen werden etwa Spuren von früheren Öffnungen

und des Weilers Kirchbühl wurde während der letzten Jahrzehnte von verschiedenen Fachpersonen aus den Bereichen der Archäologie, der Kunst- und Architekturgeschichte sowie der Denkmalpflege untersucht und auf vielen Seiten Papier beschrieben. Dieser Beitrag soll daher nicht ein Wiedergeben von bereits publiziertem Wissen sein. Vielmehr geht es darum aufzuzeigen, wie ein historisches Bauwerk und das vorhandene Wissen darüber in einem digitalen 3D-Modell dokumentiert und dargestellt werden können. Dieser Frage ging ich vor vier Jahren

mitsamt aller Verformungen der Bauteile (z. B. Wände oder Gewölbe) darstellt. Aus dieser Punktwolke liess sich mittels computergestützter Auswertung einiges über das Bauwerk herausfinden. Das Messen von Mauerdicken, geometrische Analysen der Kreuzrippengewölbe des Chors oder das Auswerten von Verformungen der Aussenwände war basierend auf dieser Punktwolke der Kirche St. Martin problemlos möglich. So liess sich beispielsweise berechnen, dass die Gewölbe im Chor eine Dicke zwischen 18 und 20 cm haben und das totale Volumen sämtlicher Mauern



Mathias Häcki setzt den Laserscanner in der Kirche St. Martin ein.

FOTO OTTO SCHMID

gen und Durchgängen sichtbar oder man erkennt unterschiedliche mittelalterliche Mauerwerkstechniken vom verputzten Bruchsteinmauerwerk (pietra-rasa) bis hin zum fein gearbeiteten Quadermauerwerk. Verschiedene Elemente unterschiedlichen architektonischen Stils stehen sinnbildlich für verschiedene Bautätigkeiten während der vergangenen Jahrhunderte. So stehen die grossen, spätgotischen Masswerkfenster und Kreuzrippengewölbe im Chor den kleinen, romanischen Fensteröffnungen im flachgedeckten Kirchenschiff gegenüber. Dass all diese Spuren und wertvollen Hinweise auf die Baugeschichte der Kirche St. Martin und die angewandten historischen Bautechniken heute noch erhalten sind, ist alles andere als selbstverständlich. Viele mittelalterliche Sakralbauten der katholischen Innerschweiz wurden im Zuge barocker Bautätigkeit umgebaut und stark verändert.

Wie kam es, dass die Kirche St. Martin verschont blieb? Kurz nach der Gründung der Stadt Sempach im ersten Drittel des 13. Jahrhunderts wurde in der Altstadt eine Tochterkirche, die heutige Pfarrkirche St. Stefan, errichtet. Die Kirche St. Martin auf Kirchbühl behielt zwar bis zur Verlegung des Friedhofs nach St. Stefan im Jahre 1832 ihren Status als Pfarrkirche, verlor jedoch über die Jahrhunderte stetig an religiöser Bedeutung. Dies führte dazu, dass der Bau ab der Mitte des 16. Jahrhunderts nicht mehr wesentlich verändert worden ist. So gehört die Kirche St. Martin zu den wenigen erhaltenen Sakralbauten der Innerschweiz, in welchen der mittelalterliche Charakter über die Jahrhunderte wesentlich bewahrt werden konnte. Dies macht sie zu einem wertvollen historischen Bauwerk und Zeugen mittelalterlicher Bautechnik.

Die Geschichte der Kirche St. Martin

## Schritt 1 - Erfassung des Baubestands

Der erste Schritt bei der Erstellung des digitalen Zwillinges der Kirche St. Martin war das Erfassen des kompletten Baubestandes. Zu diesem Zweck kam in Kirchbühl ein Gerät zum Einsatz, welches die gesamte Struktur der Kirche flächendeckend vermessen und dreidimensional abbildete: Der 3D-Laserscanner. Für die Vermessung der Kirche St. Martin wurde ein Scanner verwendet, welcher mittels Distanzmessung per Laser 2 Millionen Punkte pro Sekunde mit einer Genauigkeit von 1,9 mm bei 10 m Distanz erfasst.

Durch Drehung um die eigene Vertikalachse bildet ein einzelner Scan die gesamte Umgebung um seinen Standpunkt ab. Die daraus entstehende dreidimensionale Darstellung, bestehend aus Millionen von Punkten mit Koordinaten- und Farbwerten, nennt sich Punktwolke. Für das Erfassen der kompletten Kirche St. Martin waren insgesamt 46 solcher Scans ausserhalb und innerhalb der Kirche nötig. Das bedeutet, dass insgesamt etwas mehr als 711 Millionen Punkte vermessen wurden. Daraus ergab sich eine Punktwolke, welche ein vollständiges dreidimensionales Abbild der Kirche St. Martin

der Kirche ungefähr 650 m<sup>3</sup> beträgt, was ungefähr dem Volumen von 4300 Badewannen entspricht.

## Schritt 2 - Von der Punktwolke zum Bauteil

Der Schritt von der Punktwolke zum digitalen Zwilling brachte eine Herausforderung mit sich. Die einzelnen Punkte der Punktwolke enthielten nämlich lediglich Informationen über ihre Position und Farbe. An einem einzelnen Punkt war also nicht erkennbar, ob er Teil einer Mauer, eines Dachsparrens oder einer Kirchenbank war, also zu welchem Bauteil er gehört. Deswegen musste im zweiten Schritt die Punktwolke mittels der Zuordnung der Punkte zu den einzelnen Bauteilen in ein 3D-Modell übersetzt werden. Zum Zeitpunkt, als diese Arbeit verfasst wurde, war dies grösstenteils manuelle Arbeit im 3D-Modellierungsprogramm. Mithilfe einiger Zwischenschritte übersetzte ich die Punktwolke zunächst in ein Format, auf dessen Basis dann die einzelnen Bauteile wie die Gewölberippen oder die gotischen Masswerkfenster modelliert werden konnten. Heute verläuft dieser Prozess mithilfe spezifischer Programme im Wesentlichen automatisiert. Das Resultat dieses zweiten Schritts war ein 3D-Modell, bestehend aus sämtlichen Bauteilen der Kirche St. Martin. Verformungen oder komplexe Oberflächen wurden in diesem Modell abstrahiert und vereinfacht dargestellt, was im Vergleich zur Punktwolke ein Verlust an Detaillierung bedeutete. Jedoch erlaubte das 3D-Modell Auswertungen, welche in der Punktwolke schwierig zu bewerkstelligen gewesen wären. Zum Beispiel liess sich einfach feststellen, dass das heutige Dachwerk der Kirche aus 259 Holzelementen besteht und insgesamt 23 Fensteröffnungen und Spuren von 25 verschlossenen Öffnungen oder Durchgängen vorhanden sind.



Punktwolke der Kirche St. Martin, bestehend aus über 700 Millionen Punkten.

GRAFIKEN ZVG



Das 3D-Modell der Kirche St. Martin – zur Veranschaulichung sind einige Bauteile ausgeblendet oder transparent eingestellt.

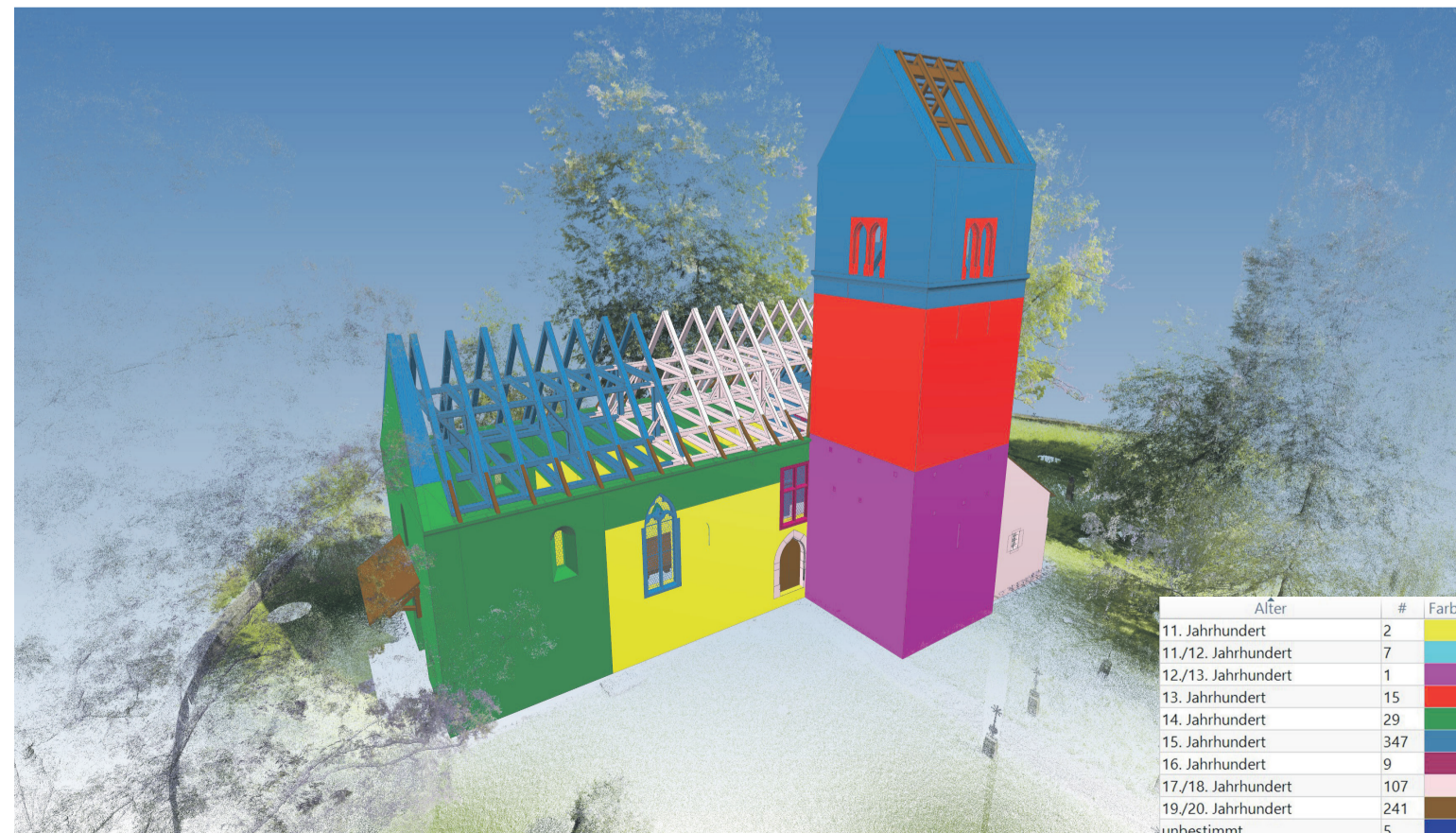


Bild des 3D-Modells, automatisch eingefärbt nach Alter der jeweiligen Bauteile. So lassen sich die Bauphasen der Kirche visualisieren.

Alter	#	Farbe
11. Jahrhundert	2	Blau
11/12. Jahrhundert	7	Gelb
12/13. Jahrhundert	1	Rosa
13. Jahrhundert	15	Rot
14. Jahrhundert	29	Grün
15. Jahrhundert	347	Braun
16. Jahrhundert	9	Orange
17./18. Jahrhundert	107	Schwarz
19./20. Jahrhundert	241	Rot
unbestimmt	5	Blau

## Schritt 3 - Die Bauteile erhalten Informationen

Wie eingangs erwähnt, ist über die Geschichte der Kirche St. Martin ein Wissensschatz in Form von publizierten Büchern und Artikeln vorhanden. Beispielsweise ist durch eine dendrochronologische Untersuchung von 2011 bekannt, dass das Dachwerk der Kirche aus zwei verschiedenen Jahrhunderten stammt. Das heutige Dachwerk über dem Chor und die südliche Hälfte über dem Kirchenschiff wurden im 15. Jahrhundert gebaut. Die nördliche Hälfte des Dachwerks über dem Kirchenschiff ist im 18. Jahrhundert erneuert worden. Weiter bestehen der heutige Kirchenraum und der Turm aus jeweils drei unterschiedlichen Bauphasen, gebaut zwischen dem 11. und dem 15. Jahrhundert. Der dritte Schritt zur Erstellung eines digitalen Zwillinges der Kirche St. Martin bestand darin, dieses Wissen in das 3D-Modell zu integrieren. Man kann sich das so vorstellen, dass jedem Bauteil eine Art Steckbrief mit diversen Angaben angehängt wurde. Neben allgemeineren Informationen wie der Bauteilkategorie erhielt jedes Bauteil eine Angabe zu dessen Alter, eine Beschreibung der Materialität und Oberfläche sowie allfällige Zusatzinformationen. Die Angaben basierten auf dem damals aktuellen Forschungsstand und wurden für jedes Bauteil, wo nötig, mit der entsprechenden Quellenangabe versehen.

Der so entstandene digitale Zwilling der Kirche St. Martin bildet also eine dreidimensionale Datenbank. Durch die integrierten Informationen lassen sich die einzelnen Bauteile beliebig filtern und verschiedene Darstellungen des Baubestandes erzeugen. So kann das Modell beispielsweise automatisch nach Bauphasen eingefärbt oder die vorhandenen Spuren von früheren Öffnungen mitsamt

Erklärungen hervorgehoben werden. Für die Vermittlung der Geschichte des Bauwerks kann dies von Nutzen sein. Weiter bildet das Modell eine Basis für die fortlaufende Dokumentation des Wissensstands, welche jederzeit abgerufen und falls nötig verändert und ergänzt werden kann. Eine mögliche Erweiterung der Informationen wäre das Markieren der Steinmetzzeichen an den Rippen der Chorgewölbe oder der Abbundzeichen der Dachwerke. Im Allgemeinen kann und soll das Modell als Grundlage für die Planung zukünftiger Renovationsarbeiten dienen und so einen Beitrag zum Erhalt der Kirche St. Martin auf Kirchbühl leisten.

MATHIAS HÄCKI

## Glossar

**Digitaler Zwilling:** Die virtuelle Abbildung eines Objekts oder Systems nennt sich digitaler Zwilling. Neben der Repräsentation der Form enthält die Abbildung weitere, vom Verwendungszweck abhängige Informationen. In der Bauindustrie wird der Begriff im Kontext des Building Information Modeling (BIM) verwendet. Der im Rahmen der Fallstudie erstellte digitale Zwilling der Kirche St. Martin ist eine dreidimensionale Abbildung, welche das Bauwerk und der Stand des Wissens im Jahre 2020 repräsentiert.

**Dendrochronologische Untersuchung:** Bei diesem Verfahren zur Altersbestimmung von Holz wird mit einem speziellen Bohrer eine Probe des diagonalen Querschnitts eines Holzbauteils entnommen. Mithilfe der Jahrringbreiten lässt sich anschliessend bestimmen, in welchem Jahr der Baum, aus welchem das Bauteil besteht, gefällt wurde. Da im historischen Holzbau das Fällen und Verbauen von Holz meist direkt aufeinander erfolgte, kann diese Datierung für die Altersbestimmung von Bauwerken verwendet werden. **Steinmetzzeichen:** Individuelle Zeichen oder Symbole, welche vom Steinmetz an steinernen Bauteilen angebracht wurden. Steinmetzzeichen finden sich an vielen mittelalterlichen Bauten in ganz Europa. Die genaue Bedeutung und Entwicklung der Zeichen sind nicht abschliessend geklärt. Es wird

vermutet, dass sie als Signatur des jeweiligen Steinmetzes, der Abrechnung und Qualitätssicherung gedient haben.

**Abbundzeichen:** Von Zimmermeistern an hölzernen Bauteilen angebrachte Zeichen, um den Zusammenbau auf der Baustelle zu erleichtern. Im traditionellen Holzbau wurden die Bauteile auf dem sogenannten Abbundplatz ausgearbeitet und systematisch mit Zahlzeichen oder Symbolen markiert. Die Markierung erfolgte dabei entweder per Einkerbung oder mittels roter Kreide (Rötel).

**Literaturverzeichnis**  
Auf der Mauer, Christian; Rösch, Christoph; Archäologie des Früh- bis Spätmittelalters am Sempachersee 01. Kirchen, Friedhöfe und Gräberfelder. Archäologische Schriften Luzern 16.1. Luzern: Kantonsarchäologie Luzern, 2016.

Bergmann, Uta: Kirchbühl bei Sempach. Schweizerische Kunstführer GSK. Serie 51, Nr. 504. Bern: Gesellschaft für schweizerische Kunstgeschichte GSK, 1992.

Bosch, Reinhold: Ein neuer Durchbruch der Rätsel von Kirchbühl. Separatdruck Luzerner Neueste Nachrichten (LNN), Nr. 219. Luzern: 20. September 1960.

Speck, Josef: Die Ausgrabungen zu St. Martin auf Chilchbüel. Erscheinungsort und Verlag nicht ermittelbar.

**Über den Autor:** Mathias Häcki aus Neuenkirch ist Architekt Msc. ETH und forscht aktuell am Institut für Denkmalpflege und historische Bauforschung (IDB) der ETH Zürich im Rahmen seiner Dissertation über die mittelalterlichen Konstruktionstechniken der frühen französischen Gotik in der Normandie. Bei seiner Arbeit spielt die Anwendung moderner Technologien zur Vermessung und Analyse von historischem Baubestand eine zentrale Rolle. Seine Forschung hat zum Ziel, das baugeschichtliche Wissen mittels neuerartigen Auswertungsmöglichkeiten zu erweitern und so zum sinnvollen Umgang und Erhalt eines Denkmals beizutragen. Die Fallstudie zu St. Martin auf Kirchbühl wurde von Mathias Häcki 2020 im Rahmen einer Semesterarbeit am IDB verfasst, sämtliche Quellen sind in der Dokumentation angegeben und im digitalen Modell hinterlegt.  
Kontakt: haeckim@arch.ethz.ch



Spuren der Baugeschichte von St. Martin. Unten: Reste von verputztem Bruchsteinmauerwerk und Öffnungen aus verschiedenen Bauphasen. Oben: Steinmetzzeichen an den Gewölberippen im Chor und Abbundzeichen am Glockenstuhl im Turm.