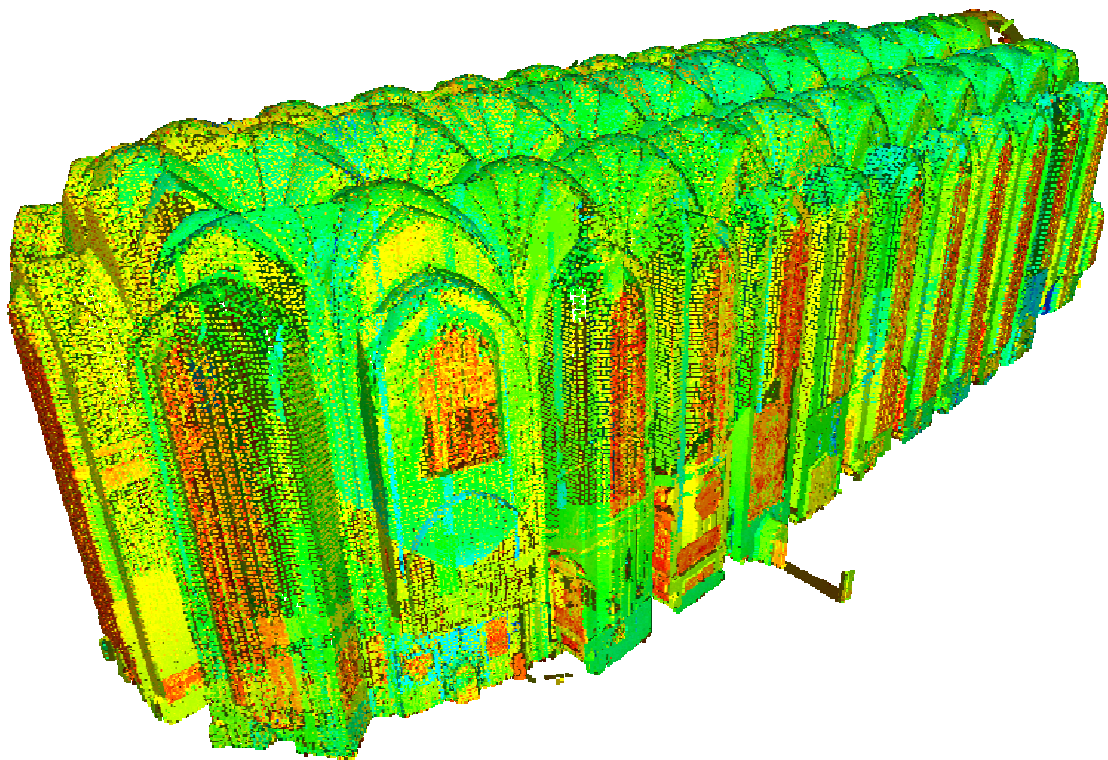


Kurzfassung der Diplomarbeit

Berührungslose Messverfahren in der Geodäsie –  
Bestandserfassung in der Münchner Frauenkirche  
über Laserscanning



Erstprüfer / Betreuer: Prof. Dr. -Ing. Reinhold Weber  
Zweitprüfer: Prof. Dr. -Ing. Alfons Hilmer

## AUFGABE

In meinem Bestreben ein praxisbezogenes Thema für meine Diplomarbeit im Rahmen meines Bauingenieurstudiums zu wählen, bin ich als langjähriger Mitarbeiter an die Firma Dobler herangetreten um in Zusammenarbeit mit der Hochschule Augsburg ein geeignetes Thema zu finden. Da die Firma Dobler im Besitz eines Laserscanners ist und die Vermessung im Bauingenieurwesen als Kernkompetenz gilt, habe ich mich dafür entschieden, meine Diplomarbeit in dem Bereich Laserscanning im Fach Vermessungskunde zu schreiben.

Als Projekt bot sich die Bestandsaufnahme des Innenraums des Münchner Doms „Zu Unserer Lieben Frau“ (genannt Frauenkirche) an, wo die Firma Dobler als Betreuung tätig ist.



**Abbildung 1: Münchner Dom „Zu Unserer Lieben Frau“, außen und innen**

Als Wahrzeichen der Landeshauptstadt stellt die über 500 Jahre alte Münchner Frauenkirche ein historisches und kulturelles Erbe von großer Bedeutung dar. Die Erhaltung ihrer Bausubstanz und Authentizität ist eine ununterbrochene Herausforderung. Umso größer ist die Nachfrage an genauen und vollständigen Bestandsplänen. Da der Innenraum der Münchner Frauenkirche unzureichend und wenig aussagefähig dokumentiert war, bestand hier der dringende Bedarf einer vollständigen und detaillierten Erfassung des realen Bestands. Die vorhandene, sehr anspruchsvolle Geometrie mit unregelmäßig strukturierten und sehr viel kleinteiligen Objekten, sollte in einer dreidimensionalen Aufnahme mit dem Laserscanner so erfasst werden, dass sie in einer CAD-Umgebung für sämtliche Planungsmaßnahmen zur Verfügung steht.

Die Schwerpunkte dieser Diplomarbeit sind die vollständige Erfassung des Innenraums der Münchner Frauenkirche mit dem Laserscanner, die Bearbeitung der erfassten Daten zu einer einzigen Punktwolke, die den gesamten Innenraum der Münchner Frauenkirche repräsentiert und die Erstellung von genauen zweidimensionalen Bestandsplänen für einen Teil des Innenraums der Münchner Frauenkirche. Ein weiteres Ziel dieser Diplomarbeit ist die Recherche und Darstellung von aktuellen Laserscannern von verschiedenen Herstellern.

## TERRESTRISCHES LASERSCANNING

Das terrestrische Laserscanning ist eine berührungslose Methode zur dreidimensionalen Aufnahme von Objekten und stellt im Prinzip eine Automatisierung des tachymetrischen Messvorganges dar. Ausgehend vom Instrumentenstandpunkt werden beim Laserscanning die Horizontal- und Vertikalwinkel sowie die Distanz zu einer Vielzahl von Messpunkten des aufzunehmenden Objekts ermittelt. Für jeden Messpunkt werden aus diesen Messwerten lokale kartesische Koordinaten abgeleitet. Das Ergebnis einer Aufnahme ist eine 3D-Punktwolke im lokalen Scanner-Koordinatensystem. Diese Punkte liegen alle auf den vom Laserscanner erfassten Oberflächen und repräsentieren gewissermaßen die Raumbegrenzungen. Die Genauigkeit der Einzelpunkte liegt im Millimeterbereich.

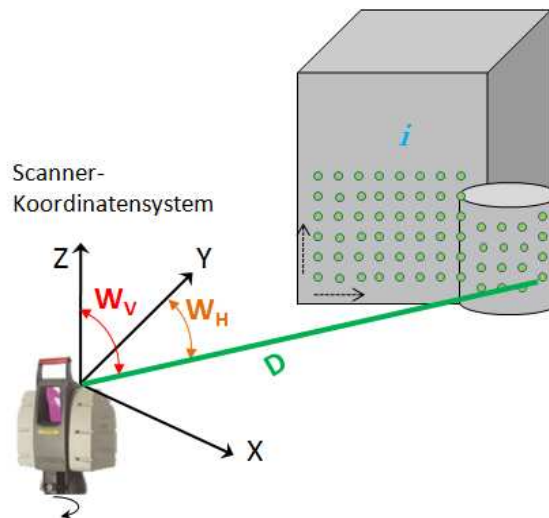


Abbildung 2: Prinzip des Terrestrischen Laserscannings

Neben den 3D-Koordinaten wird für jeden Messpunkt ein Reemissionswert erfasst, der die Reflektivität der aufgenommenen Objektflächen beschreibt, weshalb oft die Bezeichnung 4D-Laserscanning verwendet wird. Mehrere Punktwolken können mit Hilfe von gemeinsamen Zielmarken und durch andere Verfahren im Prozess der Registrierung in ein einheitliches Objektkoordinatensystem miteinander verknüpft werden. Aus der gemessenen 3D-Punktwolke können mit CAD-Programmen Grundrisse, Schnitte und Ansichten beliebig erstellt werden. Genauso können 3D-Modelle der gemessenen Räume generiert werden.

Anwendung findet das Laserscanning immer dort, wo unregelmäßig strukturierte oder sehr viele kleinteilige Objekte mit hoher Auflösung in ihrer Geometrie erfasst werden sollen.

Für die Bestandserfassung in der Münchner Frauenkirche kam folgender Laserscanner zur Anwendung:


	<b>HDS 3000 (High-Definition Surveying) von Leica Geosystems</b>	
	Messverfahren	Pulsierend (Impulslaufzeit)
	Typ. Messentfernung	100 m
	Datenerfassungsrate	bis 1800 Punkte/Sekunde
	Einzelpunktgenauigkeit (3D)	6 mm (Bei 50 m Entfernung)
	Sichtfeld horizontal	360°
	Sichtfeld vertikal	270°
	Scanner Gewicht	16 kg

Abbildung 3: Laserscanner HDS 3000 von Leica Geosystems

## PLANUNG UND VORBEREITUNG DER VERMESSUNG

Der erste Schwerpunkt dieser Arbeit lag in der vollständigen Aufnahme des gesamten Innenraums der Münchner Frauenkirche mit sämtlicher Einrichtung. Um das zu erreichen, wurde vor Beginn der Vermessungsarbeiten eine umfassende Planung der Aufnahmearbeiten durchgeführt. In mehreren Begehungen im Vorfeld wurde die notwendige Anzahl und Lage der Standpunkte des Scanners und die zu erfassende Fläche von jedem Standpunkt aus ermittelt.

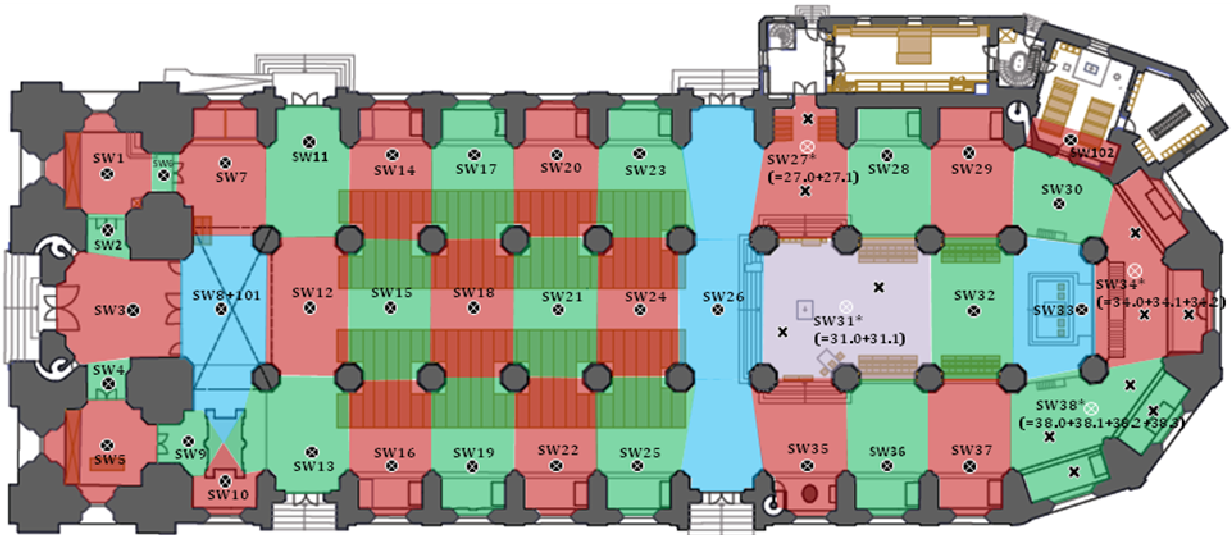


Abbildung 4: Anordnung der Standpunkte des Scanners in der Münchner Frauenkirche (SW=Scan-Welt)

Darüber hinaus wurde auch die Lage und Benennung der von jedem Standpunkt aus zu erfassenden Zielmarken festgelegt. Die Zielmarken dienen als gemeinsame Punkte von zwei oder mehreren miteinander zu verknüpfenden Scanaufnahmen.



Abbildung 5: Zielmarken (Targets)

Als Ergebnis dieser ganzen Planungsmaßnahme erfolgte ein Übersichtsplan über die auszuführenden Scanaufnahmen, der die Lage und Benennung aller Gerätestandpunkte, die Lage und Benennung aller Zielmarken und die zu erfassenden Flächen und Zielmarken von dem jeweiligen Gerätestandpunkt aus beinhaltete. Dieser Plan wurde als Grundlage und Richtschnur bei der Ausführung der Scanarbeiten benutzt und erwies sich als sehr hilfreich bei der Vermessung.

## AUFNAHME IM INNENRAUM DER MÜNCHNER FRAUENKIRCHE

Um den hohen Besucherverkehr und die kirchlichen Veranstaltungen in der Münchner Frauenkirche nicht zu stören, wurde beschlossen die Vermessungsarbeiten außerhalb der Betriebszeiten, d.h. während der Nacht auszuführen.

Damit der gesamte Bestand vollständig und möglichst detailreich erfasst wird, wurde entschieden den gesamten Innenraum der Frauenkirche mit einem Punktraster von mindestens 2 x 2 cm aufzunehmen. Bereiche mit Figuren, Steinbildern und Reliefs wurden darüber hinaus mit einer höheren Auflösung von bis zu 2 mm aufgenommen.



Abbildung 6: Während der Aufnahme der Scan-Welt 3

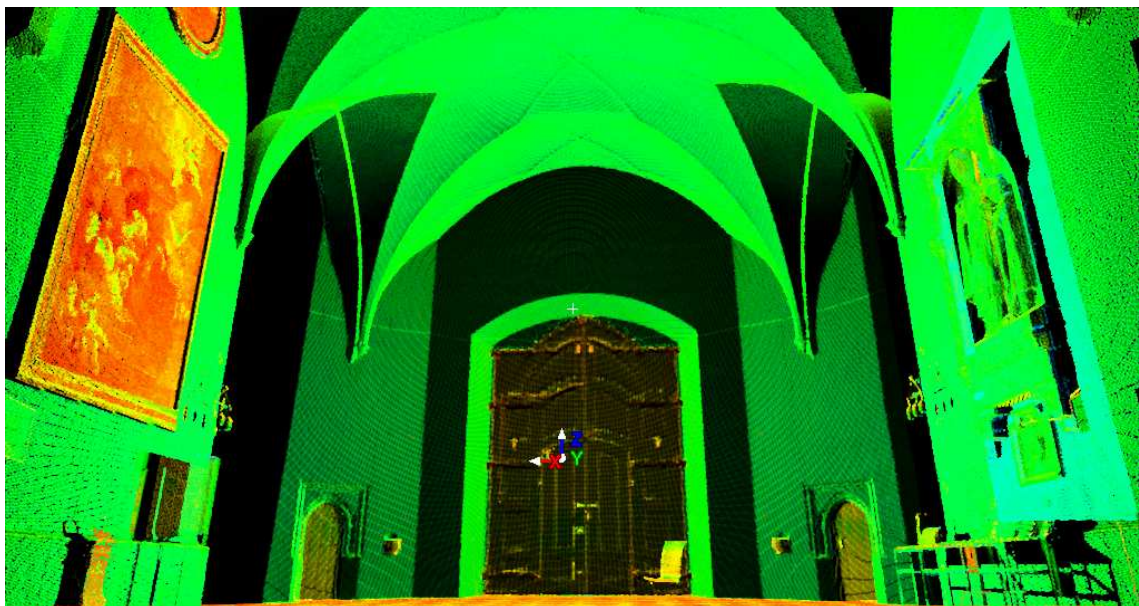
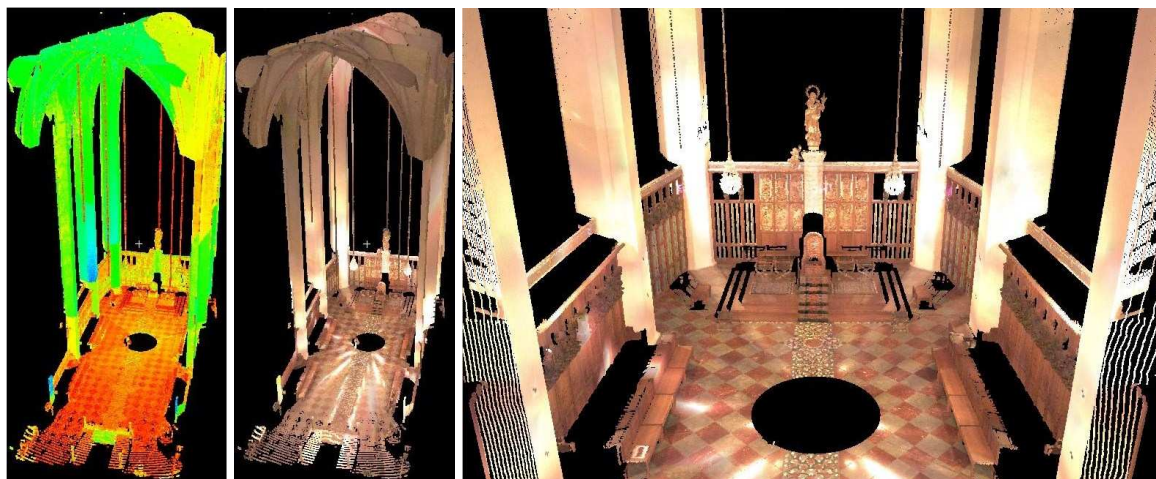


Abbildung 7: Die aufgenommene Scan-Welt 3 („Punktwolke“, die Farbe repräsentiert die Reflektivität)

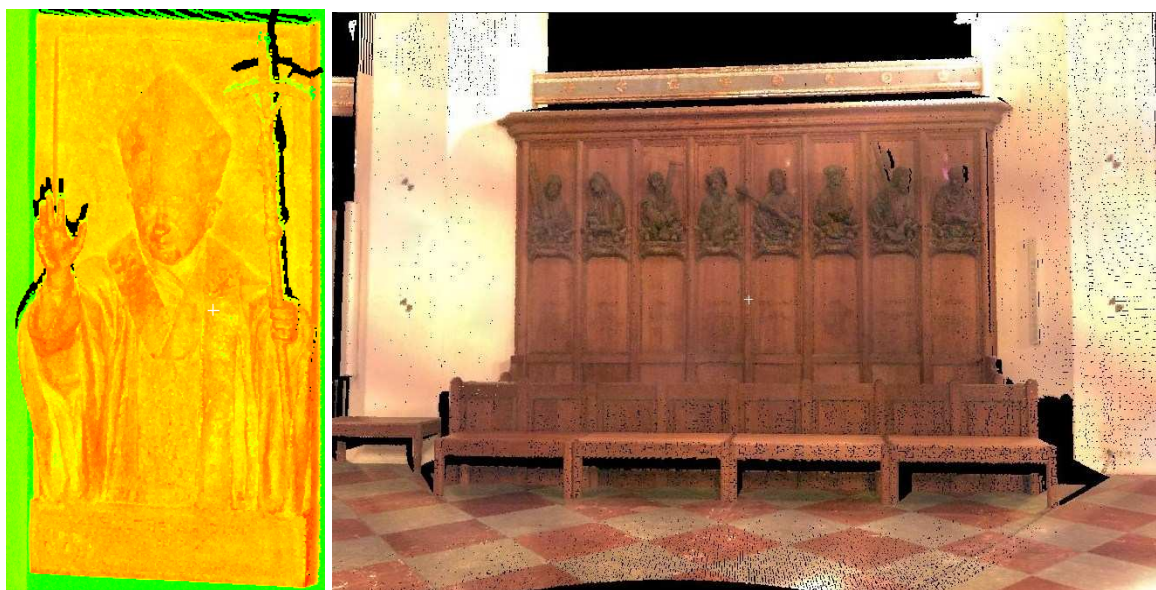
Um eine vollständige Aufnahme zu erreichen musste der gesamte Innenraum der Münchner Frauenkirche von 47 verschiedenen Standpunkten aus gescannt werden. Die durchschnittliche Dauer der Aufnahme von einem Standpunkt lag bei ca. 2 Stunden. Die Aufnahme des gesamten Innenraums der Münchner Frauenkirche dauerte insgesamt 10 Nächte.

Neben dem Scannen der Flächen, wurden diese noch zusätzlich von jedem Standpunkt aus, mit Hilfe der im Scanner integrierten Digitalkamera, fotografiert. Die Fotoaufnahmen dienen dazu, die aufgenommenen Punktwolken fotorealistisch erscheinen zu lassen, indem die generierten Punkte in derselben Farbe wie die Oberflächen auf dem Foto gefärbt werden.



**Abbildung 8: Die aufgenommene Scan-Welt 32 – links) Reflektivitätsfarben; rechts) echte Fotofarben**

Neben der Erfassung des Bauwerks, wurde bei der Aufnahme auch besonders darauf geachtet die detailreichen Statuen, Reliefs und das Mobiliar mit einer hohen Auflösung aufzunehmen.



**Abbildung 9: Detailaufnahmen mit hoher Auflösung – links) Skulptur von Papst Benedikt XVI; rechts) Mobiliar im Altarbereich**

## REGISTRIERUNG UND ORIENTIERUNG DER SCANAUFNAHMEN

Bei der Registrierung werden einzelne, jeweils in einem eigenen Koordinatensystem ausgerichtete Scanaufnahmen, zu einer Gesamtpunktwolke mit einem vom Anwender bestimmten Koordinatensystem verbunden. Die Registrierung der Scanaufnahmen vom Innenraum der Münchner Frauenkirche zu einer Gesamtpunktwolke wurde mit Hilfe von gemeinsamen Zielmarken realisiert. Dies ist eine der einfachsten Registrierungsmethoden.

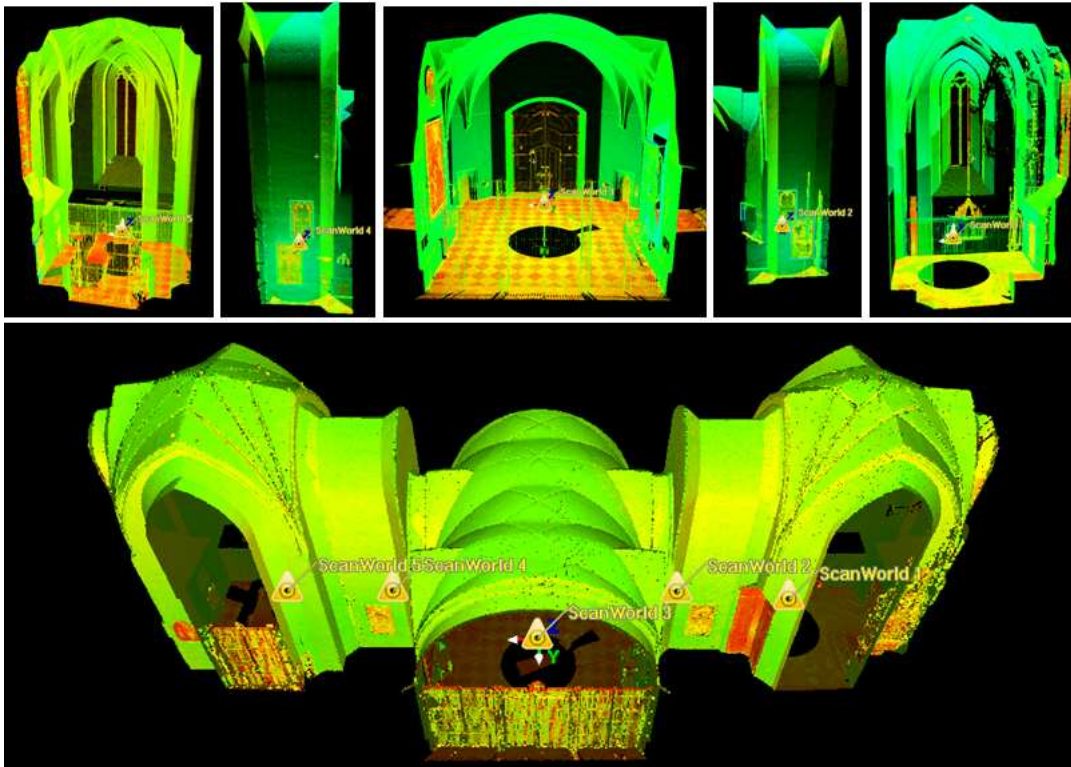


Abbildung 10: Scan-Welt 1 bis 5 – oben) vor der Registrierung; unten) nach der Registrierung

Um einen Bezug der Punktwolke zu dauerhaften und festinstallierten Punkten herzustellen, wurde die gesamte Punktwolke an das vorhandene Koordinatennetz, das im Innenraum der Münchner Frauenkirche von der TU München installiert wurde, orientiert. Als Ergebnis lag eine Punktwolke bestehend aus ca. 190.000.000 Punkten vor, die den gesamten Innenraum der Münchner Frauenkirche repräsentiert.

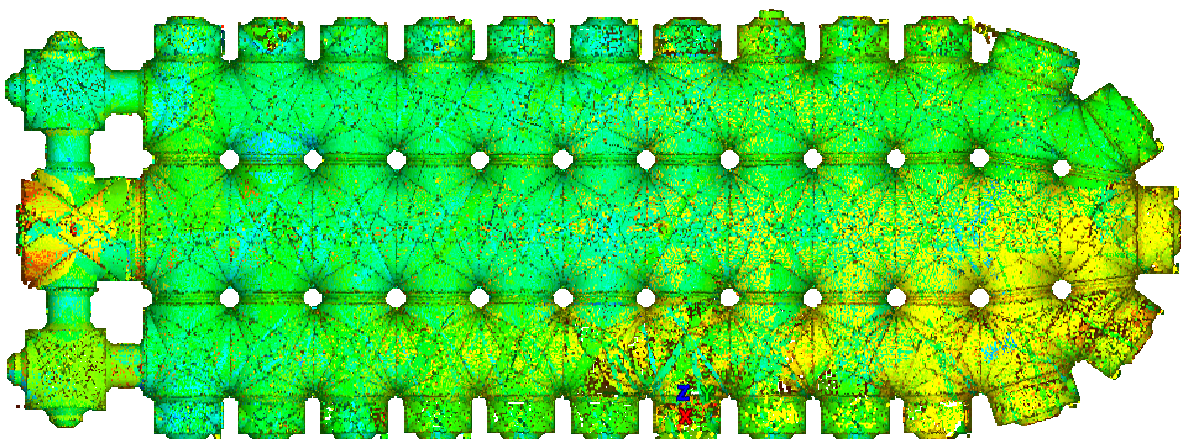


Abbildung 11: Gesamte registrierte Punktwolke orientiert im vorhandenen Koordinatensystem

## ERSTELLUNG VON BESTANDSPLÄNEN AUS DER PUNKTWOLKE

Das Zeichnen von Bestandsplänen aus der Punktwolke erfolgte mit dem Programm AutoCad und mit Hilfe des Plug-In-Bearbeitungsmoduls für Punktwolken CloudWorx von Leica. Eine sehr attraktive Funktion für das Zeichnen von Plänen aus der Punktwolke war die Möglichkeit beliebige Schnittebenen durch die Punktwolke zu definieren.

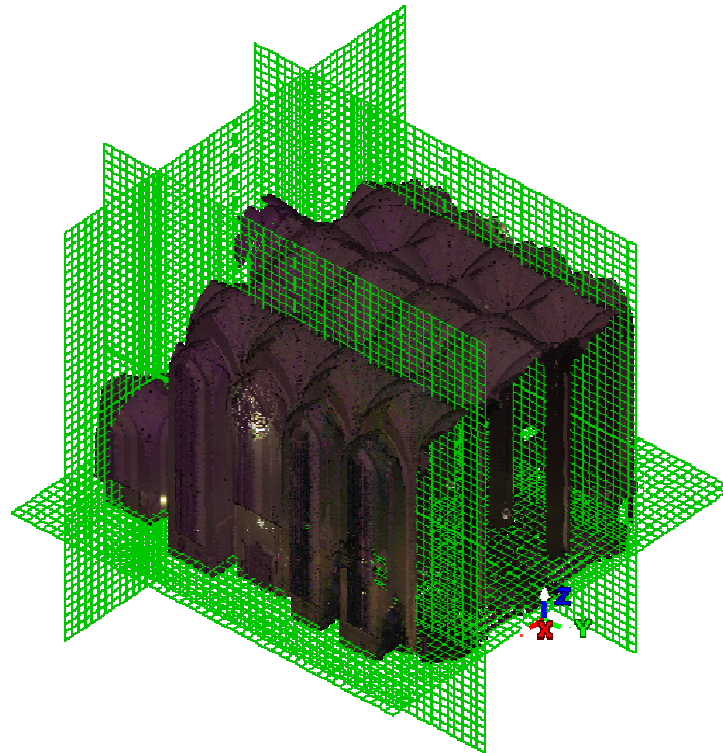


Abbildung 12: Lage der Schnittebenen in der Punktwolke für die Erstellung von Bestandsplänen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zweidimensionale Bestandspläne für die westliche Hälfte des Innenraums der Münchner Frauenkirche erstellt. Von diesem Teil der Punktwolke wurde ein Grundriss, sowie eine Süd-, West- und Nordansicht gezeichnet.

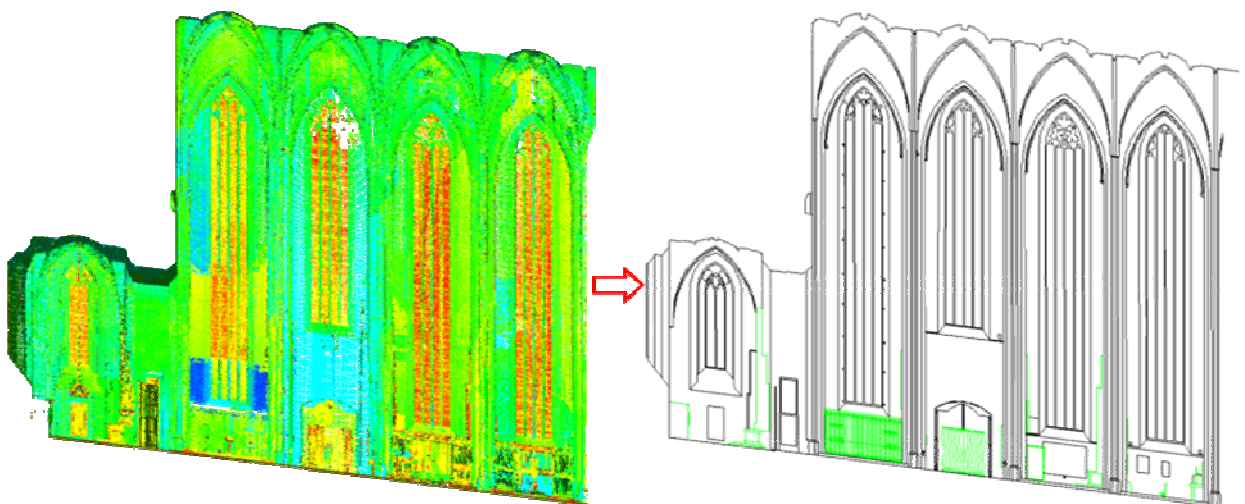


Abbildung 13: Nordansicht – links) Schnitt durch die Punktwolke; rechts) generierter Bestandsplan



## **RECHERCHE UND DARSTELLUNG VON LASERSCANNERN**

Ein weiteres Ziel dieser Diplomarbeit war die Recherche und die Darstellung von aktuellen Laserscannern von verschiedenen Herstellern.

Aufgeführt wurden sowohl Impulslaufzeitscanner als auch Phasenvergleichsscanner von mehreren Firmen. Anhand der Herstellerangaben in den technischen Datenblättern, wurden die Laserscanner mit ihren Merkmalen, wie das Sichtfeld, die Scan-Entfernung, die maximale Scan-Rate, die Genauigkeit, die Scanner-Steuerung, die vorhandene Kamera, die Ausstattung mit Neigungssensoren, die Tachymeterfunktionen und die Ausstattung mit einem GPS-Empfänger, dargestellt.

## **DANKSAGUNG**

Mein Dank gilt der Firma Dobler, die für diese Diplomarbeit die notwendige Hard- und Software zur Verfügung gestellt hat und der Metropolitanpfarre Zu Unserer Lieben Frau, die eingewilligt hat die Vermessungsarbeiten in der Münchner Frauenkirch auszuführen.

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei meinem betreuenden Professor Prof. Dr.-Ing Reinhold Weber bedanken, der mich während der gesamten Arbeit jederzeit mit Rat und Tat umfangreich unterstützt hat.