



# Holzbausanierung digital

Sanierung von Holzbauteilen mittels digitaler Aufnahme, CAD-Bearbeitung und maschineller Produktion = Reverse Engineering von Holzverbindungen

**gefördert durch:** Wald- und Holzforschungsfond, Projekt-Nr. 2017.06

## Schlussbericht / Leitfaden

**Bericht Nr.** 74FE-R.008477-FB-01

**Auftrag Nr.** R.008477-10-74FE-01

**Klassifizierung** Öffentlich

**Datum** 30. März 2019

**Projektförderung** BAFU  
Wald- und Holzforschungsfond WHFF

**Adresse der Forschungsstelle** Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau  
Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur  
Kompetenzbereich Bauen im Bestand und Denkmalpflege  
Solothurnstrasse 102, CH-2504 Biel  
Tel / Fax +41 (0)32 344 0 341 / 391  
[www.ahb.bfh.ch](http://www.ahb.bfh.ch)

**Verfasser** Mareike Vogel, Ursin Huwiler, Kevin Preile, Andreas Müller

## Abstract

### Einleitung und Ziel

Das Forschungsprojekt zeigt die technischen Möglichkeiten zur Sanierung von Holzbauteilen und -verbindungen mittels digitaler Aufnahme, CAD-Bearbeitung und maschineller Produktion, d.h. dem Reverse Engineering von Holzverbindungen auf.

**Ziel** ist es, den an einem bestehenden Holztragwerk beteiligten Fachpersonen Hilfestellung zu digitalen Bauteilaufnahme zu geben. Zur Erleichterung der Lösungsfindung soll die CAD-gestützte Sanierungsplanung zu Verstärkungsmassnahmen von gängigen Vollholzverbindungen und -anschlüssen aufgezeigt werden. Des Weiteren wird aufgezeigt, inwiefern die Anwendung einer durchgängigen digitalen Kette in dem vorgestellten Zusammenhang möglich ist.

### Vorgehen

Nach Darstellung des Standes der Technik bezüglich digitaler Bauaufnahme wurde die technische Machbarkeit mit marktüblichen Geräten an einer Holzverbindung näher betrachtet.

An einem Modell einer historische Vollholzverbindung, in diesem Fall eine Blockbau-Eckverbindung (Gwätt) wird eine Bauteilsanierung erarbeitet.

Nach Einlesen der Daten in ein CAD-Programm wurde dort das Sanierungsbau teil konstruiert und für den Abbund aufbereitet. Das Bauteil wurde auf der CNC-Anlage produziert und am Blockbau-Modell eingebaut.

Vor der digitalen Bauaufnahme ist eine detaillierte **Zustandserfassung** unerlässlich.

Zur genaueren und effizienteren Dokumentation der durchgeföhrten Untersuchungen ist es sinnvoll, die Kartierung der Untersuchungsstellen digital zu gestalten.

Der Markt bietet eine Vielzahl von **Messtechniken zur digitalen Bauaufnahme**. Es kann festgehalten werden, dass sich für jede Messaufgabe eine passende Technik finden lässt.

Für die Holzverbindungen sind die hochwertigen stationären Scanner und die targetunterstützten Handscanner sehr gut geeignet. Bei guter Zugänglichkeit und einer geringen Anzahl Messflächen kann die Verwendung eines Schwenkarms mit Taster Sinn machen, bei einer höheren Flächenzahl und bei Unebenheiten auch der Schwenkarm mit Scanner.

Seitens der Messgeräte steht eine Vielzahl an exportierbaren **Schnittstellen** zur Verfügung. Für den Import einer Punktewolke hat sich in den meisten Fällen eine «.las»-Datei bewährt.

Für eine **Markierung** eines Gebäudes und der damit verbundenen Verlinkung zu Projektdaten wird die Applikation eines QR-Codes empfohlen. Dieser ist als Aufkleber oder Plakette applizierbar.

Neben konstruktiven und statischen Anforderungen ergeben sich bei bestehenden Holzkonstruktionen nicht selten auch denkmalpflegerische Fragstellungen. Diese sind bei der **Sanierungsplanung** zu berücksichtigen.

Bei der Bearbeitung des **Sanierungsmodells der Walliser Blockbauwand** zeigte die Datenbearbeitung vom Scan bis zur Konstruktion des Sanierungsbau teils, dass der Prozess trotz der aktuellen Technologien und Softwares zeitaufwendig ist.

Die Daten aus dem Scan sind gross und benötigen leistungsfähige Software, um verarbeitet zu werden.

Via dem Software-System „**Cadwork**“ war es gut möglich, das konstruierte Bauteil auf die Softwares für die NC-Bearbeitung zu übertragen.

Die Weiterverarbeitung der Scandaten in dem CAD-Programm «**hsbcad**» ist sehr zufriedenstellend. Es können grosse Scan-Datenmengen verarbeiten kann und mithilfe von Objektfangwerkzeugen exakte Hilfsflächen generiert werden. Damit sind Bauteilkonstruktionen sehr komfortabel möglich. In «**hsbcad**» wird ebenfalls die erforderliche BTL-Schnittstelle erzeugt. Für die Bearbeitung auf der Abbundanlage ist die Komplexität der vorliegenden Geometrie an der Grenze zwischen Standardgeometrie und Freiform. Eine Rationalisierung der Geometrie könnte dazu führen, dass Lignocam mit einem standardisierten Prozess arbeiten könnte.

Alternativ bietet sich für Freiformen die Software „**Rhinoceros 3D**“ an.

### Ausblick

Software und Aufnahmegeräte entwickeln sich rasant weiter, wodurch die digitale Bauaufnahme immer genauer, effizienter und kostengünstiger möglich wird.

## Danksagung

Unser Dank gilt dem Wald- und Holzforschungsfond für seine finanzielle Unterstützung, welche zur Bearbeitung des vorliegenden Forschungsprojektes und damit zur Erstellung dieses Dokumentes geführt hat.

Ebenfalls danken wir den folgenden Firmen für Ihre fachliche und materielle Unterstützung bei der Durchführung dieses Forschungsprojektes:

- Weger Holzbau AG, Münster VS
- C+E Forum AG, Pratteln
- Leica Geosystems AG, Glattbrugg
- BBP Geomatik AG, Gümligen
- Lauber Ingenieure AG, Luzern
- Holzing Mäder GmbH, Evilard.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>7</b>
1.1	Projektbeschrieb	7
1.2	Zielsetzung	7
1.3	Vorgehen	7
1.4	Eckdaten des Forschungsprojektes	8
<b>2</b>	<b>Zustandsbeurteilung der Holzkonstruktion</b>	<b>9</b>
2.1	Beurteilung von bestehenden Holzkonstruktionen	9
2.2	Historische Holztragwerke – Bemessungssituation und weiterführende Informationen	9
2.3	Methoden der Zustandserfassung	9
2.4	Integration der Scanteknik in die Zustandserfassung	12
<b>3</b>	<b>Messtechnologie für die allgemeine Bauteilaufnahme</b>	<b>14</b>
3.1	Taktil	14
3.1.1	Oberflächenmessgeräte	14
3.1.2	Tastarm	14
3.2	Optisch	15
3.2.1	Theodolit	15
3.2.2	Optische Tachymeter	15
3.3	Lichtstrahl	15
3.3.1	Elektronische Tachymeter	15
3.3.2	3D Scanner	15
3.3.3	Totalstation	16
3.4	Fotogrammetrie	16
3.4.1	Smartphone	16
3.4.2	Fotokamera	16
3.4.3	Drohne	16
3.5	Schallwellen	16
<b>4</b>	<b>Messmittel für die digitale Bauteilaufnahme</b>	<b>17</b>
4.1	Messarme	17
4.1.1	Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Taster	17
4.1.2	Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Laserscanner	18
4.1.3	FARO Messarm Quantum S mit Taster	20
4.1.4	FARO Messarm Quantum S mit Laserscanner	20
4.1.5	Fazit Messarme	21
4.2	3D-Laserscanner stationär / Totalstation	21
4.2.1	Leica-Geräte Vergleich	21
4.2.2	Leica BLK360	21
4.2.3	Leica RTC360	23
4.2.4	Leica P40	23
4.2.5	FARO Focus S350	24
4.2.6	Fazit stationäre 3D-Laserscanner	26
4.3	3D-Laserscanner frei Hand geführt	26
4.3.1	Leica Hand Scanner DPI-8	26
4.3.2	Artec Spider	28
4.3.3	Creaform Go!Scan 50	29
4.3.4	Creaform HandyScan 700	30
4.3.5	Fazit 3D-Laserscanner frei Hand geführt	30
4.4	Zusammenfassung Messmittel für die digitale Bauaufnahme	31
<b>5</b>	<b>Datentransfer/ Schnittstellen</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Software-Bearbeitung der Scan-Daten</b>	<b>33</b>

6.1	Einlesen und Weiterbearbeiten der Punktewolke	33
6.1.1	Software «Lexocad» und Weiterbearbeitung in «Cadwork 3d»	33
6.1.2	Software Autodesk «hsbcad»	34
6.1.3	Software «McNeel Rhinoceros 3d»	38
6.1.4	Software «Geomagic»	39
6.2	Bearbeitung der Punkte aus Taster (Einzelpunkte)	39
6.2.1	Punktewolke von Taster in «Cadwork 3d»	39
6.3	Einlesen und Weiterbarbeiten des Drahtmodells = Gitternetzes = Mesh	40
6.3.1	Einlesen des Drahtmodells in Software «Cadwork 3D»	40
6.3.2	Einlesen des Drahtmodells in Software Autodesk «hsbcad»	40
6.3.3	Einlesen des Drahtmodells in Software «Rhinoceros 3D»	40
6.4	Bearbeitung des Volumenkörpers aus Hersteller-Software(.sat) in «Cadwork 3D»	40
6.5	Fazit Software-Bearbeitung der Scan-Daten	41
7	Marker	42
8	Sanierungsplanung – Anforderungen an Bauteil-Sanierungen	43
8.1	konstruktive Anforderungen	43
8.2	Statische Anforderungen	43
8.3	Denkmalpflegerische Anforderungen	44
9	Sanierungsmodell: Walliser Blockbauwand	45
9.1	Modell, Ziel und Vorgehen	45
9.2	Wahl des Anschlusses an bestehendes Bauteil(Bohle)	47
9.2.1	Grundidee zum Anschluss	47
9.2.2	Wahl des Anschlusses und Geometrie	47
9.3	Scan mit Leica RTC360 und Konstruktion an der Punktewolke in Lexocad und Cadwork	48
9.3.1	Verwendetes Gerät	48
9.3.2	Vorgehen	48
9.3.3	Ziel	48
9.3.4	Generelle Aussagen zur Methode	48
9.3.5	Beschreibung der Methode	49
9.3.6	Öffnen und Importieren der Punktewolke in «Lexocad »	49
9.3.7	Clipping Box	51
9.3.8	Basis Volumen	52
9.3.9	Schnittflächen	55
9.3.10	«Cadwork 3D » Zeichnungen	58
9.4	Scan mit Handscanner «Creaform Handyscan 700» und Konstruktion am Gitternetzes in «Cadwork 3D »	61
9.4.1	Verwendetes Gerät	61
9.4.2	Vorgehen	61
9.4.3	Ziel	61
9.4.4	Generelle Aussagen zur Methode	61
9.4.5	Öffnung und Import des Gitternetzes:	63
9.4.6	Erstellen von Schnittflächen	64
9.5	Scan mit 3D-Laserscanner «Leica RTC360» und Konstruktion an der Punktewolke in Rhinoceros und «Cadwork 3D »	67
9.5.1	Ziel	67
9.5.2	Generelle Aussagen zur Methode	67
9.5.3	Beschreibung der Methode	67
9.5.4	Öffnen und Import der Punktewolke/ Pointcloud	68
9.5.5	Begrenzungsflächen	69
9.5.6	Erstellung eines Volumenkörpers	71
9.5.7	Weitere Schritte zu CNC-Ansteuerung	72
9.6	Scan mit Creaform Handyscan 700 und Konstruktion am Gitternetz = Mesh in Rhinoceros und «Cadwork 3D »	73
9.7	Versuche unter Verwendung der Software «hsbcad»	73

9.8 CNC-Programmierung	73
9.8.1 Programmierung mit Lignocam	74
9.8.2 Programmierung mit Alphacam	76
9.8.3 Hinweis für die Programmierung mit Alphacam	78
9.9 Herstellung auf der CNC-Anlage	78
9.9.1 Grundsätzliche Bemerkungen zur CNC-Bearbeitung	80
9.10 Einbau der Sanierungsbauteile	80
9.10.1 Material & Methoden	80
9.10.2 Vergleich der Sanierungsbauteile	82
9.10.3 Grundsätzliche Bemerkungen zum Einbau	84
9.11 Zusammenfassung und Fazit zum Beispiel «Blockbauwand»	84
9.11.1 Scanvorgang	84
9.11.2 Konstruktion CAD	84
9.11.3 Zeitfaktor	85
9.11.4 Zusammenfassung	85
9.11.5 Empfehlung und Ausblick	85
10 Zusammenfassung Ergebnisse	86
11 Ausblick	88
12 Literaturverzeichnis	89
12.1 Abbildungsverzeichnis	89
12.2 Tabellenverzeichnis	92
13 Anhang: Data Sheet Leica RTC360	93
14 Anhang: Data Sheet GoScan	95
15 Anhang: Data Sheet Creaform Handy!Scan	96

# 1 Einführung

## 1.1 Projektbeschrieb

Das vorliegende Dokument stellt den Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Holzbausanierung digital“ dar. Dieses Projekt wurde unter der Projekt-Nr. 2017.06 vom Wald- und Holzforschungsfond“ gefördert.

Das Forschungsprojekt zeigt die technischen Möglichkeiten zur Sanierung von Holzbauteilen oder Verbindungen mittels digitaler Aufnahme, CAD-Bearbeitung und maschineller Produktion, d.h. dem Reverse Engineering von Holzverbindungen auf.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, den verfügbaren Stand der Technik bzgl. digitaler Bauaufnahme aufzunehmen und mittels 1:1-Versuchen anzuwenden. Die CAD-gestützte Sanierungsplanung soll Hilfestellung und Kostensparnis im Planungsprozess generieren. Abschliessend werden Möglichkeiten und Grenzen der digitalen Bauaufnahme, Planungs- und Produktionskette von historischen Holzbauteilen aufgezeigt und praxisgerecht dargestellt. Zudem kann die durch die bis hier durchgeführten Arbeiten eine Grundlage für eine mögliche zukünftige Produkt-(weiter-)entwicklung im Rahmen eines KTI-Projektes geschaffen werden.

Die digitale Kette sollte:

- den Zeitaufwand und die Fehleranfälligkeit der Bauteilaufnahme minimieren
- praxisgerechte Geräte zur präzisen Bauteilaufnahme mit ausreichend grosser Genauigkeit aufzeigen
- Erkenntnisse aus der Zustandserfassung direkt digital abbilden
- Hilfestellung bei der Wahl und der Dimensionierung der Sanierungsverbindung geben
- die Herstellung auf einer automatisierten Abbundmaschine ermöglichen
- den gesamten Produktionsprozess der Sanierungsverbindung zu vereinfachen
- den gesamten Bearbeitungsprozess verkürzen
- die Daten aus der gesamten digitalen Kette dem Bauteil zuordnen und damit reproduzierbar machen.

Der Fokus liegt generell auf einer praxisnahen Anwendung im Bereich der Bauteilaufnahme, in der Herstellung wie auch bei der Montage des Sanierungsbauteils mit Markierung des Bauteils.

## 1.3 Vorgehen

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, wurde in einem ersten Schritt der Stand der Technik bezüglich digitaler Bauaufnahme untersucht und dargestellt. In der Folge wurden die Anforderungen bezüglich des Detaillierungsgrades der Aufnahme und die technische Machbarkeit mit marktüblichen Geräten näher betrachtet.

Parallel dazu wurde für eine aufgenommene historische Vollholzverbindung, in diesem Fall eine Blockbau-Eckverbindung (Gwätt) eine Sanierungsvariante erarbeitet.



Abb. 1: Blockbauten, Wallis, Quelle: BFH (2015)



Abb. 2: Querblatt mit doppeltem Haken im Dachstuhl der Kirche Kaisten, CH, Quelle: BFH (2014)

Nach Einlesen der Daten in ein CAD-Programm wird dort ein Sanierungsbauteil konstruiert und für den Abbund aufbereitet. Das Bauteil wird auf der CNC-Anlage produziert und am Blockbau-Modell eingebaut.

## 1.4 Eckdaten des Forschungsprojektes

### Laufzeit

18 Monate, Oktober 2017 bis März 2019

### Projektleitung

- Dipl.-Ing. Mareike Vogel, Berner Fachhochschule - Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA

### Projektverantwortung

- Dipl.-Ing. Andreas Müller, Berner Fachhochschule - Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA

### Projektmitarbeiter

- BSc Holztechnik Ursin Huwiler, Berner Fachhochschule - Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdHB
- BSc Kevin Preile, Berner Fachhochschule - Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA
- BSc Arch. Ina Körlin, Berner Fachhochschule - Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA
- Techniker HF, Dennis Maillard, Berner Fachhochschule - Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH
- BSc Nicolas Seidlitz, Berner Fachhochschule - Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA

### Projektpartner

- Holzbau Weger AG, Münster VS, Ulrich Weger
- C+E Forum AG, Pratteln, Thomas Mihatsch
- Leica Geosystems AG, Glattburg, Simon Baer, Giuseppe Scalingi
- BBP Geomatik AG, Gümligen, Ruedi Moser
- Lauber Ingenieure AG, Luzern, Beat Studhalter
- Holzing Maeder GmbH, Ewilard, Thomas Fuchs

### Budget und Finanzierung

Gesamtbudget: CHF 96'000 Finanzierung durch WHFF CHF 64'000.

## 2 Zustandsbeurteilung der Holzkonstruktion

Vor der digitalen Bauaufnahme ist eine detaillierte Zustandserfassung unerlässlich.

Zur genaueren und effizienteren Dokumentation der durchgef hrten Untersuchungen ist es sinnvoll, die Kartierung der Untersuchungsstellen digital durchzuführen.

## 2.1 Beurteilung von bestehenden Holzkonstruktionen

Jede Zustandsbeurteilung von Holzkonstruktionen bedingt eine umfangreiche Bestands- und Schadenserfassung.

Eine umfassende Sichtung der vorhandenen Bestandsunterlagen unerlässlich:

## Wurden Umbauten oder Verstärkungen vorgenommen?

Gab es Nutzungsänderungen oder wurden Lasten verändert?

In Vorbereitung einer Ortsbegehung ist die Sichtung der Planunterlagen unerlässlich, um vor Ort folgendes besser beurteilen zu können:

## Wie sind die konstruktiven Zusammenhänge?

## Wie funktioniert das Gesamtsystem?

## Gibt es Einzelsysteme?

Vor Ort ist zudem zu prüfen, ob das Tragwerk und die vorhanden Verbindungen mit den Planunterlagen übereinstimmen:

## Gibt es bereits grössere Verformungen?

Ist der Formschluss der Verbindungen nach wie vor gegeben oder liegen konstruktive Mängel oder Substanzverlust vor?

Weiterhin ist die Erfassung der Randbedingungen wie Klima, Nutzung, Lasten etc. notwendig.

Der Zustand aller Bauteile ist handnah - wie in Kapitel 2 beschrieben - zu erfassen.

Erst dann ist eine statische Betrachtung der einzelnen Verbindungen unter Zuhilfenahme des vorliegenden Dokumentes empfohlen.

Hierbei wird auf die Normenreihe SIA 269 verwiesen. Dies sind für Holzkonstruktionen konkret:

SIA 269: 2011 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken [SIA 269, 2011]

SIA 269/1, 2011 Erhalten von Tragwerken – Teil 1: Einwirkungen [SIA 269/1, 2011]

SIA 269/5, 2011 Erhalten von Tragwerken - Teil 5: Holzbau [SIA 269/1, 2011]

## 2.2 Historische Holztragwerke – Bemessungssituation und weiterführende Informationen

Für detaillierte Angaben zur Modellbildung und Bemessung historischer Holztragwerke wird der Leitfaden „Historische Holzverbindungen“ der BFH-AHB empfohlen. Dieser ist unter folgendem Link verfügbar:

<http://www.stiftung-denkmalpflege.ch/files/2016-12-07-HHV-Leitfaden.pdf>

Der komplette Schlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt steht zum Download unter:  
[http://www.stiftung-denkmalpflege.ch/files/2016-11-30-Bericht\\_HHV.pdf](http://www.stiftung-denkmalpflege.ch/files/2016-11-30-Bericht_HHV.pdf)

## 2.3 Methoden der Zustandserfassung

Für die Erfassung des aktuellen Zustandes von Holzkonstruktionen steht eine breite Palette an zerstörungsfreien, zerstörungsarmen und gegebenenfalls zerstörenden Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die Methoden unterteilen sich in akustische und elektromagnetische sowie thermische und optische wie auch mechanische, zum Teil zerstörende, Techniken. Die folgende Tabelle gibt eine

Übersicht zu den typischen Verfahren in der Zustandserfassung von Holzkonstruktionen, Primär erfolgt die Anwendung von zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Prüfverfahren. Die verschiedenen Verfahren haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile und sind demnach für speziellen Anwendungen mehr oder weniger gut geeignet. Es ist daher wichtig, für die durchzuführende Untersuchung das am besten geeignete Verfahren anzuwenden. Oftmals erhöht die Kombination verschiedener Verfahren die Aussagefähigkeit.

Tabelle 1: Übersicht der typischen Methoden der Zustandserfassung von Holzkonstruktionen, auf Grundlage von [SIA 269/5, 2011]

Methode	Ziel, Untersuchung	Hilfsmittel
Visuelle Untersuchung	<p><b>Effektive Ausführung, allgemeiner Zustand, Baustoffeigenschaften</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feststellen der effektiven Ausführung, Verifizieren der Bauwerksakten</li> <li>- Verformungen (Durchbiegungen, Verschiebungen, Auslenkungen, Verdrehungen usw.; bei Verbindungen Lockerung der Verbindungsmittel, klaffende Fugen usw.)</li> <li>- Schädigungen infolge Überbeanspruchungen des Holzes und der Verbindungsmittel (Eindrückungen, Stauchungen, plastische Verformungen, Längs-, Schub-, Abscher- und Querzugrisse usw.)</li> <li>- Risse infolge Spaltwirkung der Verbindungsmittel, Schwindrisse</li> <li>- Auflösung des Klebverbunds (Delaminierung)</li> <li>- Feuchtebeanspruchung (Witterungs- bzw. Feuchtenschutz, Holzfeuchte, Austrocknungsmöglichkeiten usw.)</li> <li>- Querschnitts- und Festigkeitsminderungen des Holzes infolge Pilz- und Insektenbefalls sowie der Verbindungsmittel infolge Korrosion</li> <li>- visuelle Bestimmung der Festigkeitsklasse</li> </ul>	<p>Spiegel, Endoskop (für nicht direkt einsehbare Bereiche), Massstab, Rissmassstab, Blattlehre, Distanzmessgerät, Hammer; Holzfeuchtemessgerät, Fotoausrüstung, Planunterlagen, Checklisten, Protokollvorlagen</p>
Holzfeuchtemessung (elektrische Widerstandsmessung)	<p>Holzfeuchte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokale Messung der Holzfeuchte (siehe SN EN 13183-2)</li> <li>-</li> </ul>	Holzfeuchtemessgerät
Massaufnahme	<p><b>Erfassen der aktuellen Geometrie, Abmessungen und Verformungen des Tragwerks inkl. Details für die Tragwerksanalyse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Massaufnahme am Tragwerk (Geometrie, Querschnittsabmessungen usw.)</li> <li>- Aufnahme der Verbindungen (Detailausbildung, Holzdicken, Anzahl und Abstände der Verbindungsmittel usw.)</li> </ul>	<p>Massstab, Schublehre, Messband, Distanzmessgerät, Nivelliergerät</p>
Vermessung	<b>Erfassen der aktuellen Geometrie, Abmessungen und Verformungen des Tragwerks für die Tragwerksanalyse</b>	<p>Tachymeter, Theodolit, Totalstation, Messkamera (Fotogrammetrie), 3-D-Laserscanner</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Massaufnahme am Tragwerk (Geometrie, Querschnittsabmessungen usw.)</li> </ul>	
Bohrwiderstandsmes- sung	<p><b>Hinweise zur Beurteilung der Baustoffei- genschaften über spezifische Korrelation Rohdichte - Festigkeit/Steifigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lokales Rohdichteprofil, lokale Feststel- lung von Schädigung durch Pilz- und Insek- tenbefall sowie von nicht einsehbaren Querschnittsverminderungen und Rissen</li> </ul>	Bohrwiderstandsmessgerät
Ultraschall-Laufzeitmes- sung	<p><b>Hinweise zur Beurteilung der Baustoffei- genschaften über spezifische Korrelation Schallgeschwindigkeit - Festigkeit/Stei- figkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laufzeit eines Ultraschallsignals durch ein Bauteil</li> </ul>	Ultraschallgerät, Messband, Holz- feuchtemessgerät
Dehnungsmessungen	<p><b>Einschätzung des aktuellen Beanspru- chungszustands</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokale Messung der vorhandenen Deh- nung mit Entlastungsschnitten</li> </ul>	Dehnmessstreifen
Belastungsversuche	<p><b>Einschätzung des Trag- und Verfor- mungsvermögens, Kalibrierung des Tragmodells</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung der Verformungs- und evtl. der Dehnungsdifferenzen infolge zusätzlicher; kontrollierter Belastung</li> </ul>	Belastungsvorrichtung, Messuh- ren, Vermessungsgeräte, Mess- system
Darrverfahren	<p><b>Holzfeuchte, Darrdichte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermittlung der Holzfeuchte (siehe SN EN 13183-1)</li> </ul>	Waage, Darrofen, Exsikkator
Entnahme und Unter- suchung von Bohrker- nen	<p><b>Hinweise zur Beurteilung der Baustoffei- genschaften über spezifische Korrelation Rohdichte - Festigkeit/Steifigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchung der Druckfestigkeit, der Scherfestigkeit, der Rohdichte und der Holzfeuchte</li> </ul>	Kernbohrer, Bohrmaschine
Makroskopische und mikroskopische Unter- suchungen	<p><b>Bestimmung der Holzart</b></p> <p><b>Bestimmung der Pilz- oder Insektenart</b></p> <p><b>Zustand Oberflächenbehandlung</b></p>	Lupe, Auflichtmikroskop, Mikro- skop
Chemische Untersu- chungen	<p><b>Art des Klebstoffes</b></p> <p><b>Holzschutzmittelbelastung</b></p> <p><b>Pilzbelastung</b></p>	

Dendrochronologische Untersuchung	<b>Holzalter</b>	Auflichtmikroskop, Bohrwiderstandsmessgerät
Röntgen	<p><b>Hinweise zur Beurteilung der effektiven Ausführung und des Zustandes der Verbindung/ Verbindungsmitte</b></p> <p><b>Hinweise zur Beurteilung von Querschnittsabminderungen</b></p> <p>- Durchstrahlen mit Röntgenstrahlen</p>	mobiles Röntgengerät

Die Prüfverfahren dienen als Hilfsmittel für die Beurteilung des Bauwerkes, mit welchen der Zustand der Materialien, der Bauteile und des Gesamttragwerkes quantitativ messbar ist. Das zu prüfende Objekt nimmt in der Regel durch die Messungen keine Schäden und der Verwendungszweck wird nicht beeinflusst. Die Auswertung und Interpretation der erhaltenen Messergebnisse erfordern ein ausgeprägtes Fachwissen sowie eine langjährige Routine. Vertiefende Aussagen über die Leistungsfähigkeit eines Bauteils sind oft nur durch zerstörende Sondierungen oder Probenentnahmen mit anschliessenden Laborprüfungen möglich. Es ist deshalb ratsam, vorab die Folgen des erforderlichen Eingriffs dem erzielten Nutzen gegenüberzustellen.

## 2.4 Integration der Scantechnik in die Zustandserfassung

Folgende Angaben sind sowohl konventionell als auch mit einem Scanner dokumentierbar:

- Lage und Geometrie des gesamten Bauteils, ggf. mit Nummerierung
- Lage und Geometrie des Knotens/ der Verbindung, ggf. mit Nummerierung
- Bezeichnung der Untersuchung, z.B. «HF» für Holzfeuchtemessung, «BW» für Bohrwiderstandsuntersuchung, «BK» für Bohrkernentnahme
- farbliche Markierung des zu entfernenden Bauteilabschnittes (bei stark geschädigten Bauteilen)

In der folgenden Abbildung ist zu sehen, dass eine Nummerierung gut auf dem Scan erkennbar ist. Die Zahl entspricht der Schriftgrösse. Mit Integration der Farboption sind natürlich ebenfalls farbliche Markierung darstellbar. Es ist allerdings zu prüfen, inwiefern die farbliche Markierung am Ort Sinn macht, oder ob eine separate Kartierung(auf pdf-Plan o.ä.) praktikabler ist.

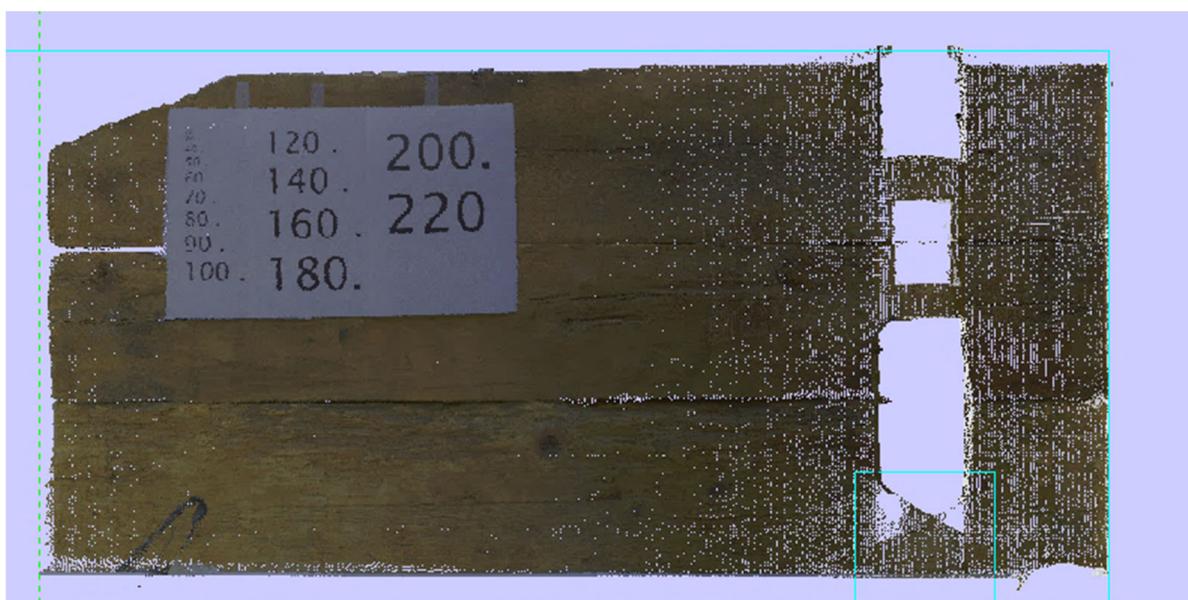


Abb. 3: Punktewolke aus Scan mit Leica RTC 360 mit Nummerierungen



Abb. 4: Punktewolke aus Scan mit Creaform Go Scan 50 mit Farboption

Während der Auswertung, bestenfalls noch vor Ort, ist die Kartierung mit folgenden Angaben zu ergänzen:

- Holzzustand/ Holzschädigung
- Restquerschnitt
- Holzfeuchte

### 3 Messtechnologie für die allgemeine Bauteilaufnahme

Auf dem Markt ist heute eine grosse Anzahl an digitalen Messmitteln verfügbar, welche sich aufgrund der rasanten technischen Entwicklung regelmässig verbessern. Den Überblick über einzelne Hersteller oder Gerätemodelle zu behalten ist deshalb äusserst anspruchsvoll. Eine wesentliche Hilfestellung bietet die Messtechnik, welche auf physikalischen Gesetzen beruht und die Grundlage jedes digitalen Messmittels darstellt.

Wie in den folgenden Unterkapiteln aufgezeigt wird, weist jede Messtechnologie ihre spezifischen Vor- und Nachteile auf. Einige digitale Messmittel setzen deshalb auf die Kombination mehrerer Messtechnologien und kombinieren die Daten zu einem genaueren, detaillierteren und/oder umfassenderen Messergebnis.

Ausserdem hat jede Messtechnologie einen begrenzten Messbereich, wodurch eine Kombination verschiedener Messungen notwendig sein kann. Diese Daten werden entweder im Messmittel selbst oder in einer nachgelagerten Software referenziert und zu einem Messergebnis zusammengefügt werden.

Bereits bei der Evaluation der Messtechnologie sollte ein spezielles Augenmerk auf mögliche Ausgabeformate bzw. die Weiterverarbeitung der Daten gelegt werden. Eine hochauflöste Punktwolke kann Rechner- und Softwarekapazitäten schnell an die Grenzen bringen. Zudem kann eine Punktwolke in einem klassischen CAD System nur sehr eingeschränkt bearbeitet werden. Sie muss zuerst in einer Punktwolken-Verarbeitungssoftware (z.B. Geomagic) einem aufwändigen Reverse Engineering unterzogen werden. Reverse-Engineering aus Punktwolken ist ein sehr ressourcenintensiver Prozess, welcher nicht vollständig automatisierbar ist. Abhängig von der Messtechnologie sind jedoch auch alternative Ansätze verfügbar, bei taktilen Messmitteln lassen sich Flächen teilweise bereits während dem Messprozess definieren, wodurch die Daten direkt in einem klassischen CAD System weiterverarbeitet werden können.

Wesentliche Unterschiede bestehen in der Datenbereitstellung bzw. Schnittstelle für die Weiterverarbeitung in einem Scan to CAD «Punktwolken-Verarbeitungssoftware» «CAD Reverse» «Reverse Engineering Software» «Mesher».

Das eingesetzte Referenzierungs-Verfahren hat einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des Messergebnisses.

Hier erfolgt eine Übersicht über die Funktionsweise der grundsätzlichen Messtechniken/Messsysteme. In der Praxis sind teilweise auch Kombinationen (z.B. moderne Tachymeter bzw. sogenannte Multistation) zur besseren Visualisierung, Datengenauigkeit, Erreichbarkeit,... möglich.

#### 3.1 Taktile

Tastarme messen mit taktiler Messtechnik. Das Bauteil wird mit einer Messspitze bzw. einem Taster abgefahren, dabei werden XYZ Koordinaten von Punkten aufgenommen. Abhängig von der Gerätehardware und der Messkonfiguration ist es mit taktiler Messtechnik möglich, sehr exakte Vermessungen durchzuführen. Eingeschränkt wird der Messbereich durch die Erreichbarkeit abhängig von der Messhardware, heutige Geräte verfügen über digitale Schnittstellen für den Datenaustausch.

##### 3.1.1 Oberflächenmessgeräte

Sehr hochauflösendes, automatisches Vermessen einer Fläche ist mit Oberflächenmessgeräte möglich. Aufgenommen werden die Z Koordinaten der in X und Y vordefinierten Rasterpunkte. Solche Messgeräte sind mit definierten Verfahrachsen in X, Y und Z ausgestattet, wodurch entweder das Werkstück oder die Messeinheit kontrolliert zugestellt werden kann.

##### 3.1.2 Tastarm

Manuelles Abtasten mit grösseren Freiheitsgraden wird über mehrachsige (i.d.R. 6-achsige) Scannerarme ermöglicht. Abhängig von der Software- und Hardwarekonfiguration werden Punkte aufgenommen oder eine Anzahl Punkte (i.d.R. 3 Punkte) direkt in eine Fläche überführt, wodurch der

Messaufwand, das Datenvolumen, aber auch der Detaillierungsgrad stark reduziert werden. Die Möglichkeit, über 3 Punkte direkt am Aufnahmegerät Flächen zu generieren, kann bei geeigneten Geometrien bzw. der geeigneten Art der Datenweiterverwertung zu einer wesentlichen Reduktion des Aufwandes bei der Datenbereinigung führen, da die Flächenrückführung aus einer Punktewolke heute noch immer ein sehr ressourcenintensiver Vorgang ist.

## 3.2 Optisch

Die visuelle optische Messtechnik basiert auf optischen Linsen, welche über entsprechende Skalierungen ein visuelles Auslesen von Distanzen und/oder Winkeln ermöglichen. Herkömmliche optische Messsysteme arbeiten analog und lassen keinen Datenfluss in ein digitales Speichermedium zu, trotzdem ist die optische Messtechnik auch heute noch oft als ergänzende Funktion in modernen Messgeräten verbaut. Die zu vermessenden Punkte müssen im Sichtkontakt zueinander stehen.

### 3.2.1 Theodolit

Der Theodolit ist ein optisches Messgerät, welches die Vermessung der Distanz in Horizontalrichtung und den Winkel in Vertikalrichtung zulässt. Dafür ist das Gerät vor dem Messvorgang in eine definierte (i.d.R. lotrechte) Position zu bringen, bevor der Messpunkt anvisiert und Messresultate abgelesen werden können. Nicht direkt messbare Distanzen und Winkel können über trigonometrische Berechnungen ermittelt werden.

### 3.2.2 Optische Tachymeter

Das herkömmliche Tachymeter (Geodäsie) ist ein optisches Messgerät, welches mittels einer skalierten Anzeige die Vermessung der **Distanz** sowohl in Horizontalrichtung als auch die Schrägstrecke zum Messpunkt zulässt. Zusätzlich kann wie beim Theodolit der Winkel in Vertikalrichtung vermessen werden. Das Tachymeter lässt somit eine rasche und genaue Vermessung von Einzelpunkten zu.

## 3.3 Lichtstrahl

Die Lichtstrahlmessung wird aufgrund der zuverlässigen digitalen Datenausgabe heute oft eingesetzt. Gemessen wird über einen Lichtstrahl (i.d.R. im bzw. im nahen Infrarot des Lichtspektrums) mit oder ohne Reflektor, wobei der Reflektor in Abhängigkeit von der Oberflächen- und Materialbeschaffenheit des Messpunktes einen wesentlichen Einfluss auf die Messgenauigkeit haben kann. Mit Reflektor ist eine geräteabhängige Distanz von bis zu 10 km messbar.

### 3.3.1 Elektronische Tachymeter

Der elektronische Tachymeter arbeitet im Gegensatz zum Optischen mit elektrooptischer Distanzmessung über Licht- bzw. Signalwellen und kann mit geeignetem Reflektor und retroreflektierendem Trippel-Prisma sehr genaue Messresultate erzielen. Die Genauigkeit kann bei hochpräzisen Tachymetern weiter erhöht werden, indem neben der Laufzeit des Lichtstrahls über einen versetzten Sensor auch die Phasenverschiebung des reflektierten Lichtstrahls gemessen wird.

### 3.3.2 3D Scanner

Der dreidimensionale Scanner rastert über einen Lichtstrahl Messpunkte in einem vorgegebenen Punktnetz ab und ermittelt über den reflektierenden Lichtstrahl ähnlich dem elektronischen Tachymeter die **Entfernung**. Diese Technik wird vielseitig eingesetzt und ist bezüglich Frequenzbereich, Mobilität, Messbereich, Messgenauigkeit und gerätespezifischer Software auf verschiedene Einsatzgebiete optimiert. Mobile Versionen greifen teilweise auf unterstützende Systeme (Beschleunigungssensoren, GPS, Referenzpunkte etc...) zurück und/oder setzen Punktewolken aufgenommen aus verschiedenen Positionen über Algorithmen zusammen. Moderne 3D Scanner können viele Oberflächen ohne Reflektoren messen, allerdings lassen sich Oberflächen mit hohem Reflektionsgrad einfacher bzw. genauer messen als Oberflächen mit hohem Absorptions- und/oder Transmissionsanteil. Externe Lichtquellen sowie transparente Werkstoffe wie z.B. Glas können den Scavorgang manipulieren. Modernste 3D Scanner verfügen auch über Fotoaufnahmefunktionen und erlauben damit eine automatische

Überlagerung von Punktwolken mit Fotoinformationen, wodurch auch Oberflächenfarben bzw. Oberflächenmaterialien im CAD System sichtbar gemacht werden können.

### 3.3.3 Totalstation

Als Totalstation werden modernste Tachymeter bezeichnet, welche motorisiert sind und eine Zielverfolgung besitzen. Sie können somit von einer Person bedient werden. Zudem verfügen sie über weitere Funktionen, unter anderem das dreidimensionale Scannen von Objekten ohne Reflektor (Laserscanner).

## 3.4 Fotogrammetrie

Die Fotogrammetrie basiert auf der Verrechnung von Bauteilstotos aufgenommen an verschiedenen Standorten oder aufgenommen an einem Standort mit wechselnder Perspektive des Bauteils (z.B. Bauteil auf einer Drehachse). Für die massstabgetreue Darstellung bzw. die Referenzierung für Massentnahmen ist eine Referenzmasse oder ein Referenzkörper mit bekannten Dimensionen festzulegen. Die Genauigkeit ist wesentlich abhängig von Verzug der Linse des Fotoaufnahmegerätes sowie dessen allfällige Korrektur.

### 3.4.1 Smartphone

Erste Apps erlauben dreidimensionale Aufnahmen basierend auf Fotoaufnahmen eines Smartphones. Dabei lädt der Bediener Fotos, welche sein Objekt aus verschiedenen Perspektiven abbilden auf die Cloud eines Anbieters, welcher die Daten mithilfe von Algorithmen in eine Punktwolke überführen kann. Entsprechende Systeme befinden sich noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium und sind im technischen Bereich heute aufgrund der grossen Genauigkeitstoleranzen noch nicht einsetzbar.

### 3.4.2 Fotokamera

Professionelle Spiegelreflexkameras mit entzerrten Objektiven erhöhen die Genauigkeit wesentlich.

### 3.4.3 Drohne

Mittels auf einer Drohne montierten Kamera können Bauteilaufnahme aus der Luft durchgeführt werden oder von Orten oder Perspektiven, welche für Menschen schwer erreichbar sind.

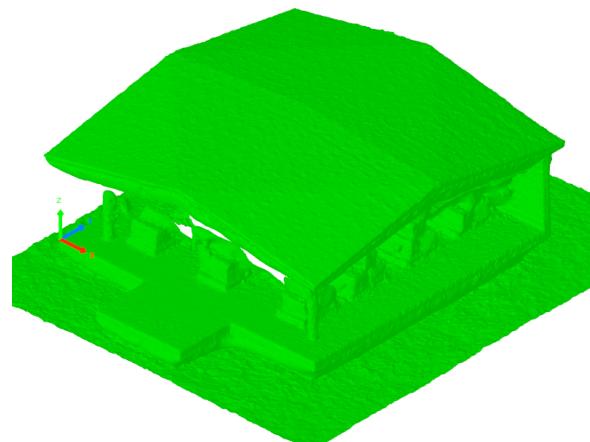


Abb. 5: Foto aufgenommen via Drohne und generiertes Gitternetz via Fotogrammetrie-Software (hier «Agisoft»)

## 3.5 Schallwellen

Eine weitere Möglichkeit der Distanzmessung besteht in der Messung von Ultraschallwellen. Da sich Schall jedoch trichterförmig ausbreitet, ist die engmaschige Auflösung einzelner Messpunkte nicht möglich. Auf dem Markt sind Sensoren auf Basis von Ultraschallwellen erhältlich, es sind jedoch keine Anwendungen im Bereich Distanzmessung bzw. der dreidimensionalen Aufnahme von Bauteilen bekannt.

## 4 Messmittel für die digitale Bauteilaufnahme

In diesem Kapitel wird der Stand der Messtechnik anhand von Versuchen mit ausgewählten, auf dem Markt etablierten Messgeräten aufgezeigt. Durch gezielte Versuche im Bereich Holzbauverbindungen lassen sich die Geräte einordnen, wobei der Fokus einerseits auf dem Detaillierungsgrad bzw. der Massgenauigkeit der Aufnahme, andererseits aber auch auf der nachfolgenden Verarbeitungskette der aufgenommenen Daten basiert.

### 4.1 Messarme

#### 4.1.1 Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Taster

Der Arm wird auf einem Stativ oder direkt am Objekt befestigt. Die handnahe Verwendung des Tasters ermöglicht eine schnelle und präzise Erfassung von ebenen Flächen. Gekrümmte Flächen bzw. Verdrehungen können nicht erfasst werden. Es werden Einzelpunkte mittels manueller Auslösung erfasst und diese als xyz-Koordinaten z.B. in einem .txt-File gespeichert.



Abbildung 1: Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Taster

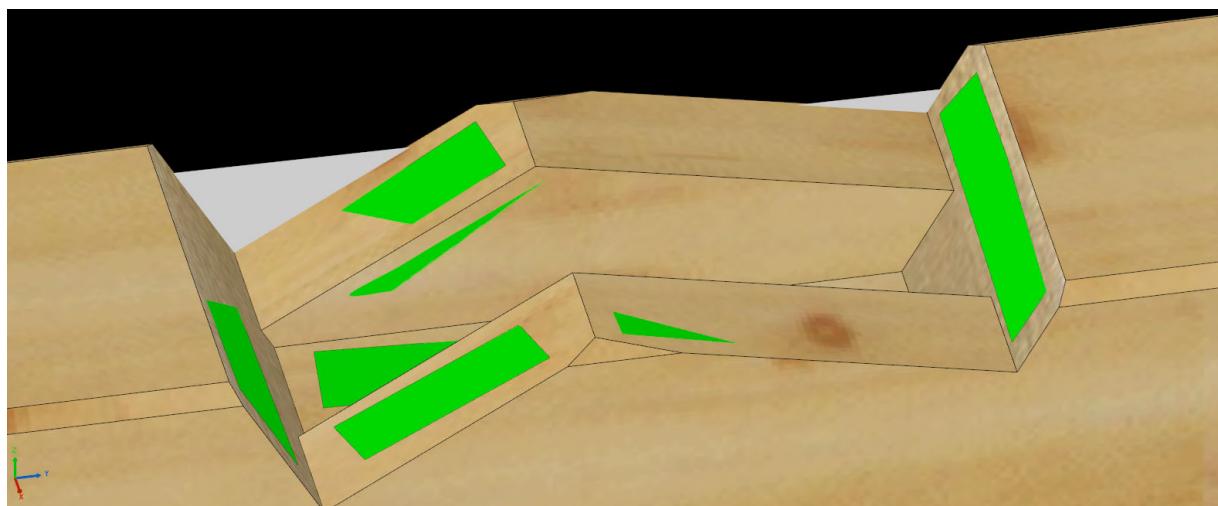


Abbildung 2: generierte Flächen mit dem Taster des Hexagon Rohmer Absolute Arm(aus .stp-File via Rhino)

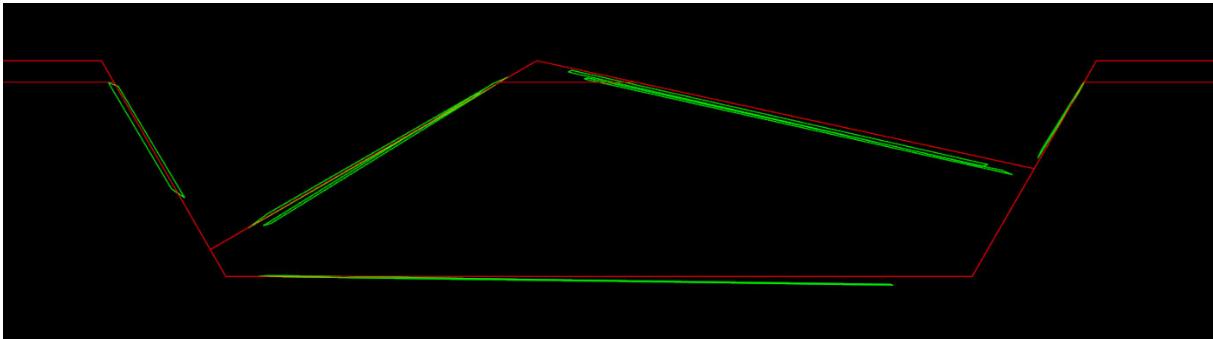


Abbildung 3: Passgenauigkeit der generierten Flächen mit dem Modell(aus .stp-File)

**Massabweichungen:**

$L_0 = 180 \text{ mm}$  (Innenmass Zapfenloch unterhalb Fase)

$L_1 = 184.75 \text{ mm} = 2.6 \%$

Breite: nicht messbar

Höhe: nicht messbar

**Fazit**

Mit dem Tastarm ist eine präzise Aufnahme von Objekten mit vorzugsweise ebenen Flächen möglich. Die Erfassung der Koordinaten der Einzelpunkte ermöglicht das Arbeiten mit einer sehr kleinen Datenmenge.

Der Installationsaufwand vor Ort ist zu beachten, ebenfalls die eingeschränkte Erreichbarkeit aller Seiten eines Objektes von einem Installationspunkt aus.

#### 4.1.2 Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Laserscanner

Der Laserscanner wird händisch geführt. Korrekt erfasste Flächen und Texturen werden präzise und zeitgleich dargestellt. Je nach Einstellung werden Einzelpunkte oder Triangulationen dargestellt.

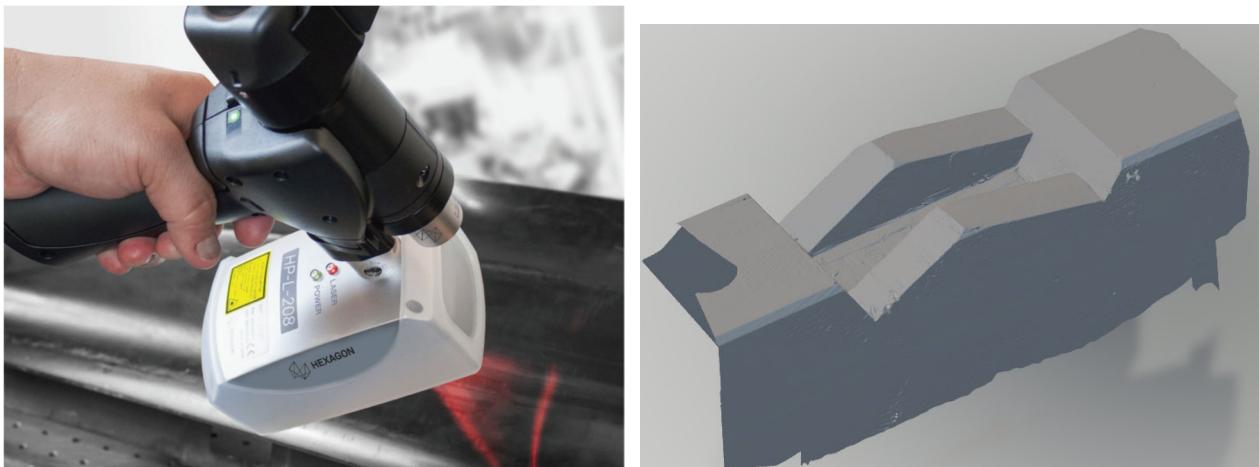


Abbildung 4: Rohmer Absolut Arm mit Laserscanner und generierte Oberfläche des Prüfstückes



Abbildung 5: Generierte Oberfläche mit dem Laserscanner des Rohmer Absolut Arm(grün) mit darüber CAD-Zeichnung des Werkstückes

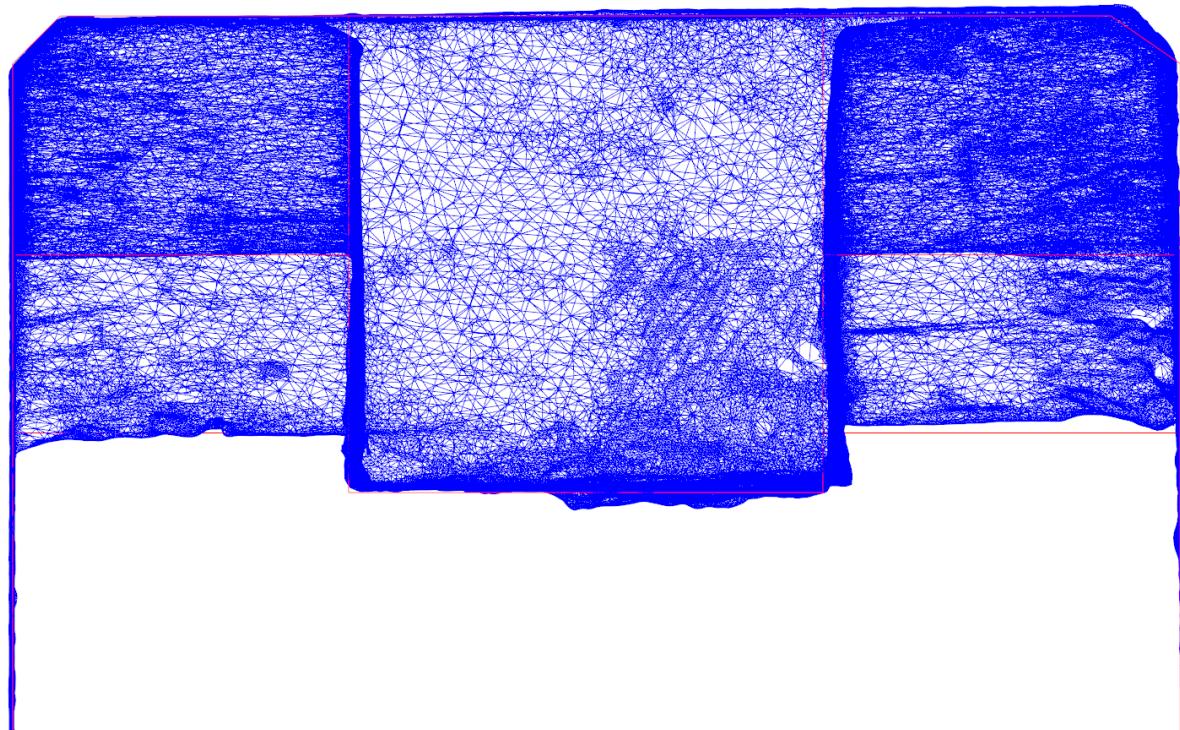


Abbildung 6: x- Schnitt des Drahtmodells des Laserscanner des Rohmer Absolut Arm mit x- Schnitt des Strebenmodells

**Abweichungen:**

Massabweichungen:

$L_0 = 350 \text{ mm}$

$L_1 = \text{nicht messbar}$

$B_0 = 98 \text{ mm}$   
 $B_1 = 98.1 - 98.3 \text{ mm} = 0.3 \%$   
 $H_0 = 157 \text{ mm}$   
 $H_1 = \text{nicht messbar}$

Ebenheit Flächen sehr gut  
 Ecken eckig/ sehr gut

#### 4.1.3 FARO Messarm Quantum S mit Taster

Der FARO Messarm Quantum S arbeitet entweder mit Taster für die Einzelpunktaufnahme als auch mit Laserscanner. Für den Taster sind diverse Aufsätze für den Tastvorgang erhältlich, die vom System erkannt und automatisch verrechnet werden.



Abbildung 7: FARO Messarm Quantum S mit Taster und Scanner

#### 4.1.4 FARO Messarm Quantum S mit Laserscanner

Der optionale Scanner-Aufsatz ermöglicht mit demselben Gerät eine sehr präzise Erfassung des Werkstückes.

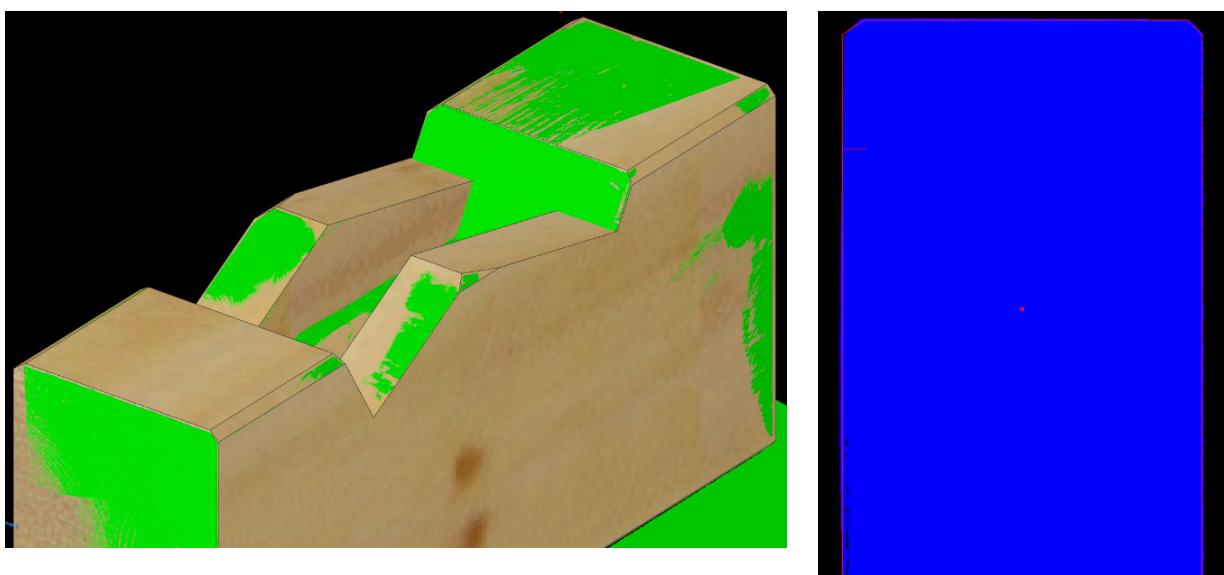


Abbildung 8: links: Oberfläche mittels FARO Messarm Quantum S(grün) mit CAD-Zeichnung des Werkstückes (als .stl), rechts: x-Schnitt des Drahtmodells des FARO Messarm Quantum S mit x-Schnitt der CAD-Zeichnung

### Massabweichungen:

L0 = 350 mm  
 L1 = 349.1 – 349.5 mm = 0.2 %  
 B0 = 98 mm  
 B1 = 97.5 – 99 mm = -0.5 – 1 %  
 H0 = 157 mm  
 H1 = 157.3 – 158.3 mm = < 1%

Ebenheit Flächen gut  
 Ecken eckig

#### 4.1.5 Fazit Messarme

Mit dem Tastarm sind Einzelpunkte mit einer sehr hohen Genauigkeit erfassbar. Diese können je nach Gerät während dem Messvorgang bereits als Ebene hinterlegt werden.

Mit dem Scanaufsatzt ist eine präzise Aufnahme von den erreichbaren Objekten möglich. Der Scan zieht eine entsprechende Datenmenge nach sich. Durch die Erfassung der Koordinaten durch den Schwenkarm sind die Aufnahmen sehr präzis. Der Installationsaufwand vor Ort ist zu beachten. Durch den Schwenkarm ist ggf. ein Umsetzen des Gerätes nötig, die Geräte kalibrieren ihren neuen Standort in der Regel selbst.

Die Genauigkeiten von Hexagon Rohmer Absolute Arm und FARO Messarm Quantum S sind vergleichbar und für die vorliegende Aufgabe sehr gut.

## 4.2 3D-Laserscanner stationär / Totalstation

### 4.2.1 Leica-Geräte Vergleich

Das Sortiment von Leica Geosystems umfasst - je nach Messaufgabe - unterschiedliche Laserscanner; vom professionellen Mess-System für Geomatiker bis zum einfachen Plug-and-Play-Laserscanner.



Abbildung 9: Leica Scanstation P40, Laserscanner RTC360 und Laserscanner BLK360 (von links nach rechts)

### 4.2.2 Leica BLK360

Der BLK360 ist ein Gerät, welches auch durch ungeschulte Anwender problemlos eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse des kleinen BLK360 zeigen, dass seine Genauigkeit keine Messungen an kleinen Objekten empfiehlt.

Im Beispiel des untersuchten Holzteils sind die Details nicht mehr sichtbar, so dass es mit einer CNC-Maschine nicht reproduzierbar ist.

Wie bereits erwähnt, ermöglicht seine Genauigkeit den Einsatz bei grossen Objekten (siehe die Treppe), für die eine Genauigkeit von 4~5 mm ausreichend ist. [Aussage Leica]

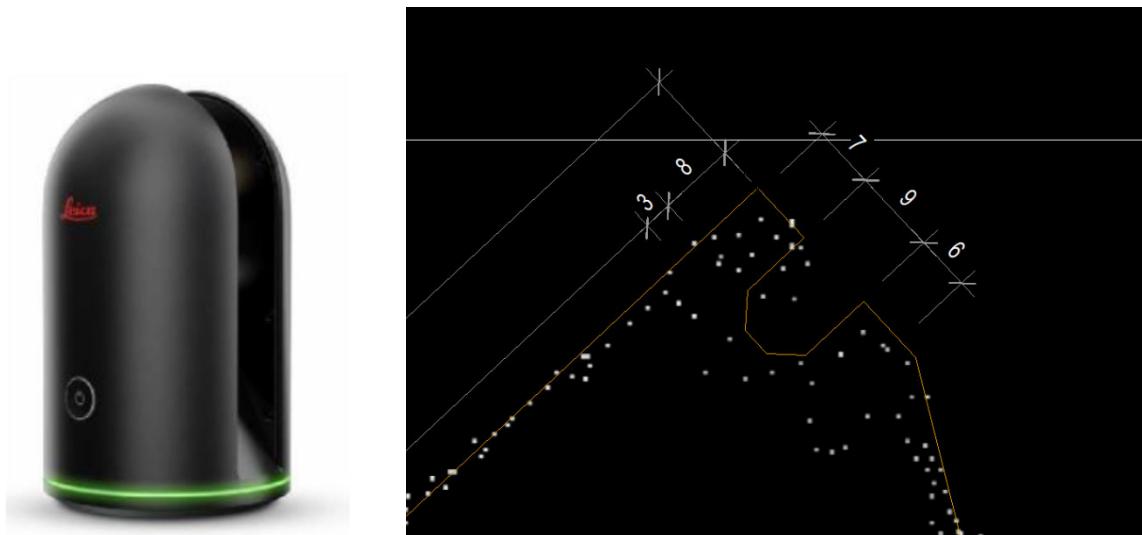


Abbildung 10: Laser Scanner BLK 360 und Ausschnitt der CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des BLK360

### Software zur Datenverarbeitung

Die Punktwellen-Zusammensetzung geschieht entweder via der Autodesk-Software «ReCap Pro» oder Leicas «Cyclone Register 360».

Neu sind in «Cyclone Register 360» auch die IR Daten (Wärmebildkamera) mit der Temperatur abfragbar. Via TrueView können Daten auch für alle sichtbar gemacht werden ohne Spezialprogramm (Erstellen von TrueView Daten kostenpflichtig)

### Generierbare Exportschnittstellen

Via Autodesk «ReCap Pro» können Autodesk-Formate .rcp und .rcs exportiert werden.

Via Leica Cyclone Register 360 können .pts, .ptg, .ptx, .e57, TrueView (Daten in Browser anschaubar inklusive IR Daten), JetStream (Zentrale Datenbank der Punktfolke. Mehrere Personen mit unterschiedlichen Programmen können auf die Daten zugreifen)

### Hinterlege Farbinformationen

Die RGB-Daten sind bei allen Formaten hinterlegt.

Mit TrueView sind auch die IR (Wärmebildkamera) ohne Spezialprogramm mit einem Browser sichtbar.

TrueView: IR, RGB, HDR (with live dynamic brightness controls), Intensity Hue, and Intensity Grayscale layers when available in the dataset.

JetStream: IR, RGB, HDR (with live dynamic brightness controls for both imagery and point clouds), Intensity Hue, and Intensity Grayscale layers when available in the dataset.

In dem weiterverarbeitenden Programm CloudWorx sind via TruSpace ebenfalls die Layer vorhanden: IR, RGB, HDR (with live dynamic brightness controls for both imagery and point clouds), Intensity Hue, and Intensity Grayscale layers when available in the dataset.

### Abweichungen

Massabweichungen nicht erfasst, da Abweichungen zu gross

Ebenheit Flächen mässig

Ecken nicht korrekt erfasst/ rund

### Neues Modell

Vom BLK 360 ist mittlerweile ein neues Modell auf dem Markt. Dieses soll nach Herstellerangaben eine signifikant höhere Messgenauigkeit ermöglichen, konnte aber in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden.

#### 4.2.3 Leica RTC360

RTC360 ist kleiner und leichter als P40 mit 6kg (mit Batterien). 2 Mio. Punkte pro Sekunde. HDR Bilder innert 1 Minute. Scan 25 Sec / 50 Sec oder 1:40 Min je nach Scandichte. Preislich tiefer als P40. Punkt- rauschen noch besser als P40. [Angaben Leica]

Die Anwendung des RTC360 wird im Kapitel 9.3 eingehend erläutert.



Abbildung 11: Laser Scanner RTC360

#### Software zur Datenverarbeitung

Die Punkt wolken-Zusammensetzung geschieht via Leica Cyclone Register 360.

#### Generierbare Exportschnittstellen

Von Leica Cyclone Register 360 können .pts, .ptg, .ptx, .e57, .las, TrueView (Daten in Browser an- schaubar), JetStream (Zentrale Datenbank der Punkt wolke. Mehrere Personen mit unterschiedlichen Programmen können auf die Daten zugreifen) exportiert werden.

#### Hinterlegte Farbinformationen

Die RGB Daten sind bei allen Formaten hinterlegt, wenn die Bilder erfasst wurden.

Abweichungen: -

#### 4.2.4 Leica P40

Die P40-Daten sind im Vergleich zum BLK 360 erwartungsgemäss um einiges besser. Die Genauigkeit beträgt ca. 1 mm. Aber auch mit diesem Instrument ist die Reproduktion kleiner Objekte für eine CNC-Maschine nicht präzise genug[Aussage Leica]. Für zimmermannsmässige Verbindungen ist die Genauigkeit ausreichend.

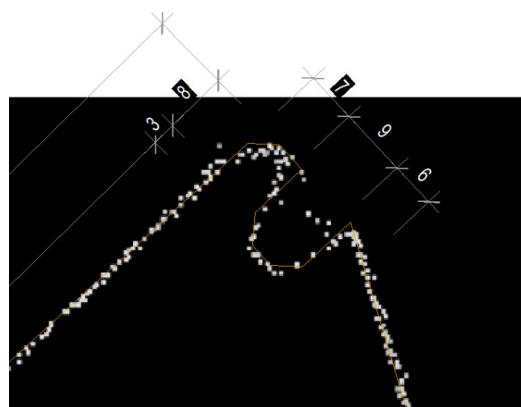


Abbildung 12: Laser Scanner P40 und CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des P40

### **Massabweichungen: -**

Ebenheit Flächen gut  
Ecken eckig

### **Software für Datenverarbeitung**

Die Punktwolken-Zusammensetzung erfolgt mittels Leica Cyclone Register 360.

### **Generierbare Exportschnittstellen:**

Via Leica Cyclone Register 360 können .pts, .ptg, .ptx, .e57, TrueView (Daten in Browser anschau-  
bar), JetStream (Zentrale Datenbank der Punktwolke. Mehrere Personen mit unterschiedlichen Pro-  
grammen können auf die Daten zugreifen) generiert werden.

### **Hinterlegte Farbinformationen**

Die RGB Daten sind bei allen Formaten hinterlegt, sofern mit der P40 auch die Bilder erfasst wurden.

#### **4.2.5 FARO Focus S350**

Der Faro Focus wird in verschiedenen Ausführungen betreffend Genauigkeit und Messbereich (Dis-  
tanz) angeboten. Die im folgenden dargestellten Messungen wurden mit dem Faro Focus S350 durch-  
geführt.



Abbildung 13: Laser Scanner Faro Focus S350

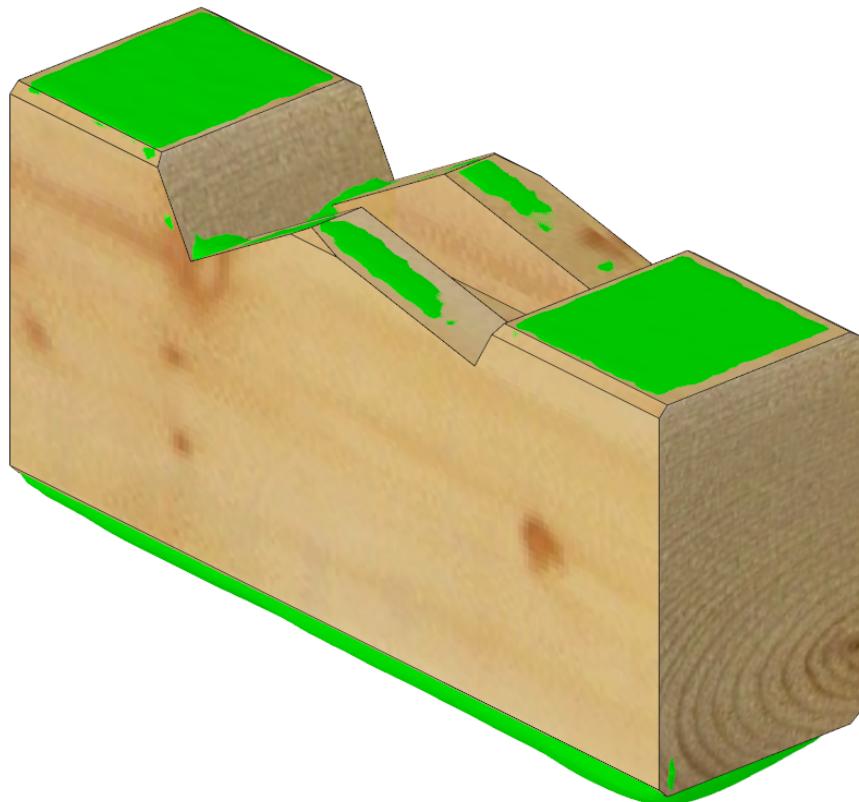


Abbildung 14: Oberfläche mittels FARO Focus S350(grün) mit darüber CAD-Zeichnung des Werkstückes(aus .obj)

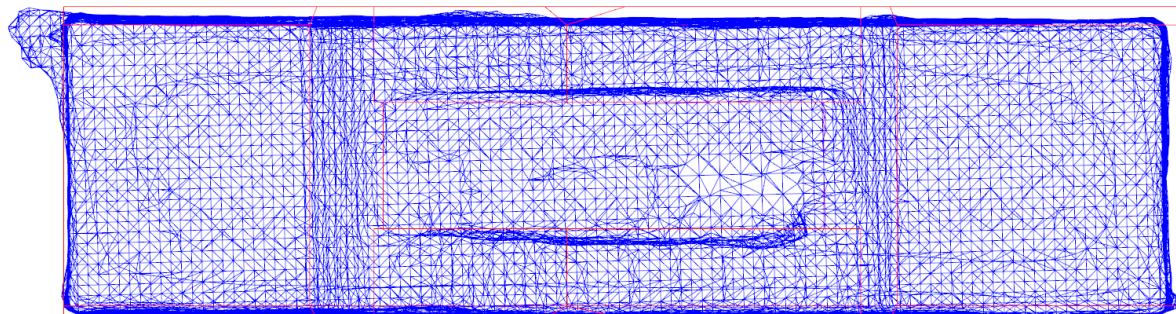


Abbildung 15: : Z- Schnitt des Drahtmodells des FARO Focus S350 mit Z- Schnitt der CAD-Zeichnung(aus .obj)

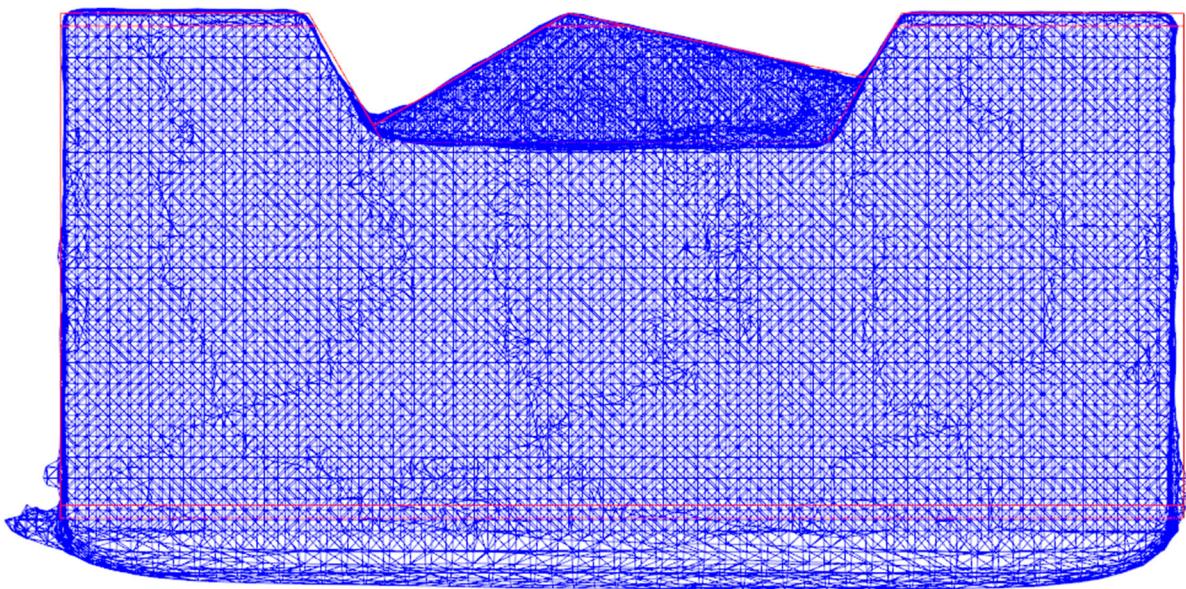


Abbildung 16: y- Schnitt des Drahtmodells des FARO Focus S350 mit y- Schnitt der CAD-Zeichnung(aus .obj)

#### Massabweichungen:

$L_0 = 350 \text{ mm}$

$L_1 = 348.3 - 354.7 \text{ mm} = 3 \%$

$B_0 = 98 \text{ mm}$

$B_1 = 91.9 - 94.8 \text{ mm} = \text{max. } 6 \%$

$H_0 = 157 \text{ mm}$

$H_1 = 157.7 - 158.6 = 1 \%$

Ebenheit Flächen sehr gut

Ecken eckig/ sehr gut

Bei den durchgeföhrten Messungen zeigen sich grössere Abweichungen in Massstab und Form/ Proportionen. Ein Abgleich mit eingemessenen Fixpunkten oder eine ergänzende manuelle Massaufnahme sind notwendig.

#### 4.2.6 Fazit stationäre 3D-Laserscanner

Die Anwendbarkeit der stationären Scanner bietet einen flexiblen Einsatz. Erforderliche Umpositionierungen des Messgerätes werden mittels Gerätesoftware berücksichtigt. Der Installationsaufwand ist gering. Durch die Erfassung aller «sichtbaren» Objekte ist die entstehende Datenmenge entsprechend gross, diese kann aber bereits vor dem Export reduziert werden, indem nicht relevante Objekte entfernt werden.

Die Genauigkeiten von Leica RTC360 und P40 sowie von Faro Focus sind für die vorliegenden Aufgaben in der Regel ausreichend. Diese ist jedoch stark vom Messablauf und der Kalibrierung abhängig. Die Performance des BLK 360 ist eher für Messaufgaben zu Übersichtszwecken einzusetzen.

### 4.3 3D-Laserscanner frei Hand geföhr

#### 4.3.1 Leica Hand Scanner DPI-8

Auch in den Daten des DPI-8 Handscanners sind die Details nicht mehr sichtbar.

«Wir empfehlen dieses Gerät als Ergänzung zu Laserscannern in Situationen, in denen die Zentimetergenauigkeit ausreichend ist.» [Mail G. Scalingi, Fa. Leica vom 14.11.2017]

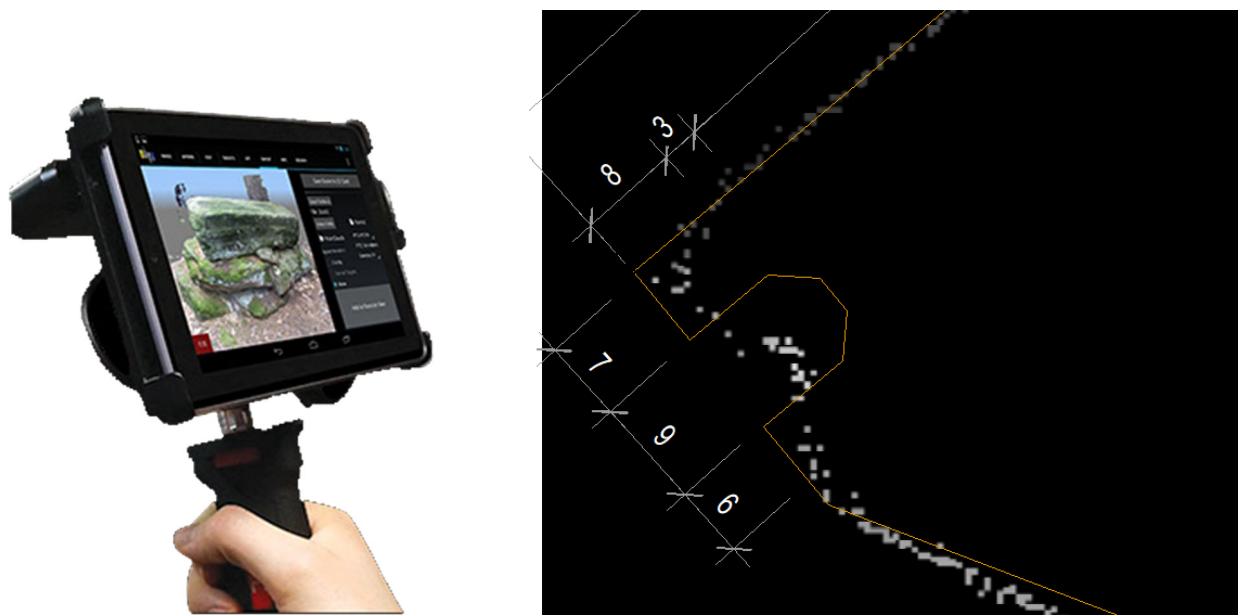


Abbildung 17: DPI-8; CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des Hand Scanner DPI-8

#### Software für Datenverarbeitung

Die Zusammensetzung der Einzelaufnahmen erfolgt laufend direkt im Erfassungs-Tablet.

#### Exportschnittstellen

Es können die Formate DP Format, PTS, PTX, PLY und PTG generiert werden.

#### Hinterlegte Farbinformationen

Die RGB Daten sind bei allen Formaten hinterlegt

#### Massabweichungen:

-  
Ebenheit Flächen ausreichend  
Kanten rund

#### 4.3.2 Artec Spider



Abbildung 18: Modell Artec Spider

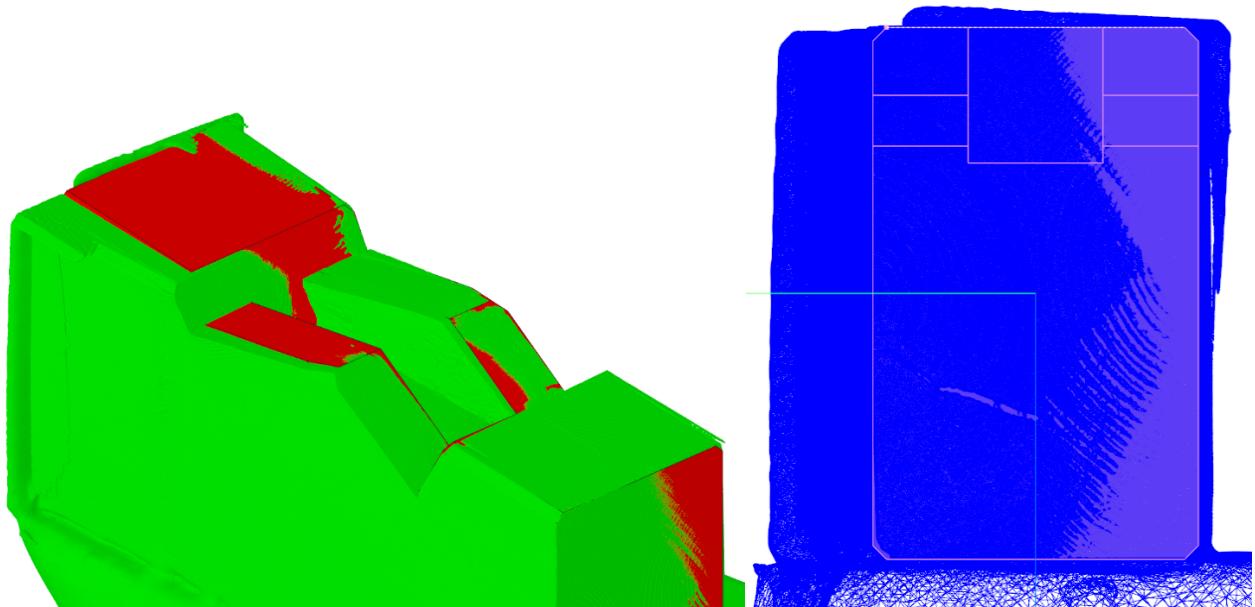


Abbildung 19: CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegtem Netz des Scan Artec Spider, x-Schnitt

#### Abweichungen:

Matching nicht exakt

Massabweichungen nicht relevant da Abweichungen zu gross

Ebenheit Flächen gut

Ecken gut

### 4.3.3 Creaform Go!Scan 50

Der Go!Scan arbeitet zur besseren Erfassung des Werkstückes mit reflektierenden Zielpunkten, sogenannten Targets. Versuche ohne und mit diesen Punkten zeigten deutliche Unterschiede.

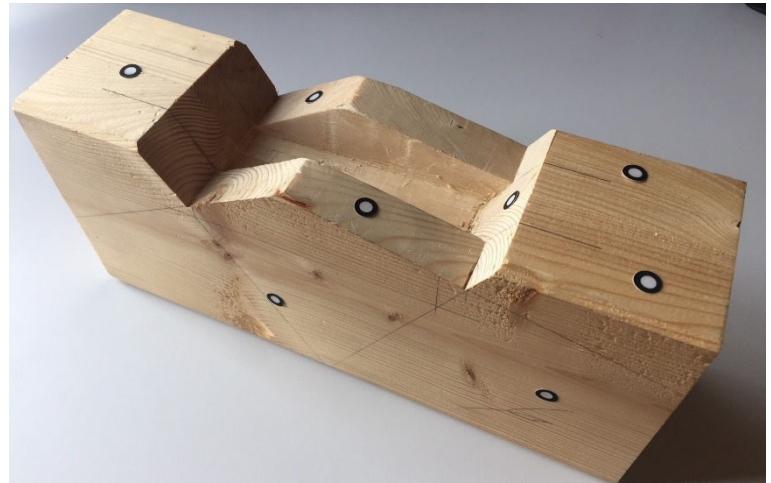


Abbildung 20: Modell Go!Scan 50 und Prüfstück

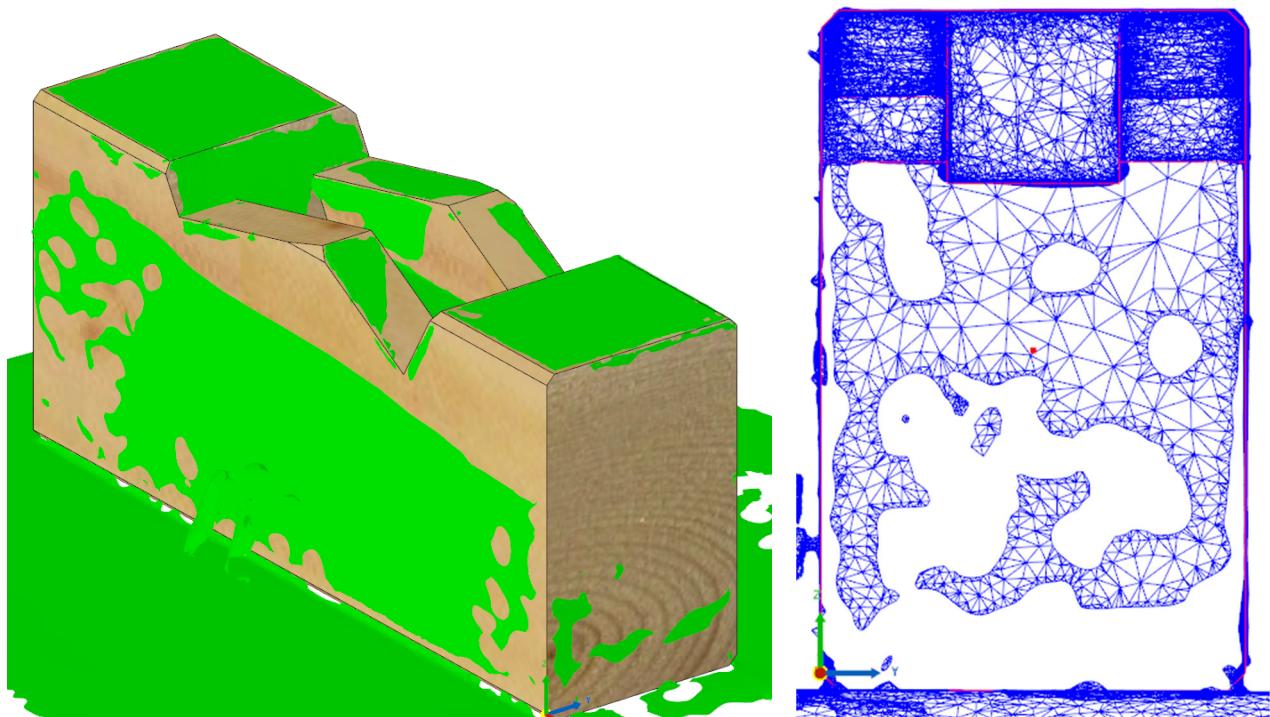


Abbildung 21: CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegtem Netz des Creaform Go!Scan 50, x-Schnitt

#### Massabweichungen:

$L_0 = 350 \text{ mm}$

$L_1 = \text{nicht messbar}$

$B_0 = 98 \text{ mm}$

$B_1 = 99.4 = 1.4 \%$

$H_0 = 157 \text{ mm}$

$$H1 = 157.5 = 0.3 \%$$

Ebenheit Flächen sehr gut  
Ecken sehr gut

#### Spezifikationen(Stand Dezember 2018)

Siehe Anhang 14

#### 4.3.4 Creaform HandyScan 700

Der Handy!Scan 700 arbeitet ebenfalls mit Targets.

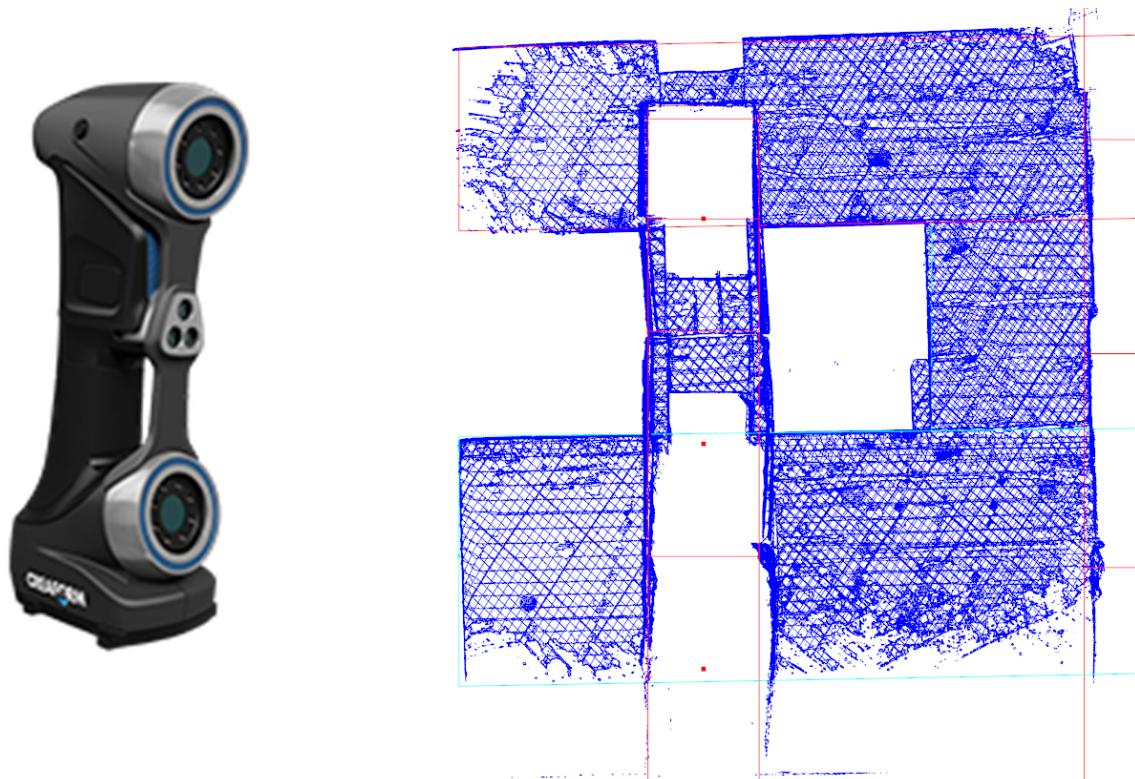


Abbildung 22: Modell Handy!Scan 700 und Modell der Walliser Blockbauwand mit darübergelegtem Mesh der Handy!Scan

#### Massabweichungen:

$$L0 = 510 \text{ mm}$$

$$L1 = 509.5 = 1 \%$$

$$B0 = 222 \text{ mm}$$

$$B1 = \text{ca. } 223 \text{ mm} = 1\%$$

$$H0 = 925$$

$$H1 = \text{nicht messbar, da unvollständig}$$

Ebenheit Flächen sehr gut  
Ecken sehr gut

#### Spezifikationen

Siehe Anhang 14.

#### 4.3.5 Fazit 3D-Laserscanner frei Hand geführt

Die Anwendbarkeit der handgeführten Scanner ist erwartungsgemäss komfortabel. Die erforderliche Genauigkeit für die vorliegenden Messaufgabe wird - wie erwartet - nicht von jedem Gerät geboten.

Der Leica Hand Scanner DPI-8 und der Artec Spider bieten hierbei keine brauchbaren Ergebnisse. Die beiden Creaform Scanner Go!Scan 50 und HandyScan 700 arbeiten mit Targets und bieten dadurch eine sehr gute Genauigkeit. Durch die benötigten Targets ist der Zeitaufwand entsprechend einzuplanen und die Erfassung grosser Objekte nicht sinnvoll.

#### 4.4 Zusammenfassung Messmittel für die digitale Bauaufnahme

Der Markt bietet eine Vielzahl von Messtechniken zur digitalen Bauaufnahme. Für jede Messaufgabe lässt sich eine passende Technik finden.

Die Fazite zu den einzelnen Messtechniken finden sich bei den entsprechenden Gerätegruppen am Ende des jeweiligen Kapitels. Hier erfolgt lediglich eine stichpunktartige Zusammenfassung der Eignung für die Aufnahme von Holzbauverbindungen.

**Tastarm:** vorzugsweise ebene Flächen, kleine Datenmenge, Installationsaufwand eher hoch, Erreichbarkeit eingeschränkt

**3D-Laserscanner stationär / Totalstation:** grosse Datenmenge, geringer Installationsaufwand, Erreichbarkeit gut, Genauigkeiten der Geräte sehr variabel, Umsetzen des Gerätes problemlos

**3D-Laserscanner stationär mit Schwenkarm:** sehr präzise Aufnahme, grössere Datenmenge, Installationsaufwand eher hoch, Erreichbarkeit eingeschränkt, Umsetzen des Gerätes möglich

**3D-Laserscanner frei Hand geführt:** , komfortable Anwendung, grosse Datenmenge, ggf. Installationsaufwand(Targets kleben), Erreichbarkeit sehr gut, Genauigkeiten der Geräte sehr variabel, Ergebnis mit Targets erheblich besser

Für die hier thematisierten Holzverbindungen sind nach Meinung der Autoren die hochwertigen stationären Scanner und die Target unterstützten Handscanner sehr gut geeignet. Bei guter Zugänglichkeit und einer geringen Anzahl Messflächen kann die Verwendung eines Schwenkarms mit Taster Sinn machen, bei einer höheren Flächenzahl und bei Unebenheiten auch der Schwenkarm mit Scanner.

### 5 Datentransfer/ Schnittstellen

In der folgenden Tabelle 2 sind gängige Messgeräte ausgewählt und dargestellt. Es finden sich u.a. Informationen zu Messgenauigkeiten, erzeugten Schnittstellen und notwendiger Software.

In die Cadwork-Programme sind u.a. die folgenden Schnittstellen einfügbar:

.las = Punktewolke → Import in Lexocad

.txt = Punktewolke → Import in Cadwork 2D → dann Kopieren in «Cadwork 3D» (Markierung von Knoten durch Modifikation im txt-File möglich, zB. Mittels Farbgebung)

.stl = Gitternetz → Import in «Cadwork 3D»

.ifc = 3D-Modell → Import in «Cadwork 3D»

.sat = 3D-Modell → Import in «Cadwork 3D»

Eine Übersicht über die hier angewendeten und weitere Geräte mit deren erzeugten Schnittstellen Weitere Schnittstellen ist in der folgenden Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht Geräte und erzeugte Schnittstellen



## 6 Software-Bearbeitung der Scan-Daten

Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, ist in «Cadwork 3D» lediglich ein Import eines Mesh-Objektes möglich, welches nicht direkt weiter bearbeitet werden kann, aber Punkte abgegriffen werden können.

Die Verarbeitung einer Punktewolke geschieht über einen Zwischenschritt via Lexocad, ebenfalls einem Cadwork-Programm.

Eine weitere – komfortable – Möglichkeit ist das Einfügen eines Volumenkörpers, welches mittels Hersteller-Software aus den Scandaten erzeugt wurde.

### 6.1 Einlesen und Weiterbearbeiten der Punktewolke

#### 6.1.1 Software «Lexocad» und Weiterbearbeitung in «Cadwork 3d»

Die Punktewolke wird mittels .pts bzw. .las-File in «Lexocad» importiert.

Es besteht die Möglichkeit das als Punktewolke abgebildete Objekt mittels Polygonlinien zu definieren. Dabei sind so viele Linienzüge zu erstellen, damit diese später im 3d das Erstellen eines eindeutigen Volumenmodells ermöglichen.

#### Einlesen von Daten in Cadwork «Lexocad»

Die Punktewolke wird als .pts oder .las in das Programm importiert. Hierbei ist auf den richtigen Skalierungsfaktor zu achten!

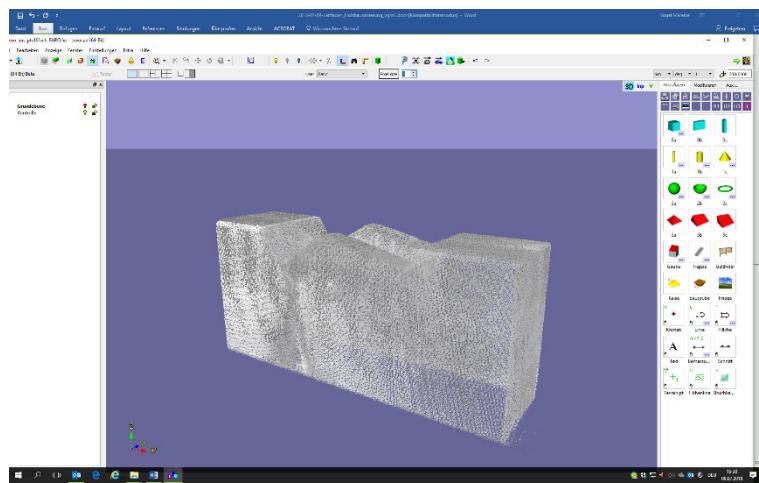


Abbildung 23: Punktewolke des Modellbauteils in Lexocad

#### Weiterbearbeitung der Daten in «Lexocad»

Über die Clipping Box werden die Punkte eingeblendet, welche dazu dienen, manuell eine Polygonlinie zu erstellen (blaue Linie).

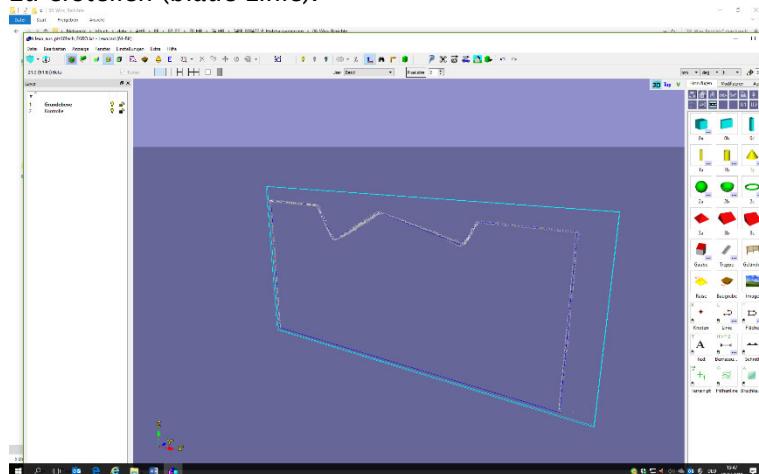


Abbildung 24: «Freischneiden» von Punkte für Erstellung Polylinie

## Weiterbearbeitung in «Cadwork 3D»

Die im Lexocad erzeugten Polylinien werden via Clipboard ins 3d eingefügt und daraus ein Volumenkörper generiert.

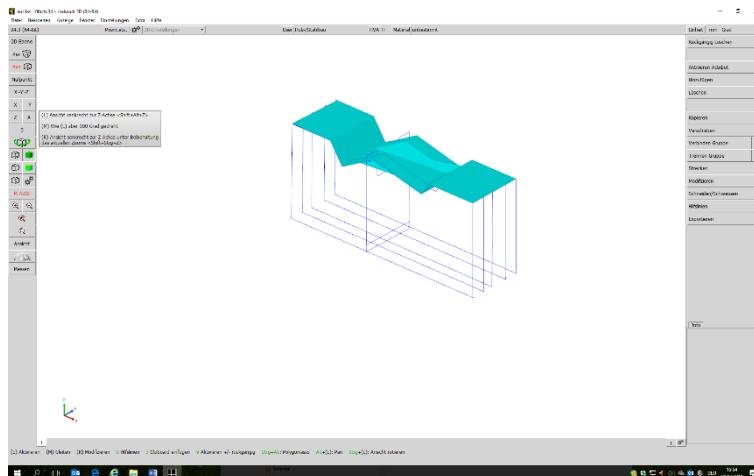


Abbildung 25: In Cadwork importierte Polylinien

### 6.1.2 Software Autodesk «hsbcad»

#### 6.1.2.1 Grundsätzliches zu «hsbcad»

«Hsbcad» arbeitet mit dynamischen Werkzeugen und verknüpft diese mit den jeweiligen Bauteilen. Dies bietet generell eine planerische Sicherheit, da Änderungen leicht durchzuführen sind und sich sofort am 3D Modell ablesen lassen.

Anhand der Werkzeugpaletten bietet «hsbcad» einheitliche und modulare Lösungen für Zimmerei, Ing.-Holzbau, Fertighausbau, Blockhausbau, Brettsperrholzbauweise etc.

Automatisiertes Erzeugen von Planunterlagen, Materiallisten und CNC Daten. Die Ansteuerung der CNC Anlagen, sowie im CNC Abbundbereich erfolgen zuverlässig.

«hsbcad» wird als Aufsatz von Autodesk «AutoCAD» oder «Revit» angeboten.

#### 6.1.2.2 Punktewolken in «AutoCAD»

Bevor eine Punktewolke «AutoCAD»-Zeichnungen zugeordnet werden kann, muss sie mit der Punktewolken-Software Autodesk «ReCap» indiziert werden.

Für die spätere Weiterbearbeitung, ist es sinnvoll, eine *strukturierte* Scandatei (wo der Ursprung der Punkte lesbar ist) über «ReCap» zu indizieren (konvertieren). Dadurch kann «ReCap» die Punktdaten segmentieren. Bei diesem Prozess werden Gruppen von Punkten in einer Punktewolke identifiziert, die verschiedene planare und zylindrische Flächen darstellen. «AutoCAD» kann 2D-Geometrie aus diesen Punktewolkensegmenten erstellen. Folgende Formate erlauben eine strukturierte Scandatei:

- .fls
- .zfs
- .ptx
- .ptg
- .clr
- Einige .cl3
- Einige .e57

Für die genannte *strukturierte* Scandatei, muss «ReCap» den Ursprung des einzelnen Punktes kennen. Idealerweise wird direkt aus einem Format importiert, welches dies leistet.

Bei dem Konvertieren in die Formate wie .las können diese Informationen verloren gehen. Grundsätzlich lassen sich unstrukturierte Dateiformate in «ReCap» in Strukturierte bereinigen. Jedoch ist dies nur in der Pro-Version möglich. Getestet wurde «ReCap» hier mit einer Testversion.

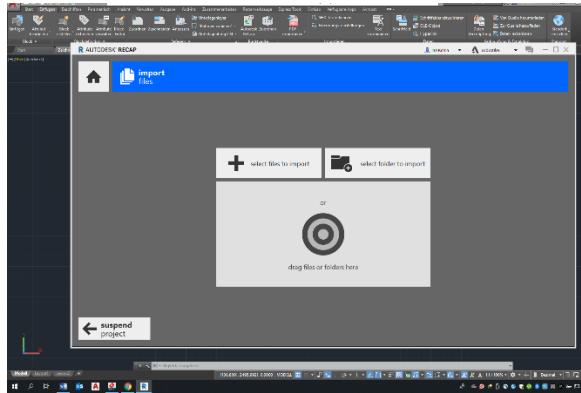


Abbildung 26: Einlesen Scanrohdatei in «ReCap»

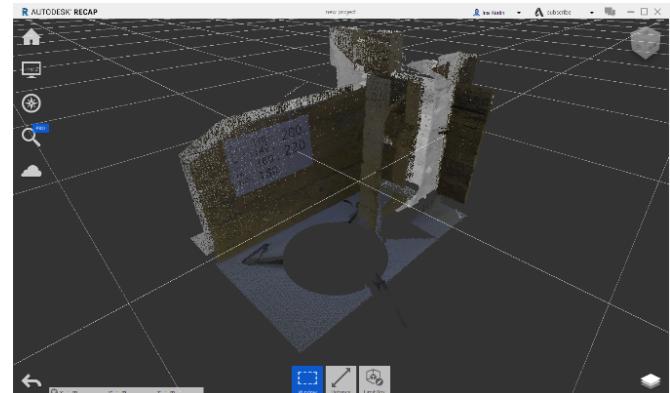


Abbildung 27: Eingelesene Punktewolke in «ReCap»

Nachdem die Scanrohdatei in «ReCap» importiert wurde, stehen eine Reihe von Methoden zur Verfügung. So ist es möglich, unerwünschte Teile zu entfernen, auszublenden bzw. zu deaktivieren. Ebenso lassen sich spezifische Scanregionen erstellen. Der Farbmodus ermöglicht Teile der Punktewolken in unterschiedlichen Farben, Transparenzen und Reflektivität darzustellen.

Wurde die Scanrohdatei wie gewünscht geordnet, kann sie in folgenden Formate gespeichert bzw. exportiert werden:

.rcs	einzelne Punktewolkedatei, die im Ausgabeordner gespeichert wird. Daten im rcs-Format verwenden Meter als Maßeinheit.
.rcp	Projektdatei, die auf die einzelnen rcs-Dateien verweist und Informationen über diese enthält
.pcg, .pts, .e57	exportierbare Formate

Danach ist die Weiterbearbeitung mit einem 3D Programm, z.B: «hsbcad» möglich.

#### 6.1.2.3 Erstellen von Geometrien mit unstrukturierten Punktewolken

Die eingelesene Punktewolke in «ReCap» wird, nach gewünschter Bearbeitung, als .dwg-Zeichnung gespeichert und kann anschliessend mit «AutoCAD»/ «hsbcad» geöffnet werden.

Für das Konstruieren von Volumenkörpern und/ oder Flächen greift man auf die gängigen Tools von «AutoCAD» zurück.

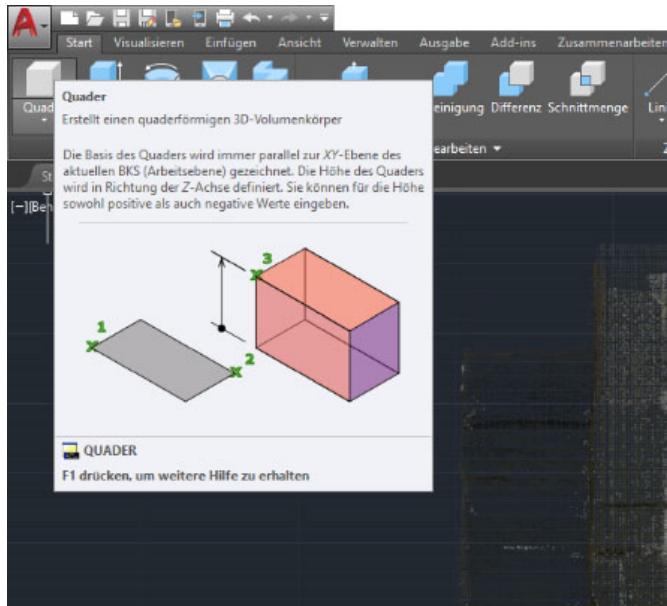


Abbildung 28: Werkzeug zur Erstellung eines Quaders

Um Punkte an der Punktewolke fassen zu können, ist es notwendig vorab den 3D Objektfang zu aktivieren.

Anschliessend kann man auswählen, auf welche Art und Weise der Objektfang ausgeführt werden soll. Einige dieser Objektfänge benötigen oben erwähnte Segmentierungsdaten der Scan-Datei. Punkte können jedoch immer in einer Punktewolke gefangen werden, unabhängig davon, ob Segmentierungsdaten aus der «ReCap»-Verarbeitung vorhanden sind.

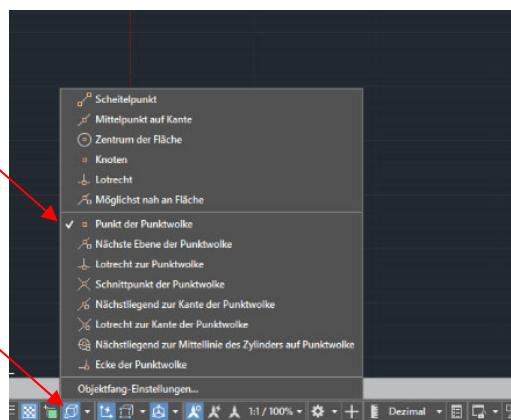


Abbildung 29: 3D-Aktivierung(unterer Pfeil) und Objektfang «Punkt»(oberer Pfeil)

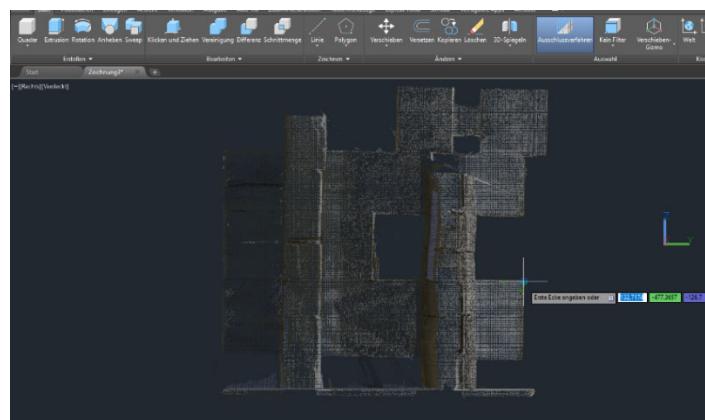


Abbildung 30: Aktivierte Punkteerkennung(rechte mittige Objekteite)

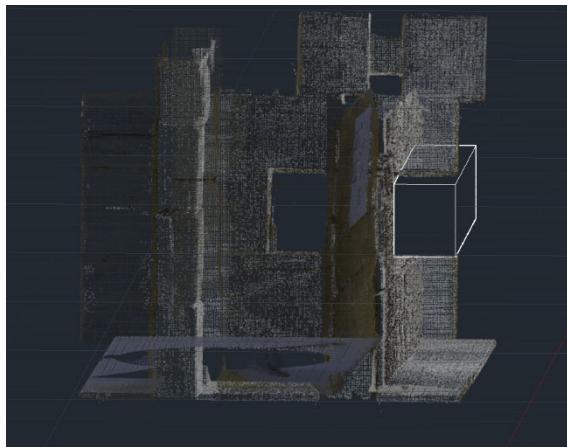


Abbildung 31: konstruierter Volumenkörper mithilfe des Punktefangs

#### 6.1.2.4 Erstellen von Geometrie aus segmentierten/strukturierten Punktwolken

Es gibt verschiedene Arten von Geometrien, die aus einer segmentierten Punktfolge abgeleitet werden können. Dazu bestehen unter anderem die folgenden Möglichkeiten:

Die Linie ist zu extrahieren, gemäß der Kante zwischen zwei planaren Segmenten in einer Punktfolge.

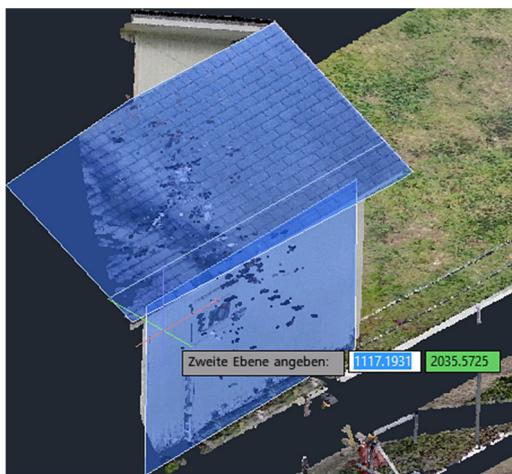


Abbildung 32: Segmentflächen zur Ermittlung der exakten Schnittkante

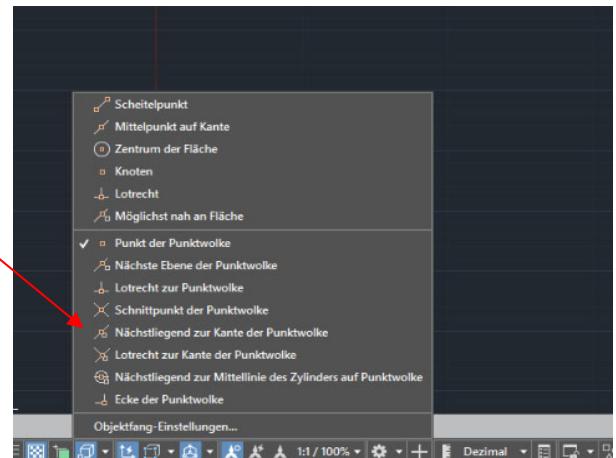


Abbildung 33: Auswahl des Objektfangs

Das Punktobjekt ist am Schnittpunkt zwischen drei planaren Segmenten in einer Punktwolke extrahieren.

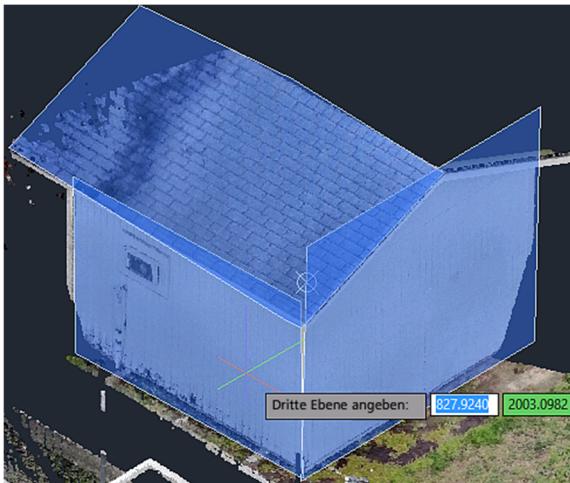


Abbildung 34: Segmentflächen zur Ermittlung des exakten Schnittpunktes/ Schittlinie

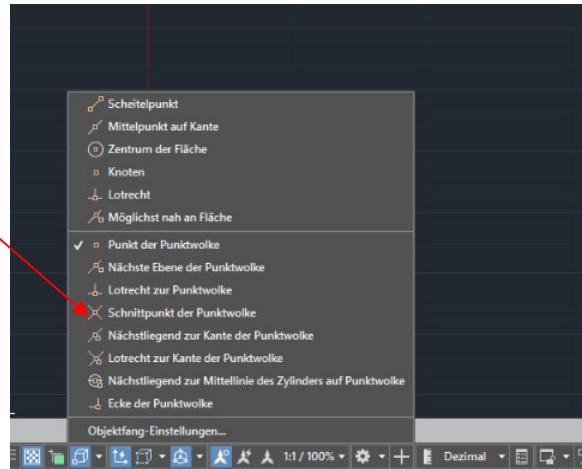


Abbildung 35: Auswahl des Objektfangs

Die Mittellinie ist eines erkannten zylindrischen Segments in einer Punktwolke extrahieren.



Abbildung 36: Segmentflächen zur Ermittlung der exakten Mittellinie des Volumens

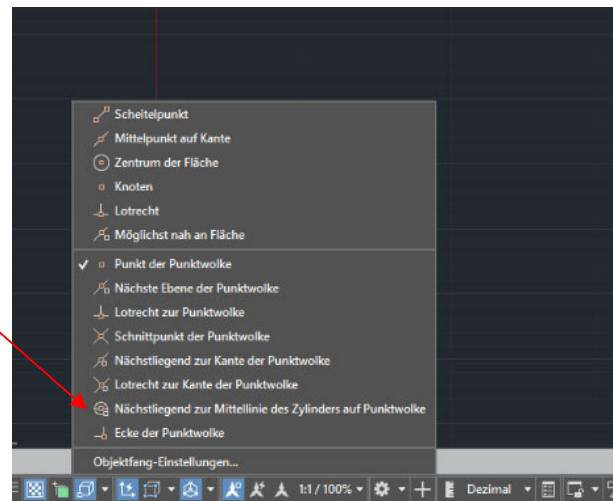


Abbildung 37: Auswahl des Objektfangs

Ebenso kann man durch das Schneiden einer Punktwolke eine gewünschte Geometrie extrahieren. Der Befehl «PWSCHNITTEXTRAHIEREN» identifiziert die zugrunde liegende 2D-Geometrie in der Punktwolke und erstellt eine 2D-Liniezeichnung. Vorgabemäßig wird die Geometrie auf einer Ebene erstellt, die mit der Schnittebene zusammenfällt.

### 6.1.3 Software «McNeel Rhinoceros 3d»

Die Software «Rhinoceros 3D» geht in vielen Bereichen über den üblichen CAD (computer-aided design) Funktionsumfang hinaus. Es bietet umfassende Werkzeuge zur Bearbeitung von Punktwolken und Dreiecksvermaschungen an und unterstützt umfangreiche In- und Exportformate. Während mit den standard-Werkzeugen aus Punktwolken über Mittelwertberechnungen bereits Flächen oder Nurbs Kurven bzw. Flächen erzeugt werden können, bietet Rhino 3d diverse Plugins an (<https://www.food4rhino.com/>), welche einen gewissen Automatisierungsgrad im Bereich Reverse Engineering zulassen (z.B. RhinoReverse).

Seit Rhino 6 ist zudem «Grasshopper» (GH) fester Bestandteil, eine visuelle Programmierungssoftware, womit sich wiederholende Arbeitsschritte programmieren bzw. automatisieren oder parametrisieren lassen. Via Grasshopper oder alternativ via RhinoCAM lassen sich Maschinenprogramme für CNC (ISO-

Code) oder Roboter (ABB, Kuka, Stäubli, UR,...) erstellen. Allerdings wird Rhino 3d im Holzbau bisher nur für spezielle Nischenprodukte angewendet und bietet daher keine «Plug and Play» Anbindung via der branchenüblichen BTL Schnittstelle an Abbundanlagen. Trotzdem ist es mit Rhino 3d und Grasshopper (z.B. mit dem GH-Plugin «Woodpecker» von Lignocam) möglich, via BTL auf Lignocam ein NC-Programm für Abbundanlagen zu erzeugen. Alternativ kann der NC-Code für die Abbundanlage oder CNC Maschine direkt im Grasshopper generiert werden, wobei Grasshopper die Simulation der Bearbeitung ins Rhino 3d projizieren kann. Dieser alternative Weg erfordert allerdings grosses Know-How über die Maschinenansteuerung und Grasshopper und ist nicht als «Plug and Play» Lösung erhältlich.

#### 6.1.3.1 Punktewolken im «Rhinoceros 3D»

Eine Punktewolke kann in der Regel per «Drag and Drop» Funktion direkt im Rhino 3d geöffnet werden, der alternative Weg via «File – Import... - steht auch zur Verfügung. Unterstützt werden für den Import abhängig vom Scanner folgende üblichen Formate: .asc, .e57, .fbx, .obj, .ply, .pts, .stl, .stp, .txt, .wrl, .x, .xyz, .zpr. Punktewolken können im «Rhinoceros 3d» zu Gitternetzen vermascht werden (auch der umgekehrte Weg ist möglich), die Vermaschung an Genauigkeitsbedürfnisse und Rechenkapazitäten angepasst (ReduceMesh) angepasst werden. Gitternetze können anschliessend in Nurbs Oberflächen umgewandelt werden, wodurch eine vereinfachte geometrische Definition mit weitreichenden Bearbeitungsoptionen erreicht wird. Alternativ bietet es sich an, aus Punktewolken Ebenen bzw. Flächen zu generieren, welche anschliessend aneinander verschnitten werden können. Die Strategie ist in Abhängigkeit der weiteren Datenverarbeitung im CAD unter Berücksichtigung der Bearbeitungsmöglichkeiten der zur Verfügung stehenden Produktionsanlagen (Abbundanlage,...) zu wählen.

Ein ausführliches Beispiel ist in Kapitel 9.5 dargestellt.

#### 6.1.3.2 Fazit

«Rhinoceros 3D» bietet die Datenverarbeitung von der Punktewolke bis zur Maschinenansteuerung in einem Programm an. Für Holzbaubetriebe ist als grosser Vorteil zu erwähnen, dass nur ein Programm für das gesamte Reverse Engineering notwendig ist, was sich gleich mehrfach bei Lizenzkosten, Wartung und Mitarbeiterschulung auszahlt. Da Rhino 3d jedoch kein Standard-Programm im Holzbau ist, müssen neue Mitarbeiter von Grund auf geschult werden, ausserdem ist der Weg für Standard-Abbund eher kompliziert und zeitaufwändig. Weiter ist zu berücksichtigen, dass der beschriebene Weg via Lignocam aufgrund von Einschränkungen bei der BTL Schnittstelle keine Freiformflächen (Nurbs-Flächen) übergeben kann. Alternativ kann der Maschinencode volumfähig in Grasshopper programmiert (und simuliert) werden, was jedoch entsprechendes Know-How erfordert.

### 6.1.4 Software «Geomagic»

«Geomagic» kann sehr leistungsfähig Punktewolken verarbeiten, Flächenrückführungen etc. bewerkstelligen, ist jedoch auch entsprechend kostenintensiv. Zudem kann «Geomagic» kein CAD/CAM Programm ersetzen, welches die Konstruktion übernehmen und Produktionsdaten ausgeben kann (z.B. «Cadwork 3D»). Auf eine entsprechenden Bearbeitung wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes verzichtet.

## 6.2 Bearbeitung der Punkte aus Taster (Einzelpunkte)

### 6.2.1 Punktewolke von Taster in «Cadwork 3d»

TXT-File → «Cadwork 2D» → «Cadwork 3D»

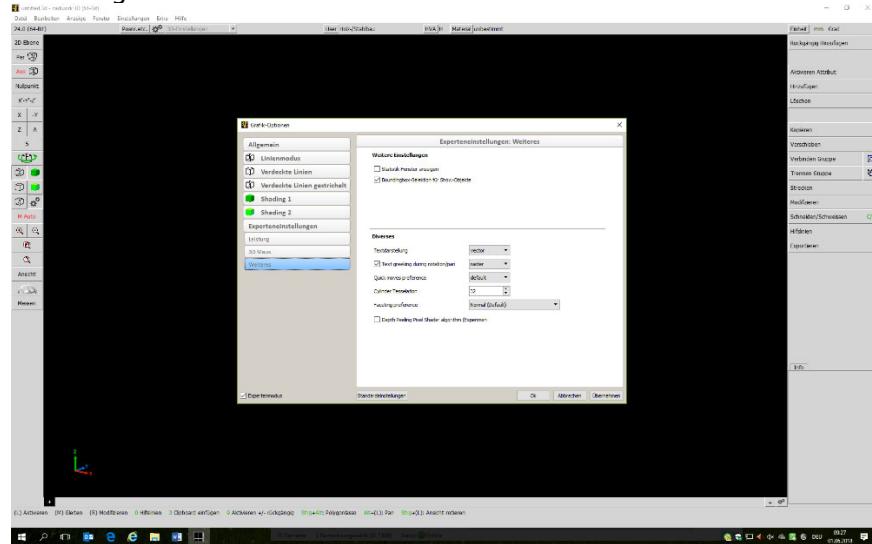
- 1) Annahme: pro Fläche des Objektes wurden 3 Punkte abgegriffen
- 2) Modifikation txt-File: Nr. Farbnr. X Y Z (die 3 Punkte einer Fläche müssen gleiche Farbnr. bekommen)
- 3) Einfügen txt in «Cadwork 2D»: Import Terrainpunkte im Format Nr. Farbe XYZ
- 4) Immer 3 Punkte sollten die gleiche Farbe haben
- 5) Kopieren Punkte ins «Cadwork 3D» (Clipboard)
- 6) Generieren von Flächen mittels der gleichfarbigen Punkte
- 7) Generieren des Werkstücks

## 6.3 Einlesen und Weiterarbeiten des Drahtmodels = Gitternetzes = Mesh

### 6.3.1 Einlesen des Drahtmodels in Software «Cadwork 3D»

Der Import erfolgt mittels .stl bzw. .obj-File direkt in «Cadwork 3D». Ein .stl bzw. .obj-File ist ein Volumen-Objekt bestehend aus Dreiecksflächen. Dieses Objekt kann nicht bearbeitet werden. Es können aber Einzelpunkte abgegriffen werden.

- 1) Einfügen .stl oder .obj direkt in Cadwork 3D
- 2) Bounding Box ausschalten



- 3) Knoten sind nun «greifbar», es können Flächen/ Volumenkörper abgegriffen werden
- 4) Generieren des Werkstücks

Eine ausführliche Anwendung am Praxisbeispiel wird in Kapitel 9.4 erläutert.

### 6.3.2 Einlesen des Drahtmodels in Software Autodesk «hsbcad»

Mit der vorhandenen Test-Version von «hsbcad» war es den Autoren nicht möglich, ein Gitternetz via «ReCap» zu importieren. Abklärungen zu Möglichkeiten in der Pro-Version sind am Laufen.

### 6.3.3 Einlesen des Drahtmodels in Software «Rhinoceros 3D»

Siehe Kapitel 9.6

## 6.4 Bearbeitung des Volumenkörpers aus Hersteller-Software(.sat) in «Cadwork 3D»

Die Software «VXInspect», welche die Scans der Creafom-Produkte verarbeitet, ist in der Lage aus den Scandaten manuell einen Volumenkörper zu erstellen. Diese Möglichkeit des Datenimports in «Cadwork 3D» erscheint den Autoren bisher als die komfortabelste Lösung.

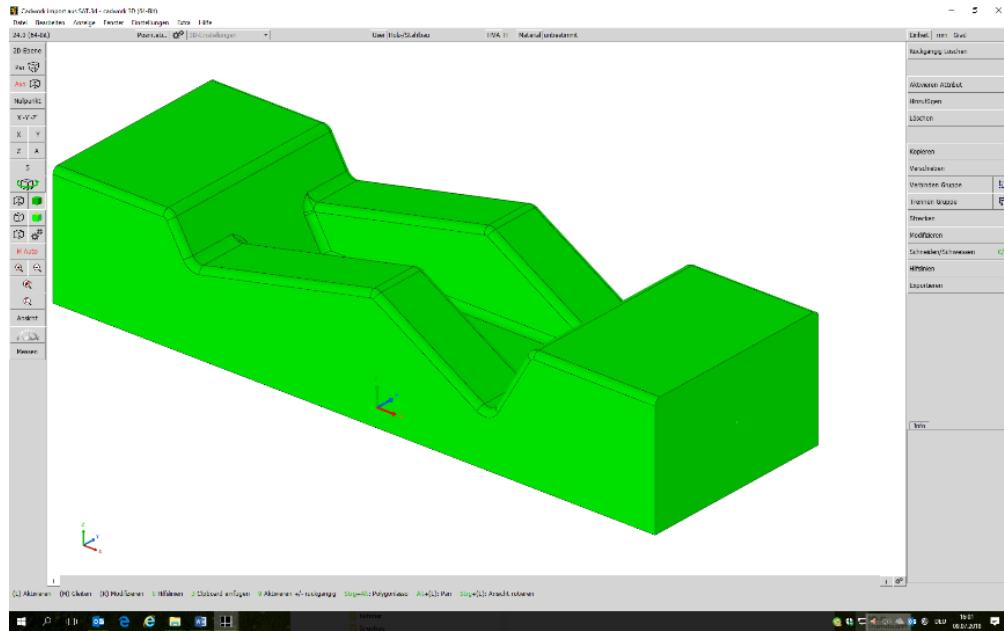


Abbildung 38: Volumenkörper aus Scan mit Creafom Go Scan und Weiterbearbeitung mit VXInspect

## 6.5 Fazit Software-Bearbeitung der Scan-Daten

Ein Fazit zu den verschiedenen Bearbeitungsmöglichkeiten ist in Kapitel 9.11.2 erläutert.

## 7 Marker

Es soll möglich sein, Informationen zum Bauteil (Pläne, CAD-Dateien etc.) mittels Applikation von Markern am Bauteil Fachplanern zugänglich zu machen.

Aufgrund der universellen Lesbarkeit wurde sich für die Technologie des QR-Codes entschieden.



Abbildung 39: QR-Code des Blockwand-Modells

Dieser QR-Code ist am Gebäude als Aufkleber oder Plakette applizierbar. Er verlinkt mittels freiem Zugriff die folgende – beispielhaft mit Media Wiki erstellte – Webseite:

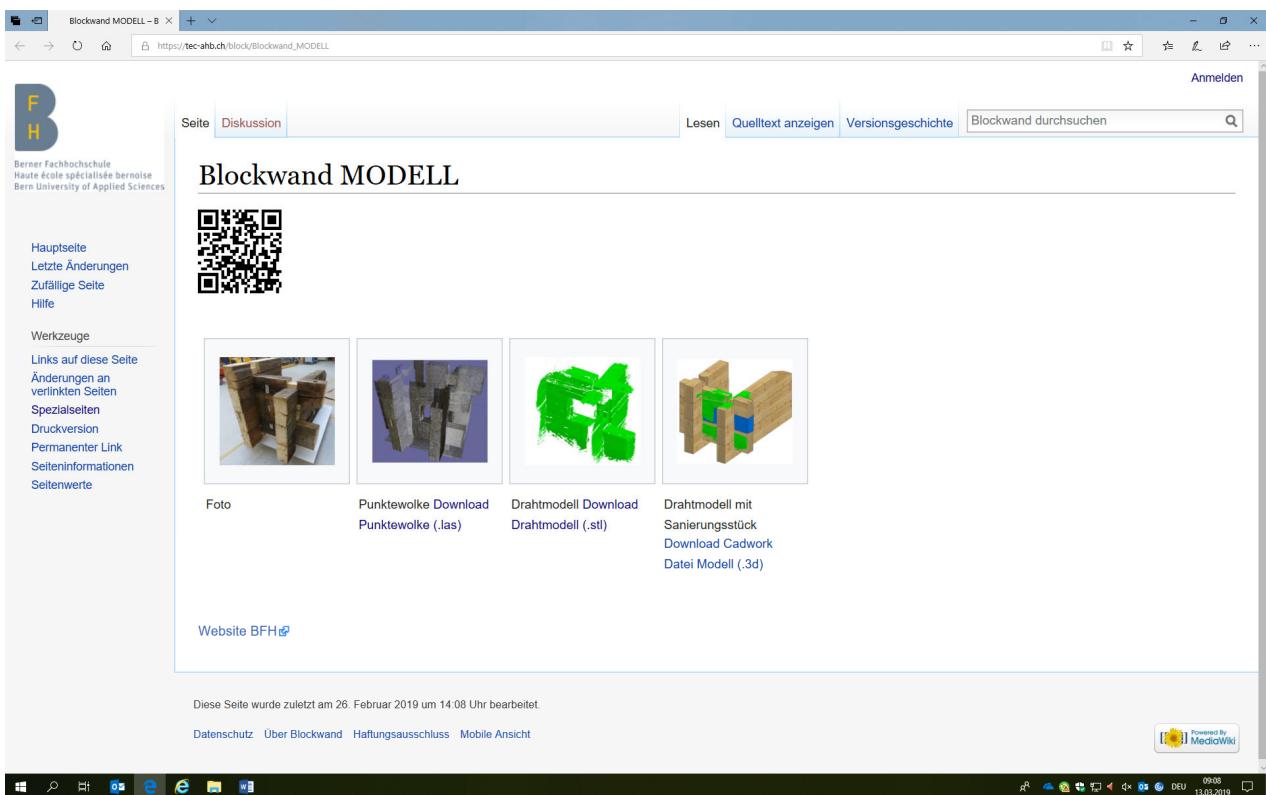


Abbildung 40: verlinkte Website des QR-Codes mit Galerie der Abbildungen und Dateien

Auf dieser Website können Abbildungen wie Fotos, Grafiken etc. betrachtet werden. Ebenfalls können Dateien, wie hier die .las, .stl oder -3d Files heruntergeladen werden.

Je nach Anforderung an die Datensicherheit können diverse Berechtigungen erteilt werden. Damit bestehen folgende Möglichkeiten:

- 1) alle Nutzer können alles lesen und (nach Wahl) herunterladen
- 2) ein ausgewählter Nutzerkreis kann alles lesen und (nach Wahl) herunterladen und (nach Wahl) hochladen
- 3) ein offener Nutzerkreis kann – nach Anmeldevorgang - kann alles lesen und (nach Wahl) herunterladen

## 8 Sanierungsplanung – Anforderungen an Bauteil-Sanierungen

Sanierungen sollen sowohl statisch konstruktiven, denkmalpflegerischen als auch ästhetischen Anforderungen erfüllen, dies in Abhängigkeit der Funktion und Lage des Bauteils, dessen Schädigung und dessen statischer Beanspruchung.

### 8.1 konstruktive Anforderungen

Die folgende Aufstellung wurde teilweise der entsprechenden Dokumentation [Thümmler, 2016] im Rahmen der Veranstaltung «Tragwerksplaner in der Denkmalpflege» entnommen.

#### Holzart

Ersatzbauteile müssen grundsätzlich in gleicher Holzart wie die vorgefundene Konstruktion eingebaut werden. Ausnahmen: unübliche, wenig resistente Hölzer (Buche, Birke, etc.). Ein möglichst geringer Splintanteil ist anzustreben.

#### Holzqualität

Für Außen- oder sichtbare Bauteile ist möglichst rissarmes Holz zu verwenden (markfreier oder markgetrennter Einschnitt).

#### Holzfeuchte

Der Feuchtegehalt der Reparaturhölzer ist auf  $u < 15\%$  zu begrenzen. Die Verwendung von technisch getrocknetem Holz ist bei Nadelholzkonstruktionen üblich.

#### Verwendung von Stahlteilen/ Verbindungsmittern

Auf Stahlformteile (Winkel, Balkenschuhe, Sparrenpfettenanker, etc.) ist grundsätzlich zu verzichten. Sie sind nur in schlüssig begründeten Sonderfällen einzusetzen. Nach Möglichkeit ist mit reinen Holzverbindungen zu arbeiten.

Ingenieurmäßige Verbindungsmitte (Bolzen, Stabdübel, Dübel besonderer Bauart, etc.) sind nur bei statischer Erfordernis zu verwenden.

Bei erschütterungsempfindlichen Konstruktionen (Stuckdecken...) ist auf Nagelverbindungen möglichst zu verzichten. Stattdessen können ggf. selbstschneidende Schrauben verwendet werden.

Bei Eichenholzkonstruktionen sind sämtliche Stahlteile mindestens in V2A-Stahl auszuführen.

#### Klebstoffe

Die Verwendung von Klabstoffen zur zusätzlichen Sicherung von Reparaturverbindungen ist wirkungslos. Wenn die Verbindung richtig berechnet ist, ist die Tragfähigkeit auch ohne Klebstoffe gegeben.

### 8.2 Statische Anforderungen

Alle defekten Querschnittsteile, welche die Tragfähigkeit beeinflussen könnten sind zu beseitigen. Die Tragfähigkeit bestehender Bauteile ist nach SIA 269/5 [SIA 269/5, 2011] zu beurteilen und ggf. wiederherzustellen. Bei kombinierten Verbindungen alt - neu ist die dauerhafte Lagestabilität aller Bauteile sicherzustellen.



Abbildung 41: Ersatzbeuteile bei einer Dachstuhlsanierung

Je nach Denkmalwert des Gebäudes ist die optische Qualität der Holzverbindungen neben der technischen ggf. entscheidend. [Thümmler, 2016]

### 8.3 Denkmalpflegerische Anforderungen

Die Charta von Venedig [Charta, 1964] empfiehlt im Absatz «Restaurierung» zu dieser Thematik folgendes:

«... Wenn es aus ästhetischen oder technischen Gründen notwendig ist, etwas wiederherzustellen, von dem man nicht weiß, wie es ausgesehen hat, wird sich das ergänzende Werk von der bestehenden Kopie abheben und den Stempel unserer Zeit tragen...

**Wenn sich die traditionellen Techniken als unzureichend erweisen, können zur Sicherung eines Denkmals alle modernen [...] Konstruktionstechniken herangezogen werden, deren Wirksamkeit wissenschaftlich nachgewiesen und durch praktische Erfahrung erprobt ist.**

**Die Elemente, welche fehlende Teile ersetzen sollen, müssen sich dem Ganzen harmonisch einfügen und vom Originalbestand unterscheidbar sein, damit die Restaurierung den Wert des Denkmals als Kunst und Geschichtsdokument nicht verfälscht.**

Hinzufügungen können nur geduldet werden, soweit sie alle interessanten Teile des Denkmals, seinen überlieferten Rahmen, die Ausgewogenheit seiner Komposition und sein Verhältnis zur Umgebung respektieren.»

In den Leitsätzen zur Denkmalpflege in der Schweiz [EKD, 2007] werden die oben angegebenen Grundsätze noch etwas spezifiziert:

- Der überlieferte Bestand ist möglichst weitgehend zu erhalten.
- Alle konservatorischen und restauratorischen Eingriffe sind auf ein Höchstmaß an Reversibilität auszurichten.
- Vor jedem Eingriff und während der Arbeiten muss durch geeignete Untersuchungen sichergestellt werden, dass die Eingriffe in Rücksichtnahme auf Substanz und Erscheinung des Objekts definiert werden können.
- Umfang und Tiefe eines Eingriffs sind möglichst klein zu halten.
- Historische Elemente sollen instand gestellt, nicht ersetzt werden.
- Das Denkmal ist so zu bewahren, dass die Spuren seines Alters erhalten bleiben.

- Für die Konservierung/Restaurierung von Denkmälern sind Materialien und Anwendungstechniken zu verwenden, die sich bewährt haben.
- Nach einer Konservierung/Restaurierung sind periodische Kontrollen des Denkmals und wenn nötig weitere Massnahmen durchzuführen.
- Innerhalb des Planungsteams definiert die Fachstelle, wie die historische Substanz zu erhalten und wie mit ihr umzugehen ist.
- In Bewilligungsverfahren beurteilt die Fachstelle zuhanden der Entscheidbehörde die vorgesehenen Massnahmen.
- Die schützenswerten Eigenschaften der Umgebung und die Wirkung des Denkmals sind zu erhalten. Vor Massnahmen in der Umgebung eines Denkmals sind die erhaltenen Elemente des historischen Kontexts zu bestimmen und der Wirkungs- und Sichtbereich des Denkmals festzulegen.
- Baunormen dürfen auf Denkmäler nicht ohne vertiefte Abklärung angewendet werden. Von Fall zu Fall ist abzuwagen, ob auf das Einhalten einer Norm ganz oder teilweise verzichtet werden muss, oder ob das Normenziele durch andere geeignete Massnahmen erreicht werden kann.
- Wenn an Teilen des Denkmals weitergebaut wird, sind die historisch wertvollen Teile nicht anzutasten.

Die denkmalpflegerischen Anforderungen unterscheiden sich – je nach Kanton oder gemeindeseitiger Zuständigkeit. Eine frühzeitige Kontaktaufnahme mit der zuständigen Behörde ist dringend zu empfehlen.

## 9 Sanierungsmodell: Walliser Blockbauwand

### 9.1 Modell, Ziel und Vorgehen

Es erfolgt die Herstellung einer fehlenden Bohle einer typischen Walliser Blockbauwand-Konstruktion auf Grundlage eines 3D Scans der bestehenden (umliegenden) Konstruktion.

Bei der Wand handelt es sich um einen 1:1 Nachbau einer Aussenwand mit einem Innenwandanschluss. Der Abstand der Innenwand zur Aussenwand wurde verringert.

Mit Hilfe dieses Modells wird gezeigt, wie die Reproduktion eines beschädigten und in der Folge entfernten Bereiches eines Bauteils(hier einer Block-Bohle) erfolgen kann.

Der Anschluss des Sanierungsbauteils an das bestehende Bauteil erfolgt mittels stehender Zapfen-Schlitz-Verbindung.

Im vorliegenden Kapitel wird dargestellt, wie das Wandmodell mittels zweier verschiedener Scan-Geräte aufgenommen wird und die entstandenen Daten mittels verschiedener Softwares aufbereitet werden und ein jeweils identisches Sanierungsstück konstruiert wird.

Es werden folgende Kombinationen betrachtet:

- Scan mit «Leica RTC360» → Punktewolke → Konstruktion mit «Lexocad» / «Cadwork 3D»(Kapitel 9.3)
- Scan mit «Creaform Handyscan 700» → Gitternetz → Konstruktion / «Cadwork 3D» (Kapitel 9.4)
- Scan mit «Leica RTC360» → Punktewolke → Konstruktion mit «Rhinoceros 3D» / «Cadwork 3D»(Kapitel 9.5)
- Scan mit «Creaform Handyscan 700» → Gitternetz → Konstruktion mit «Rhinoceros 3D» /»Cadwork3D» (Kapitel 9.6)
- Scan mit «Leica RTC360» → Punktewolke → Konstruktion mit Autodesk «hsbcad» (Kapitel 9.7)



Abbildung 42: Modell der Walliser Blockbauwand: Ansicht von «innen» mit Markierungen für Abbund und Beschriftung



Abbildung 43: Modell: Ansicht von «aussen»



Abbildung 44: Ort des fehlenden Bauteil-Stückes



Abbildung 45: Original des zu reproduzierenden Sanierungsstückes

## 9.2 Wahl des Anschlusses an bestehendes Bauteil(Bohle)

### 9.2.1 Grundidee zum Anschluss

Der Anschluss muss die Schubkräfte übertragen und das Sanierungsbauteil in alle Richtungen fixieren.

Ziel war die Vermeidung von horizontalen Fugen, um eventuelle Wasserinfiltration zu verhindern.

### 9.2.2 Wahl des Anschlusses und Geometrie

Als Reparaturverbindung wurde sich für eine Zapfen-Schlitz-Verbindung entschieden. Diese Verbindung wird manuell in Cadwork gezeichnet, da die asymmetrische Geometrie des Balkens die Verwendung der Cadwork-Werkzeuge unmöglich machte. Für den Zapfen wird eine Breite von 40 mm und eine Länge von 150mm gewählt.

Für die Gewährleistung der Demontierbarkeit wurde kein Dübel eingebracht.

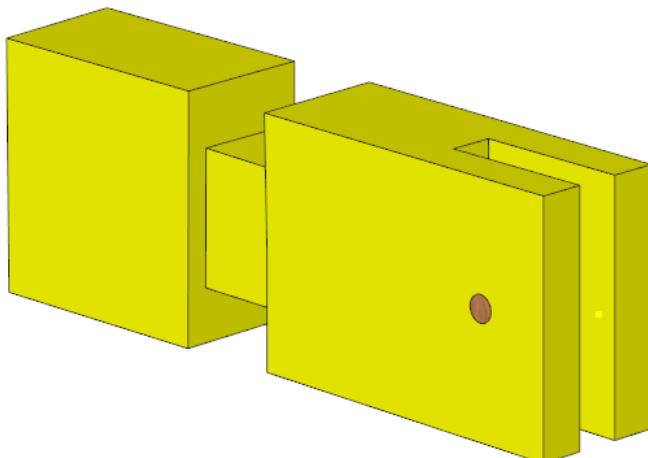


Abbildung 46: Visualisierung des Sanierungsbauteils

## 9.3 Scan mit Leica RTC360 und Konstruktion an der Punktewolke in Lexocad und Cadwork

### 9.3.1 Verwendetes Gerät

Für die im Folgenden verwendete Punktewolke wurde das Gerät Leica RTC360 erzeugt.



Abbildung 47: Verwendetes Gerät: Leica RTC360

Das Data Sheet des Leica RTC360 befindet sich in Anhang 13.

### 9.3.2 Vorgehen

Da das Programm «Leica Cyclone Register 360» kein Gitternetz sondern «nur» eine Punktewolke exportiert, erfolgt der Import der .las-Datei in «Lexocad».

Nun gibt es 2 Möglichkeiten:

- 1) Erstellung des Sanierungsstückes in «Lexocad» und «Cadwork 3D» oder alternativ
- 2) Vermischung der Punkte in Drittprogramm und damit Erstellung des Sanierungsstückes in «Cadwork 3D». Diese Variante wird in Kapitel 9.4 erläutert.

Im Folgenden wird der Weg beschrieben, wie der Import der Punktewolke in «Lexocad» und die Weiterbearbeitung in Lexocad und «Cadwork 3D» erfolgt.

### 9.3.3 Ziel

Das Ziel ist, eine effiziente Methode zu finden und zu beschreiben, wie die Daten eines 3D-Scans einer bestehenden Konstruktion mithilfe von «Lexocad» und «Cadwork 3D» aufbereitet und weiterverarbeitet werden können.

Die Ausgangsdaten sind eine Punktewolke des Konstruktionsbereiches, in welchem ein Bauteil fehlt. Damit sollte es möglich sein, das fehlende Bauteil zu konstruieren und auf einer CNC-Anlage zu produzieren.

### 9.3.4 Generelle Aussagen zur Methode

Es waren mehrere Versuche notwendig, bevor die hier beschriebene Methode gefunden wurde. In den ersten Versuchen war das Hauptproblem der Anspruch des Autors an die Genauigkeit.

Die Punktewolke bietet eine sehr genaue Beschreibung der Geometrie der Holzkonstruktion mit unebenen Oberflächen und komplizierten Details.

Anfangs war die Idee, die Punktewolke dazu zu nutzen, viele Knoten regelmäßig auf den Oberflächen der einzelnen Bauteile zu verteilen und daraus das Volumen des fehlenden Teils zu erzeugen.

Die Verwendung von Cadwork und «Lexocad» für diese Aufgabe stellt jedoch eine wesentliche Einschränkung dar: Es ist nur möglich, eine ebene Fläche zu zeichnen, und es ist nicht möglich, ein Volumen aus «fliegenden» Punkten zu ziehen.

Diese ersten Versuche zeigten also, dass die einzige Möglichkeit, die Daten zu verarbeiten, darin bestand, Punkte auf der Wolke zu finden, die zusammen eine Fläche beschreiben können. Aus diesem Grund wurden Punkte gewählt, um kleine Dreiecke zu schaffen, mit denen dann die Flächen des fehlenden Teils beschrieben werden können. Noch waren viele Dreiecke nötig, um die Details der Teile zu beschreiben. Die weiteren Prozessschritte wären also zu kompliziert und sehr zeitaufwendig gewesen, vor allem diejenigen auf der CNC-Produktion, welche all diese Dreiecke hätten verwenden müssen. Es wurde versucht, die Anzahl der Dreiecke zu reduzieren, um die Geometrien zu vereinfachen, aber an dieser Stelle war die resultierende Genauigkeit nicht den Aufwand wert, diese Dreiecke zu konstruieren. Es wurde beschlossen, die Oberflächen des fehlenden Teils nur mit repräsentativen Flächen zu beschreiben, die mit vier Punkten erstellt wurden, die auf zwei parallelen Linien ausgerichtet sind.

Dieser Prozess braucht weniger Punkte aus der Punktewolke, aber eine bessere Auswahl von ihnen, um die richtigen Oberflächen zu bekommen. Die Arbeit wird neu ausgerichtet, um einen guten und einfachen Weg zu finden, die Punktewolke zu analysieren. Am Ende ist dieser Kompromiss die sinnvollste Methode und der einzige Weg eine angemessene Produktionszeit mit einer akzeptablen Genauigkeit und einer guten Kompatibilität zwischen den verschiedenen Schritten und der Software zu garantieren.

### 9.3.5 Beschreibung der Methode

Die Grundidee hinter dieser Methode ist es, die Punktewolke in «Lexocad » zu importieren, einer Software, die in der Lage ist, diese Art von Datei zu lesen. Dann wird in «Lexocad » die Punktewolke genutzt, um die Begrenzungsflächen des fehlenden Teils zu schaffen. Die Oberflächen werden in «Cadwork 3D » exportiert und verwendet, um das 3D-Modell des fehlenden Teils zu zeichnen. Danach wird das 3D-Modell in der CAM-Software Lignocam importiert, um das fehlende Teil herstellen zu können.

Die Erstellung der Begrenzungsflächen erfolgt mit Hilfe von zwei parallelen Hilfslinien aus 4 Punkten der Wolke. Dies stellt den größten Teil der Arbeit dar und wird in der Methode beschrieben.

Die Oberflächen werden in zwei Kategorien getrennt. Zunächst werden vier große vertikale Oberflächen als "Basisvolumen" des fehlenden Teils definiert. Dann werden 4 horizontale Oberflächen definiert, um die obere und untere Fläche des Volumens abzugrenzen, zwei Oberflächen auf jeder Seite der Verbindung. Danach werden auf allen Kontaktflächen der Verbindung kleine Flächen definiert, mit denen das "Grundvolumen" geschnitten und die Geometrie des fehlenden Teils erstellt wird.

### 9.3.6 Öffnen und Importieren der Punktewolke in «Lexocad »

Diese Schritte sind wirklich einfach und brauchen keine besonderen Tricks:

1. Öffnen Sie eine neue «Lexocad »-Datei
2. Importieren Sie die Punktewolke als ".las Datei"
3. Wählen Sie LOD im Pop-up-Fenster aus und drücken Sie OK. «Lexocad » erstellt eine .las.lod-Datei, es ist eine Detailstufe der Punktewolke, die eine bessere Visualisierung ermöglicht.
4. Zum jetzigen Zeitpunkt ist keine Skalierung nötig. Das Volumen wird später in «Cadwork 3D » mit einer Referenzlänge dimensioniert.
5. Es ist nun möglich, die Cloud in 3D zu betrachten, die Größe der Pixel zu ändern und den Bildschirm in verschiedenen Ansichten 2D und 3D zu trennen.

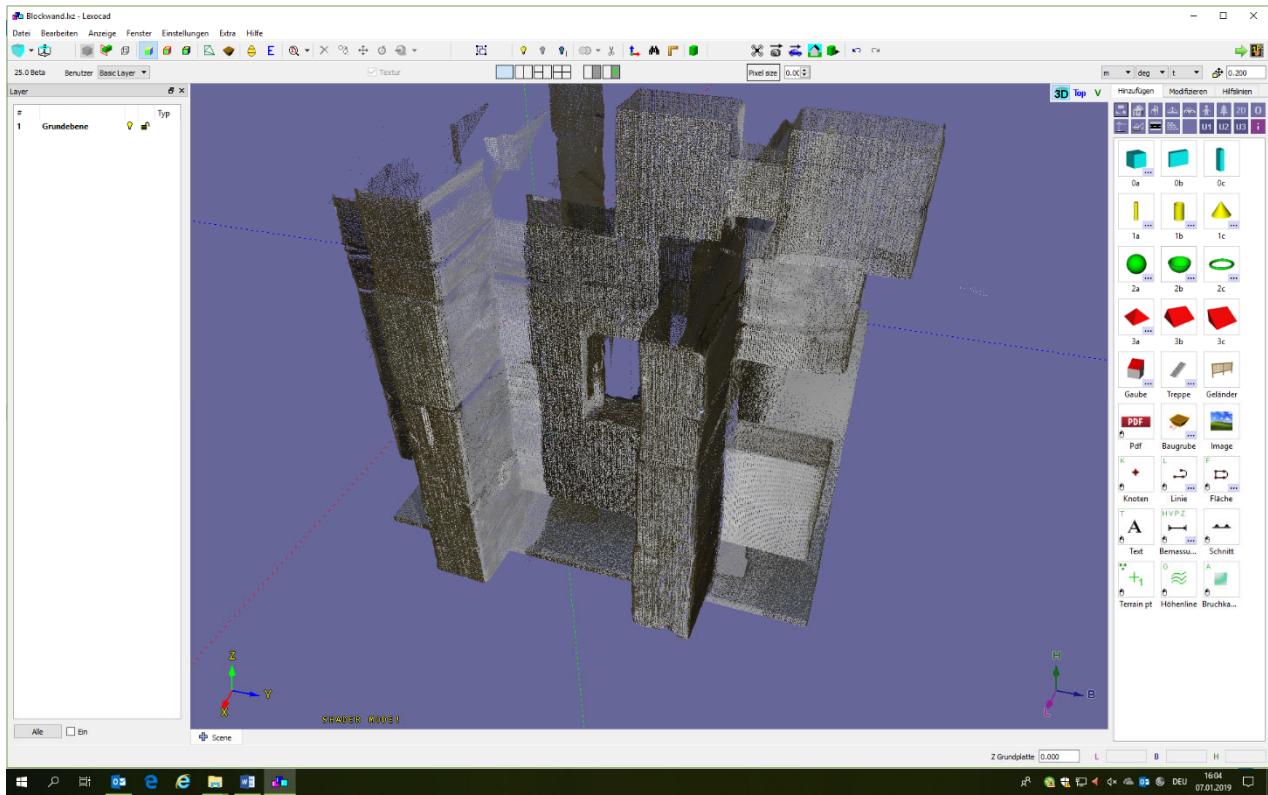


Abbildung 48: Punktwolke in «Lexocad» aus Scan mit RTC360

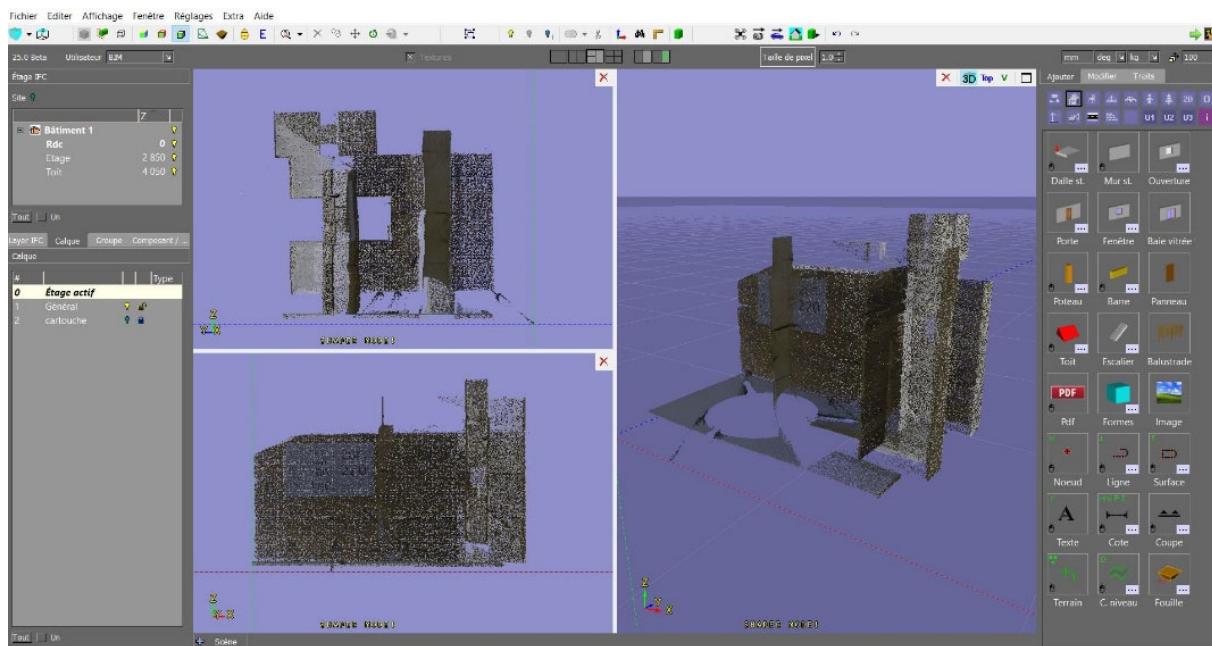


Abbildung 49: Ansichten der Punktwolke in «Lexocad»

### 9.3.7 Clipping Box

Es ist schwierig, an der Punktewolke zu arbeiten, wenn sie komplett angezeigt wird. Die Punktanzahl erschwert die Differenzierung der Oberflächen. Die Clipping-Box ist eine große Hilfe dafür, die ermöglicht es, Volumina zu erstellen und dann nur den Teil der Punktewolke, die in diesem Volumen sind, anzuzeigen. Diese Optionen werden viel verwendet, um die richtigen Pixel für die Erstellung der Knoten der Begrenzungsflächen zu suchen.

- 1) Im rechten Menü wählen Sie die Registerkarten "Hinzufügen" und die Option "Formen"
- 2) Die Option Nr. 10 mit dem Namen "CB" ist die Clipping-Box
- 3) Klicken Sie und schieben Sie es auf den Bildschirm, verwenden Sie die unterschiedliche Ansicht, um es in der Nähe der benötigten Zone zu platzieren
- 4) Wenn Sie ausgewählt ist, ist es einfacher, die Clipping-Box nur in 2D oder mit dem Zwischenablage "5" zu verschieben.
- 5) Die grünen Pfeile werden verwendet, um die Größe und Form der Clipping-Box zu ändern, ist es möglich, es auch auf dem rechten Menü zu ändern und die mit der Registerkarte "Ändern"
- 6) Wenn sie gut positioniert ist, verwenden Sie die "Clipping-Witz-Box" im oberen Menü
- 7) Es ist möglich, mehrere Clipping-Boxen zu erstellen

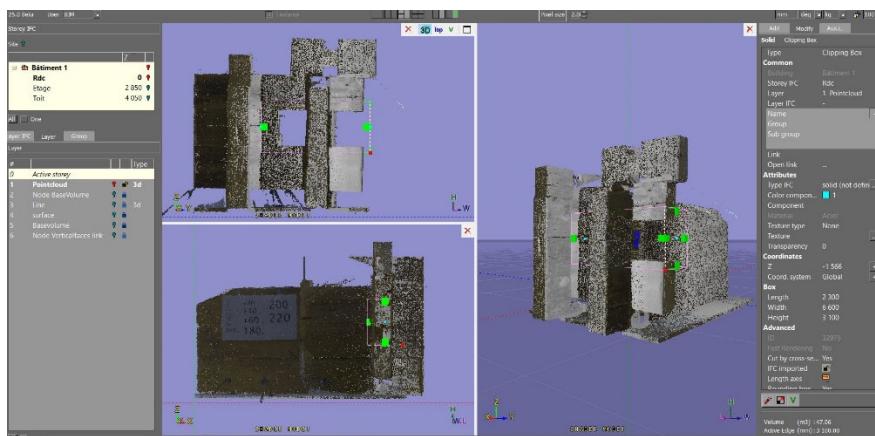


Abbildung 50: Positionierung der Clipping Box

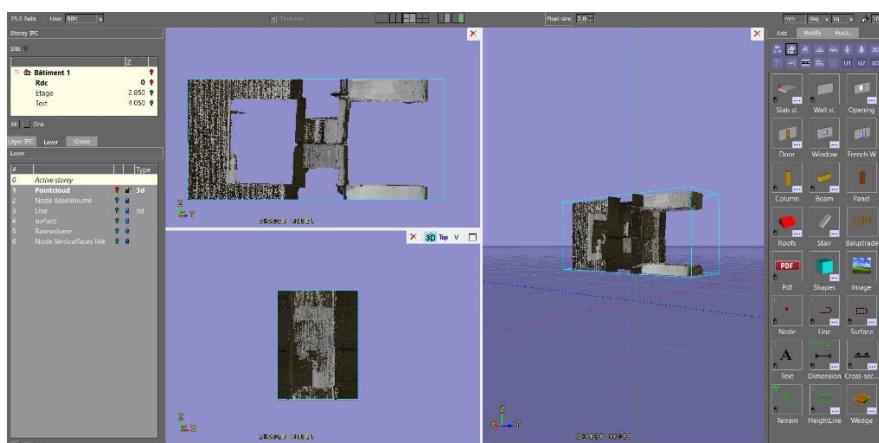


Abbildung 51: Sichtbarer Teil der Punktewolke nach Aktivierung der Clipping Box

### 9.3.8 Basis Volumen

Als Referenz wird die Rückseite und die Unterseite des Sanierungsbauteils gewählt. Die vertikalen Flächen werden zuerst definiert, die Fläche auf dem Bild wird als Beispiel verwendet.

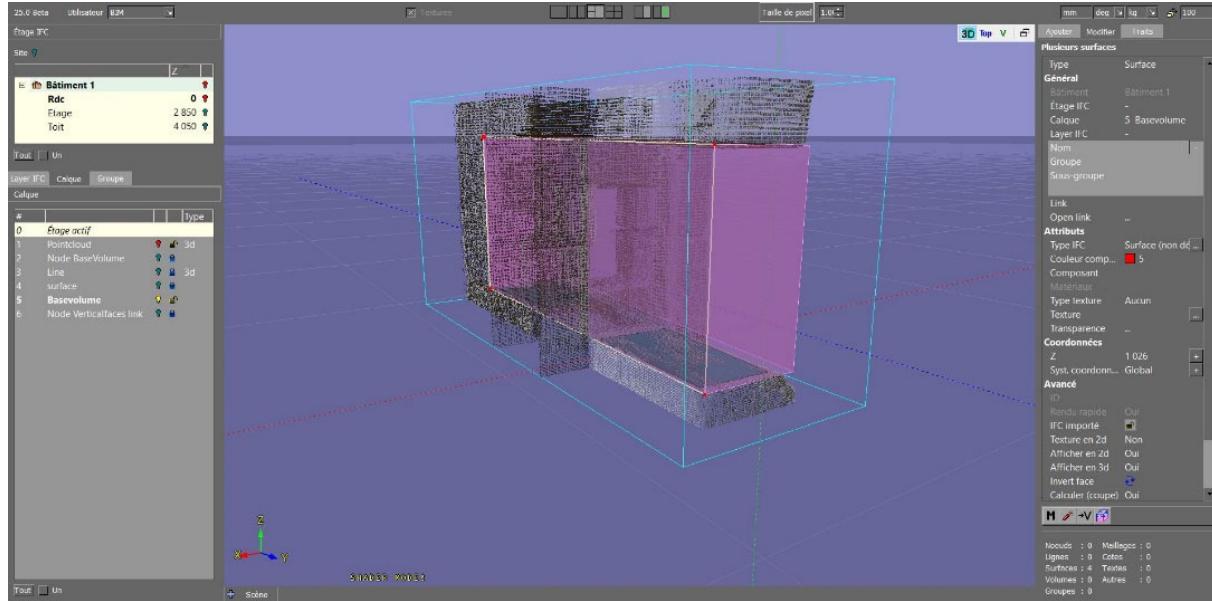


Abbildung 52: Erstelltes Basisvolumen

- 1) Erstellen Sie eine sehr schmale Clipping Box, positionieren Sie sie in der Nähe einer der Seitenkanten und machen Sie das Clipping.

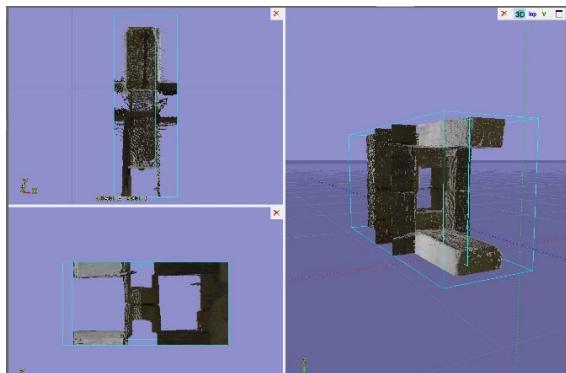


Abbildung 53: Erstellung dicke Clipping Box

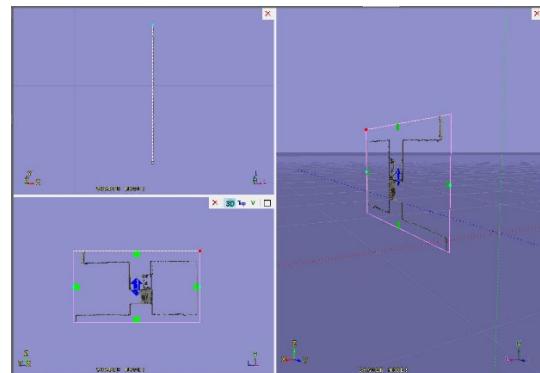


Abbildung 54: Umwandlung in dünne Clipping Box

- 2) Mit Hilfe von 2D-Ansichten erstellen Sie nun klug positionierte Knoten, um die Kanten zu definieren. Machen Sie das gleiche auf den anderen Seitenkanten, um acht Punkte zu haben. Im Anschluss kehren Sie zur Ansicht der ersten Clipping-Box zurück
- 3) Mit den beiden Punkten, die auf dem unteren Teil des Stückes erstellt wurden und erstellen Sie eine Hilfslinie senkrecht zur Clipping-Box.

- 4) Erstellen Sie eine zweite Clipping-Box, parallel zu den Hilfslinien. Im unteren Teil bewegen Sie die beiden Knoten auf der Hilfslinie, bis sie genau auf den Begrenzungsflächen liegen. Tun Sie dies für alle Punktpaare.

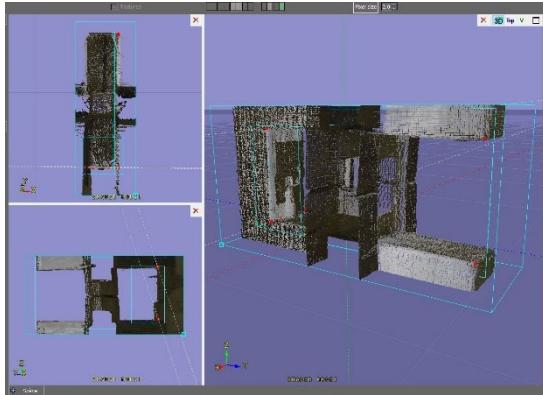


Abbildung 55: Acht erstellte Punkte

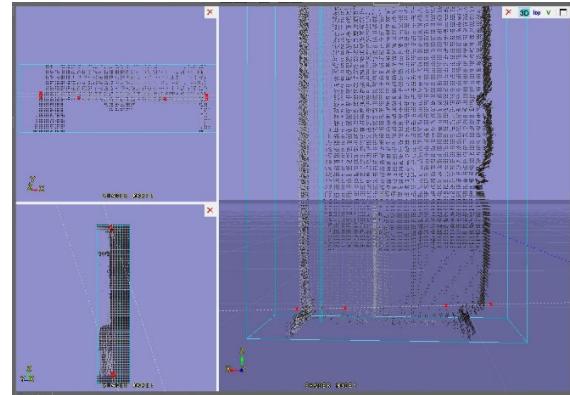


Abbildung 56: Neue Clippingbox und Knotenpositionierung an den Begrenzungsflächen

- 5) Kopieren Sie die Hilfslinie auf einen der oberen Punkte. Wenn die kopierte Hilfslinie den zweiten Knoten nicht berührt, bewegen Sie ihn auf die Linie, indem Sie ihn verschieben. Dann passen sie beide so an, dass sie genau auf den Begrenzungsflächen stehen.

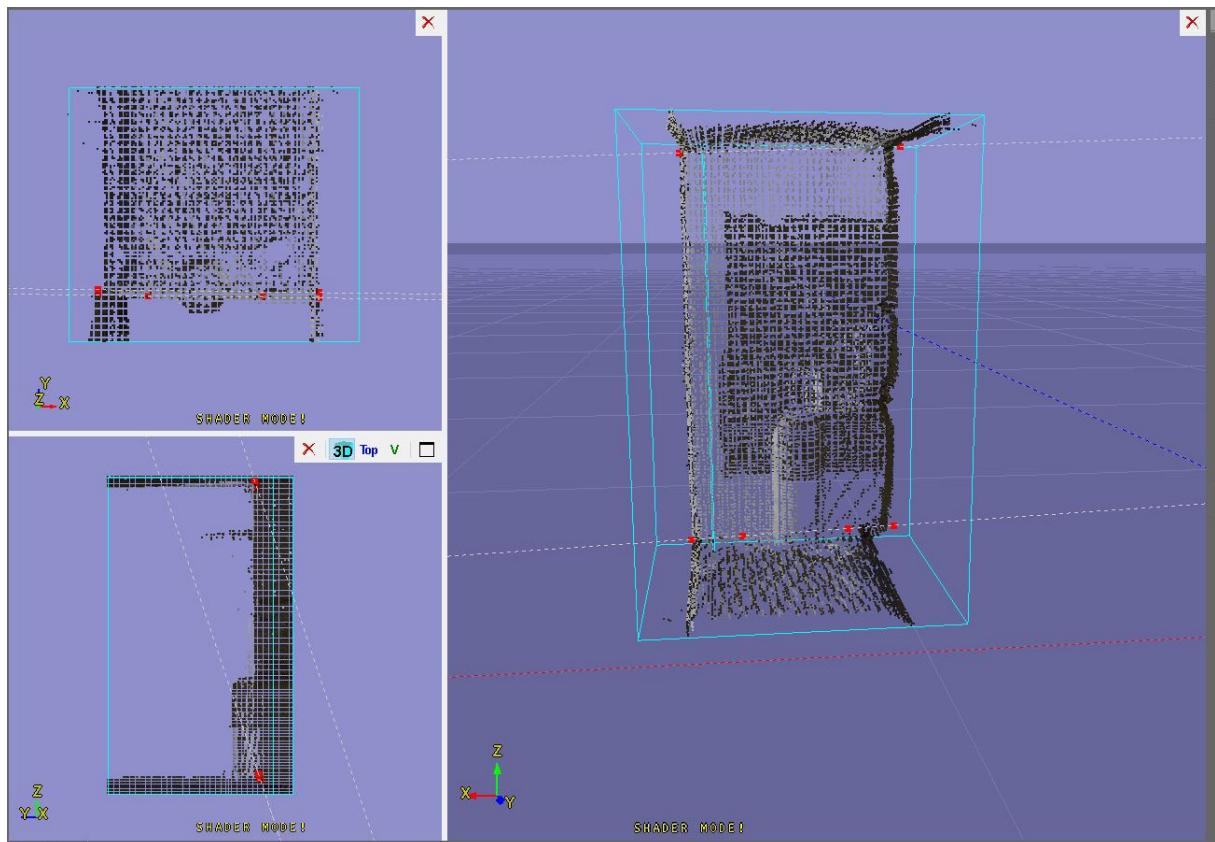


Abbildung 57: Endgültige Positionierung der Knoten an der Begrenzungsfläche

- 6) Löschen Sie alle Hilfslinien und die Anfangsknoten.

- 7) Erstellen Sie eine Hilfslinie auf der unteren Längskante zwischen den beiden Knoten.

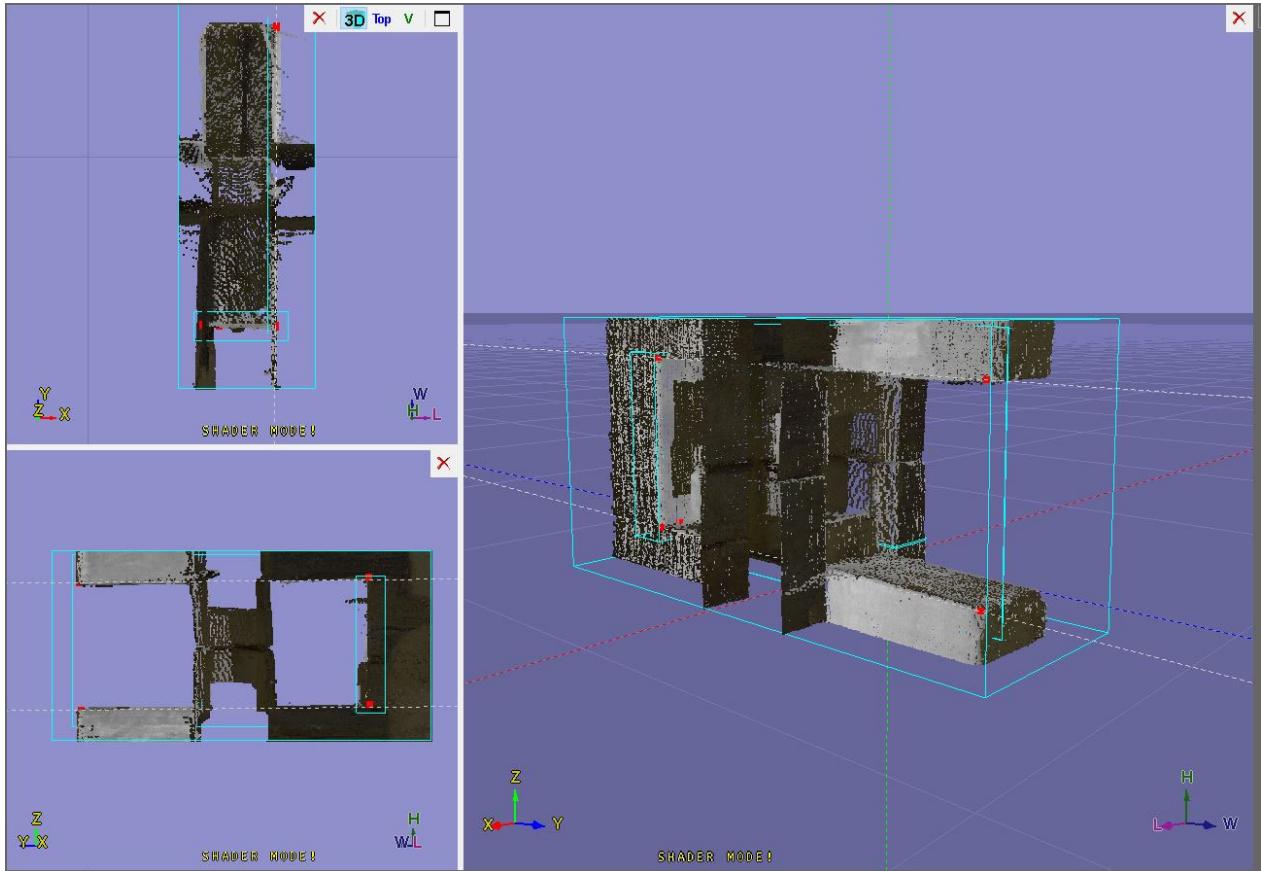


Abbildung 58: Neue Hilfslinie an der unteren Längskante

- 8) Kopieren Sie diese Linie auf den oberen Knoten auf der Rückseite auf dem Stück. Überprüfen Sie mit den 2D-Ansichten, dass die kopierten Linien nicht zu sehr vom oberen Knoten auf der Vorderseite des Stückes abweichen.

Wenn die kopierte Hilfslinie den Knoten vorne nicht berührt, bewegen Sie den Punkt auf der Linie, indem Sie ihn verschieben. Dabei ist die Lage in der Punktwolke zu kontrollieren!

- 9) Wiederholung von Punkt 8 auf der anderen Seite.
- 10) An dieser Stelle stehen acht Knoten zur Verfügung und könnten zur Erstellung des Basisvolumens verwendet werden. Doch die vier Punkte auf der Vorderseite des Stückes beschreiben keine ebene Oberfläche. Um mit diesen Punkten eine repräsentative Fläche schaffen zu können, muss ein Punkt verschoben werden. Dafür wird die unterste Hilfslinie, die durch die beiden Punkte erzeugt wird, als Referenz gewählt und auf einen der oberen Punkte kopiert, dann kann der letzte Punkt angepasst werden.
- 11) Mit Punkt Nr. 8 ist es nun möglich, die 4 vertikalen Oberflächen zu schaffen, die das Grundvolumen erzeugen. Erstellen Sie einen neuen Layer und legen Sie alle Punkte und Oberflächen hinein, verriegeln Sie den Layer.

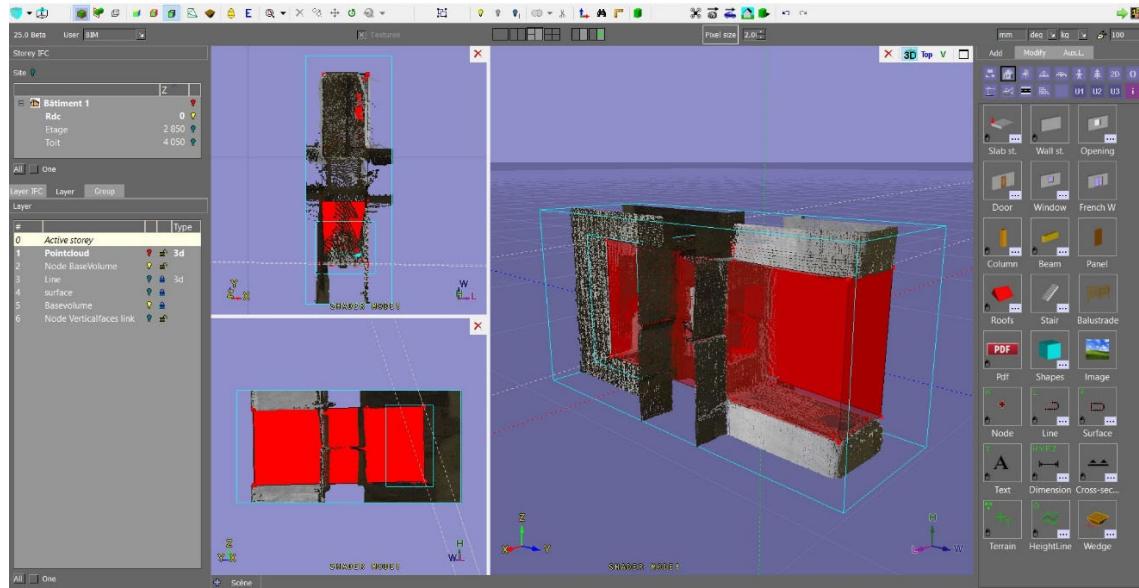


Abbildung 59: Ansicht des Basiskörpers

### 9.3.9 Schnittflächen

In diesem Teil wird beschrieben, wie die Flächen zu definieren sind (Bild unten), um daraus das Grundvolumen auf die endgültige Geometrie des Sanierungsbauabschnitts zuzuschneiden. Sie besteht aus vier großen horizontalen Flächen (oben und unten des Volumens) und allen Kontaktflächen der Verbindung.

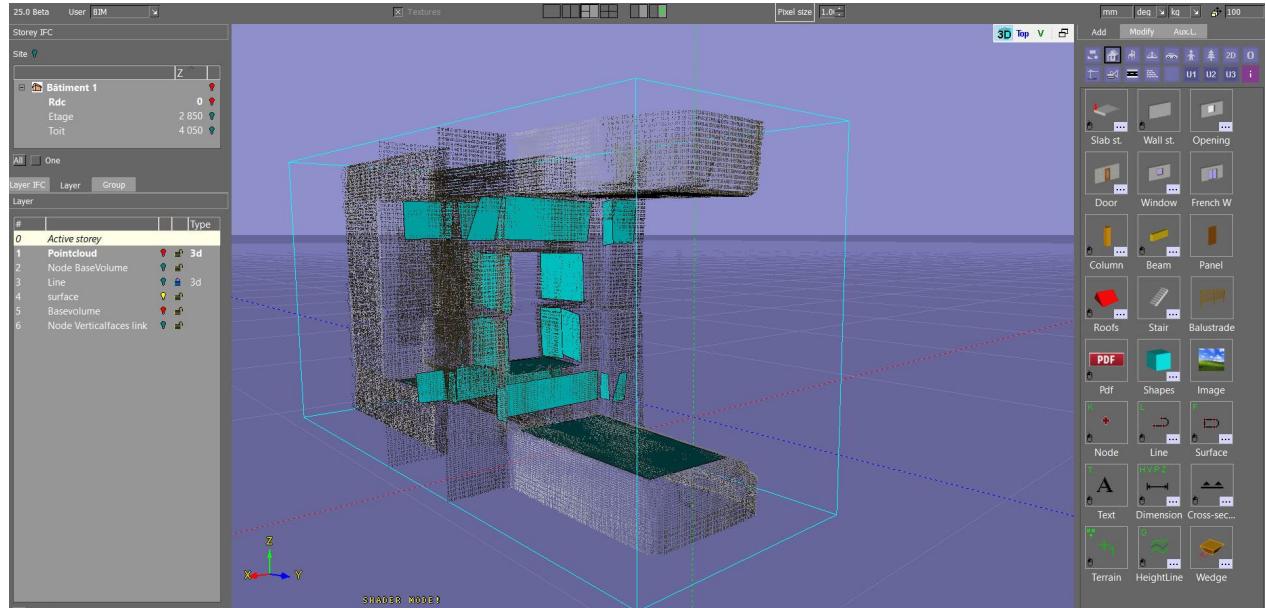


Abbildung 60: Kleine Kontaktflächen

Das Verfahren ist sehr ähnlich derer des Grundvolumens. Das Erstellen der folgenden Fläche wird als Beispiel verwendet.

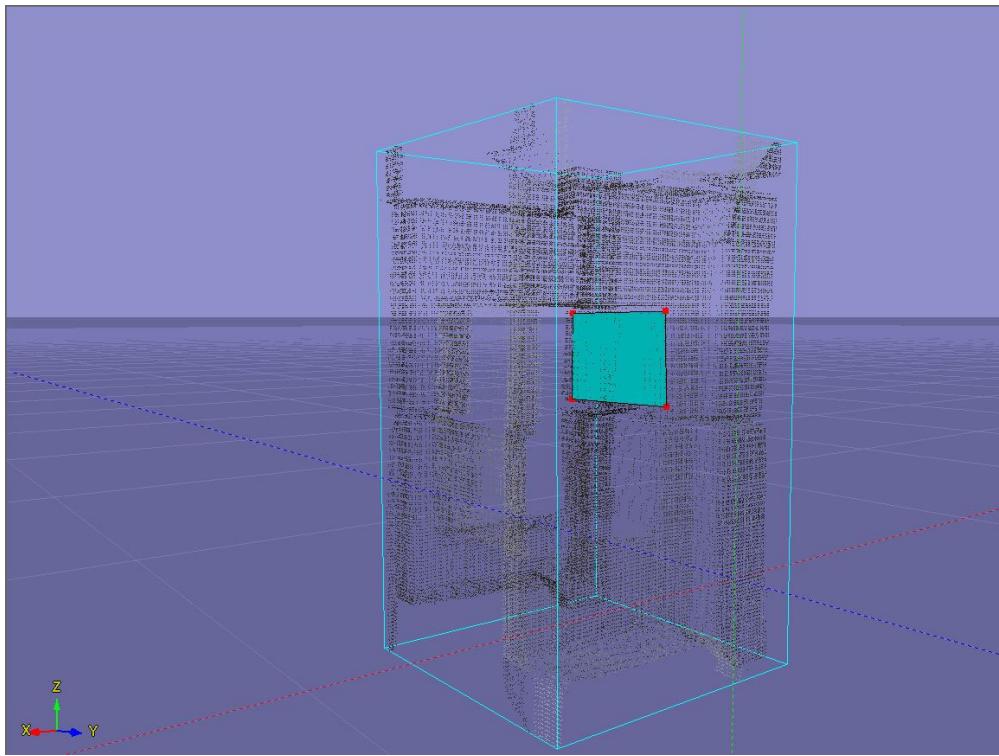


Abbildung 61: Ansicht der Beispiel-Kontaktfläche

- 1) Erstellen Sie eine dünne Clipping Box senkrecht zur untersuchten Oberfläche (immer zwei Orientierungen möglich, wählen Sie die geeignete).
- 2) Positionieren Sie die Clipping Box an einem Rand der Fläche. Für die Positionierung verwenden Sie die 2D-Ansicht.
- 3) Machen Sie das Clipping und erstellen Sie ein Knotenpaar A, mit dem es möglich ist, eine entsprechende Linie der Fläche zu beschreiben.

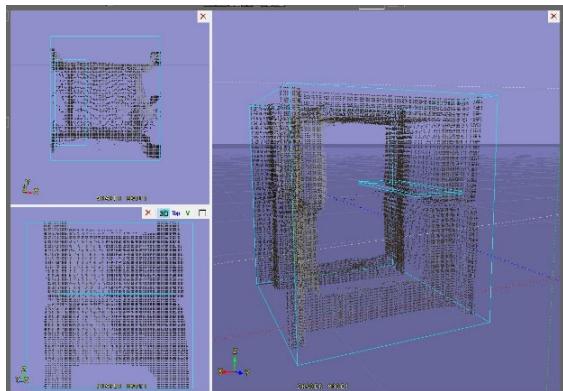


Abbildung 62: Erste Clipping Box

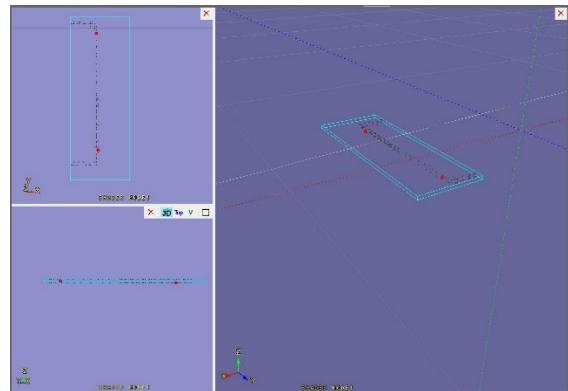


Abbildung 63: Sicht aus der Clipping Box

- 4) Bewegen Sie die Clipping Box zur anderen Seite der Fläche und wiederholen Sie Punkt 3.
- 5) Wählen Sie ein Knotenpaar B (senkrecht zur Clipping Box), das die Referenz für die Fläche sein wird. Erstellen Sie eine Zusatzlinie mit dem Knotenpaar.
- 6) Kopieren Sie die Linie auf einen der Punkte des Knotenpaares A. Überprüfen Sie, dass die Linie nicht zu sehr vom letzten Punkt abweicht. Wenn es der Fall ist, passen Sie die Wahl der Knoten an.

- 7) Wenn die Linie den letzten Punkt nicht berührt, passen Sie ihn so an, damit er auf der Linie ist.
- 8) Erstellen Sie eine Fläche mit den vier Knoten aus Knotenpaar A und B.

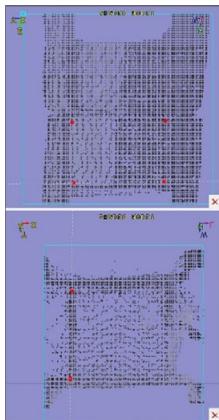


Abbildung 64: Vier Punkte der Kontaktfläche

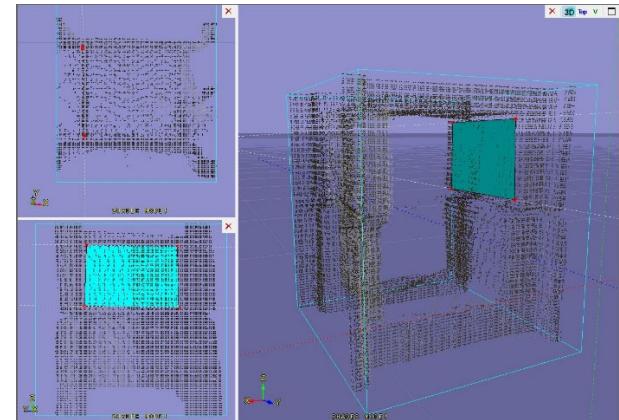


Abbildung 65: Kontaktfläche

- 9) Legen Sie alle Punkte und erstellte Flächen in einen neuen Layer, um sie zu „verstecken“.

Der Hauptunterschied zur Methode mit dem Grundvolumen ist, dass es mit der vorliegenden Methode nicht notwendig ist, dass sich die Punkte an den Ecken der Fläche befinden. Die erzeugten Flächen müssen nur repräsentativ für die Geometrie sein, dafür ist eine visuelle Kontrolle mit der Punktewolke sinnvoll. Manchmal ist die erste Wahl für die Ausrichtung der Clipping-Box nicht die geeignete, um ein gutes Ergebnis zu erzielen; es kann gut sein, beide Orientierungen zu überprüfen. Es kann vorkommen, dass in spitzen Ecken und versteckten Stellen der Scan nicht genau ist oder Schatten falsche Punkte erzeugt haben. Aus diesen Gründen sind die besseren Punkte, um Knoten zu erstellen, nicht unbedingt nahe dem Flächenrand; die Positionierung der Clipping-Box ist auch hier wichtig.

### 9.3.10 «Cadwork 3D » Zeichnungen

Der Export von «Lexocad » in «Cadwork 3D » ist einfach. Wählen Sie das zu exportierende Objekt und klicken Sie auf das "Cadwork 3D"-Symbol, oben rechts im Fenster. Alle ausgewählten Elemente werden nun kopiert. Öffnen Sie eine neue 3D-Cadwork-Datei und fügen Sie sie ein.

Vor dem Export kann es sinnvoll sein, verschiedene Farben für die verschiedenen Gruppen von Gegenständen (Grundvolumen, horizontale Oberfläche, Kontaktfläche,...) zu vergeben.

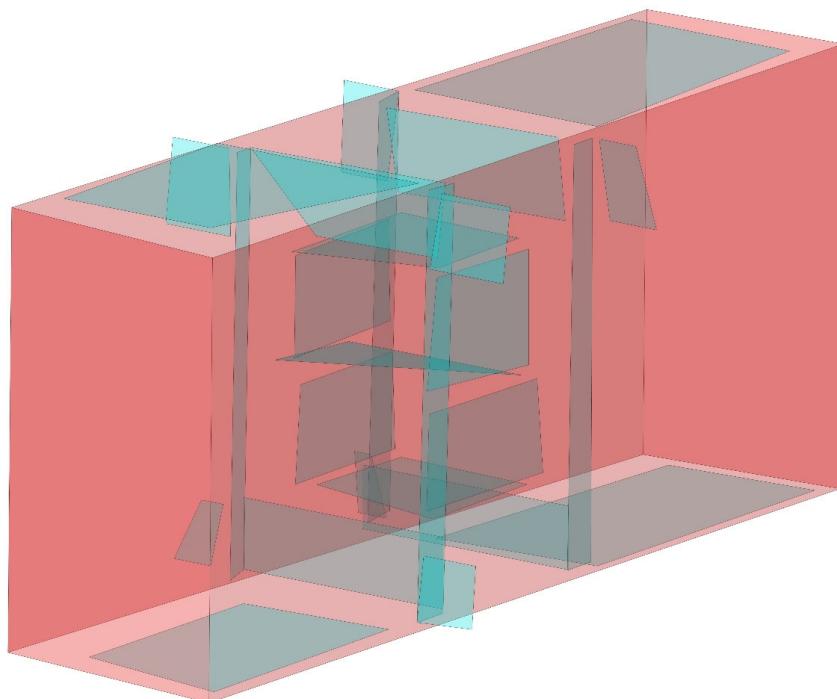


Abbildung 66: Exportobjekt aus «Lexocad » bestehend aus Rohvolumen und Pointcloud-Flächen

Die allgemeine Idee der Methode in «Cadwork 3D » ist es, ein großes Volumen rund um das aus «Lexocad » importierte Basisvolumen zu erstellen. Mit allen Begrenzungsflächen wird das Volumen geschnitten, um die Geometrie zu erhalten.

- 1) Messen Sie zwei Kanten des Grundvolumens
- 2) Fügen Sie einen rechteckigen Stab ein, der etwas größer ist als das Grundvolumen

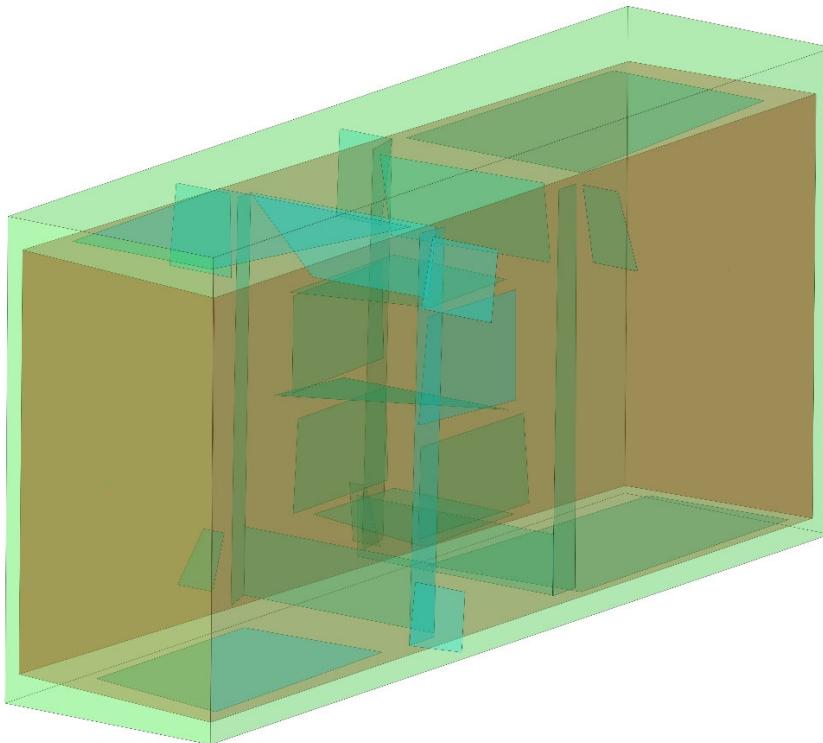


Abbildung 67: Zugeschnittenes Rohvolumen gemäss den Pointcloud-Flächen

- 3) Beginnen Sie mit dem Schnitt des Balkens mit den Grundvolumen-Flächen, indem Sie den Shortcut / Tastaturkürzel "C + D" benutzen
- 4) Löschen Sie die geschnittenen Teile nicht direkt, blenden Sie sie aus. Das erlaubt eine weitere Überprüfung vor dem Löschen.
- 5) Fahren Sie fort mit den Begrenzungsflächen der Verbindung. Die Reihenfolge des Schneidens kann das Ergebnis beeinflussen, es ist wichtig, beim Löschen von Schnittflächen konsequent zu bleiben.
- 6) Wenn jede Oberfläche verwendet wurde, wird der Stab in viele Stücke zerteilt sein. Verwenden Sie die Option "Verbinden", um alles wieder zu einem Stab zu verbinden.

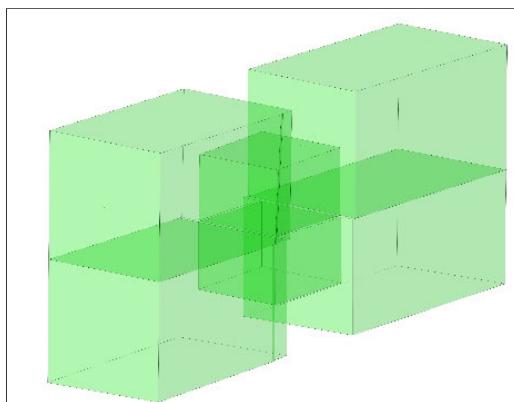


Abbildung 68: Zwischenschritt

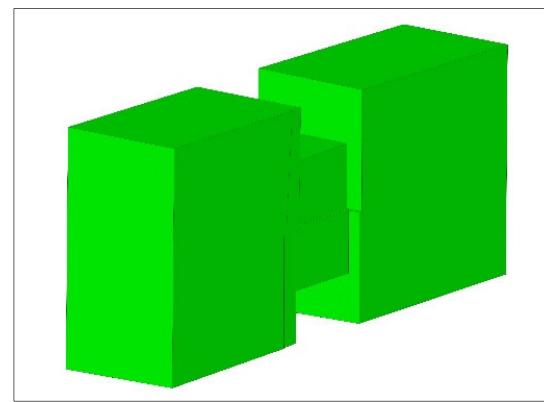


Abbildung 69: Zugeschnittenes und verschweisstes Bauteil

- 7) Das Stück muss auf die richtige Größe skaliert werden. Messen Sie am realen Stück eine Referenzlänge, um die Skalierung der Zeichnung zu kontrollieren.

An dieser Stelle ist es sinnvoll, eine Analyse des gezeichneten Stückes zu machen. Prüfen Sie, ob die entstandene Geometrie Sinn macht und der Realität entspricht. Bilder und Masse sind dafür nützlich, wenn das eigentliche Stück nicht verfügbar ist.

Einige Vereinfachungen können entsprechend der realen Geometrie vorgenommen werden. Zum Beispiel können einige Flächen leicht verschoben werden, um zusammen zu passen. Das kann erforderlich sein, wenn es einen kleinen Offset durch die Punktewolke-Analyse oder die reale Geometrie(hier: verschobene Block-Bohlen) gibt. Diese Modifikationen müssen mit dem realen Stab übereinstimmen. Ziel dieser Modifikationen ist es, die Produktion mit der CNC zu erleichtern und zu optimieren.

In diesem Fall wurde festgestellt, dass sich die Balken um das fehlende Teil herum leicht verschoben haben (weil es sich um eine Reproduktion handelt). Diese Verschiebung erzeugte einen Offset in X und Y-Richtung, der nach dem „Schweißen“ deutlich sichtbar ist.

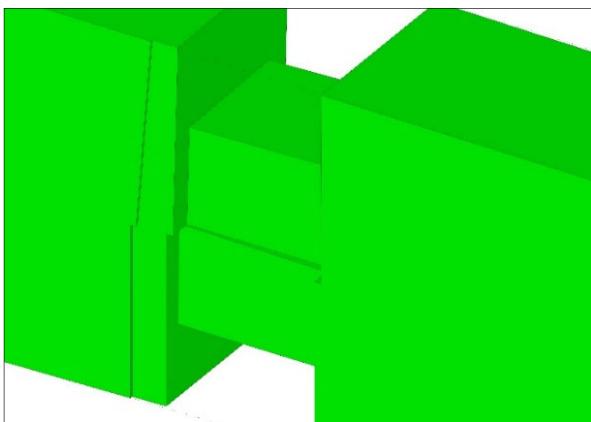


Abbildung 70: sichtbarer Offset in der Axometrie

Diese Offsets wurden entfernt, indem die Schnittflächen bewegt wurden, um sie gegeneinander auszurichten. Um diesen Schritt korrekt auszuführen, ist es notwendig, Referenzflächen zu definieren (hier: Boden und Rücken), um beim Bewegen der Oberflächen einen logischen Weg beizubehalten. Dann wieder mit dem Grundvolumen (Ref. Punkt 1.) beginnen und mit den Schnittflächen schneiden. Nachdem alle Oberflächen verwendet wurden, um das Volumen zu schneiden, wurde der verbleibende Offset entfernt, indem einige Flächen nach den gleichen Referenzflächen gedehnt wurden. Diese Korrekturmethode ist in der Lage, die Geometrie auszurichten und zu vereinfachen, aber auch in der Lage, das Volumen realistisch zu halten, wie es ursprünglich von der Punktewolke beschrieben wurde.

Das folgende Bild zeigt das Ergebnis nach dem Verschieben der Flächen und das Ergebnis nach dem Dehnen einiger Flächen, um den restlichen Offset zu entfernen.

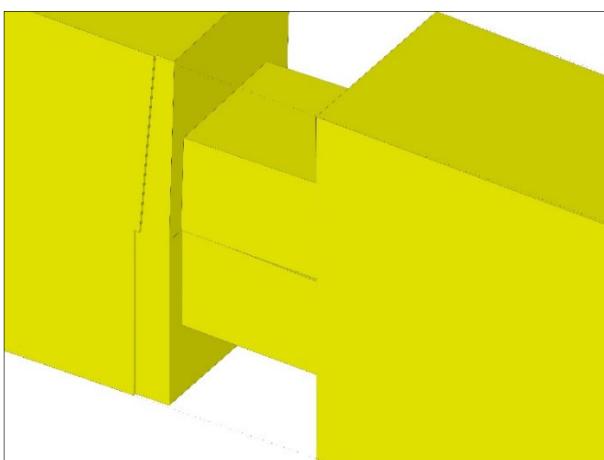


Abbildung 71: noch sichtbarer Offset

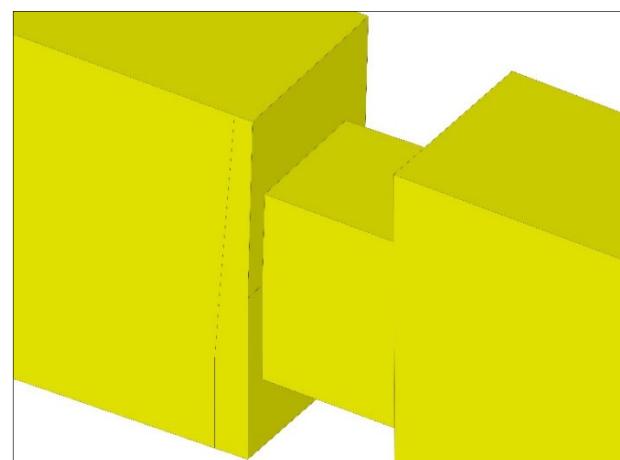


Abbildung 72: kein Offset nach Verschieben der Flächen

## 9.4 Scan mit Handscanner «Creaform Handyscan 700» und Konstruktion am Gitternetzes in «Cadwork 3D»

### 9.4.1 Verwendetes Gerät

Das im Folgenden verwendete Drahtmodell wurde mit dem Gerät «Creaform Handyscan 700» erzeugt. Die Anwendung des Geräts erfolgte freundlicherweise durch die Firma C+E Forum, Pratteln.



Abbildung 73: Verwendetes Gerät: Creaform Handyscan 700

Das Data Sheet des «Handyscan 700» befindet sich in Anhang 15.

### 9.4.2 Vorgehen

Zu Vergleichszwecken wurde hier das Drahtmodell betrachtet und bearbeitet. Es ist seitens Gerät/ Software natürlich ebenfalls möglich, eine Punktwolke zu liefern. Das Programm VXElements liefert ein Drahtmodell/ Mesh mittels .stl Schnittstelle.

Nun gibt es 2 Möglichkeiten:

- Erstellung des Sanierungsstückes in «Cadwork 3D» oder alternativ
- Umwandlung des Drahtmodells via Drittprogramm in Volumenmodell, von welchem Bereiche ein- und ausgeblendet werden können (analog Pointcloud in «Lexocad»). Diese Variante wird in Kapitel 0 erläutert.

### 9.4.3 Ziel

Das Ziel entspricht dem der Methode, welche die Punktwolke verarbeitet (Kapitel 9.3.3). Hier werden die Daten des handgeführten Scanners Creaform Handyscan verwendet.

### 9.4.4 Generelle Aussagen zur Methode

Das Creaform-Gerät stellt eine ".stl"-Datei zur Verfügung. Dies ist ein 3D-„Show“-Objekt, welches «Cadwork 3D» importieren kann. Aus diesem Grund wird diese Methode ausschließlich in «Cadwork 3D» durchgeführt.



Abbildung 74: Drahtmodell/ Mesh des Scans mit «Handyscan 700»

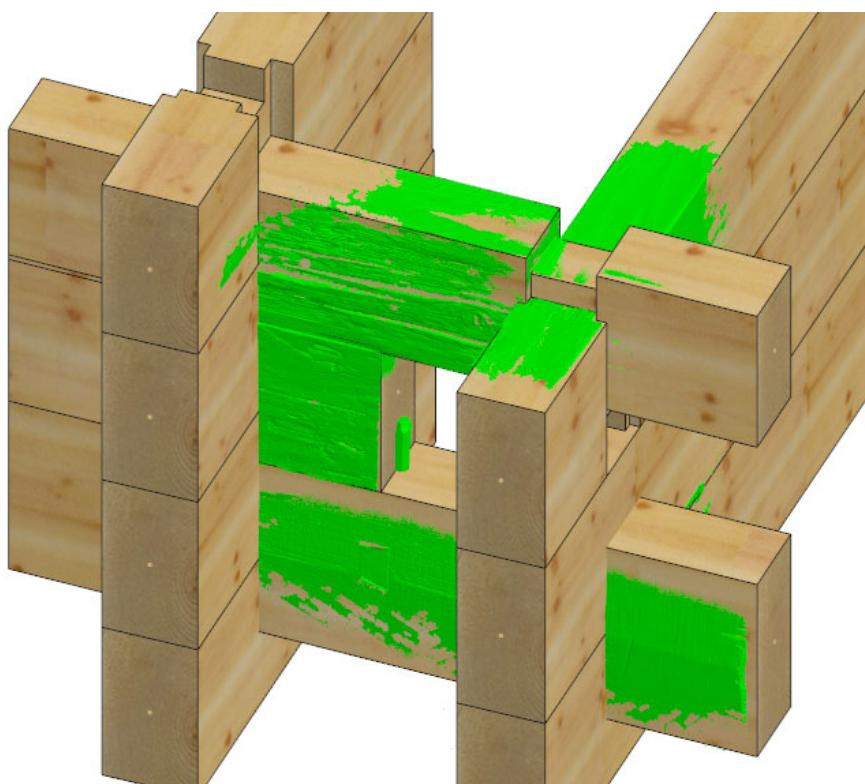


Abbildung 75: Passgenauigkeit des Drahtmodells gegenüber manuell aufgenommenem Modell

Wenn der Scan (.stl) in «Cadwork 3D» geöffnet wird, erscheint er als ein Netz. Das Netz selbst ist in «Cadwork 3D» ein gesperrtes 3D-Objekt; es kann nicht verändert werden, aber die Knoten des Netzes können wie Punkte verwendet (=gegriffen) werden. Die Methode zur Erstellung eines neuen Volumens (=Sanierungsstück) ist sehr einfach: Linien und Flächen werden direkt auf das Netz gezeichnet. Dafür wird der gleiche Prozess wie beim Leica-Scan verwendet: Es entsteht ein Grundvolumen, welches dann mit den mittels dem Netz gewonnenen Flächen verschnitten wird.

Die größte Herausforderung bei der Verarbeitung des Mesh ist die Visualisierung des Mesh selbst. Da es nicht möglich ist, es zu verändern bzw. Bereiche ein- und auszublenden, ist es schwierig zu erkennen, wo sich die gewünschten Knoten befinden. Es ist nicht möglich, Clipping-Boxen zu erstellen, das Netz zu schneiden oder es zu färben, um die Visualisierung zu erleichtern. In «Cadwork 3D» gibt es verschiedene Darstellungen des Netzes: Das transparente Drahtmodell oder das Shading (undurchsichtig). Das transparente Drahtmodell ist nützlich, um einen Punkt auf einer scharfen Kante zu finden, aber schwer zu verwenden, um eine Fläche zu wählen. Das Shading ist besser geeignet, einen Überblick über den Scan zu haben und die erstellten Flächen anzupassen.

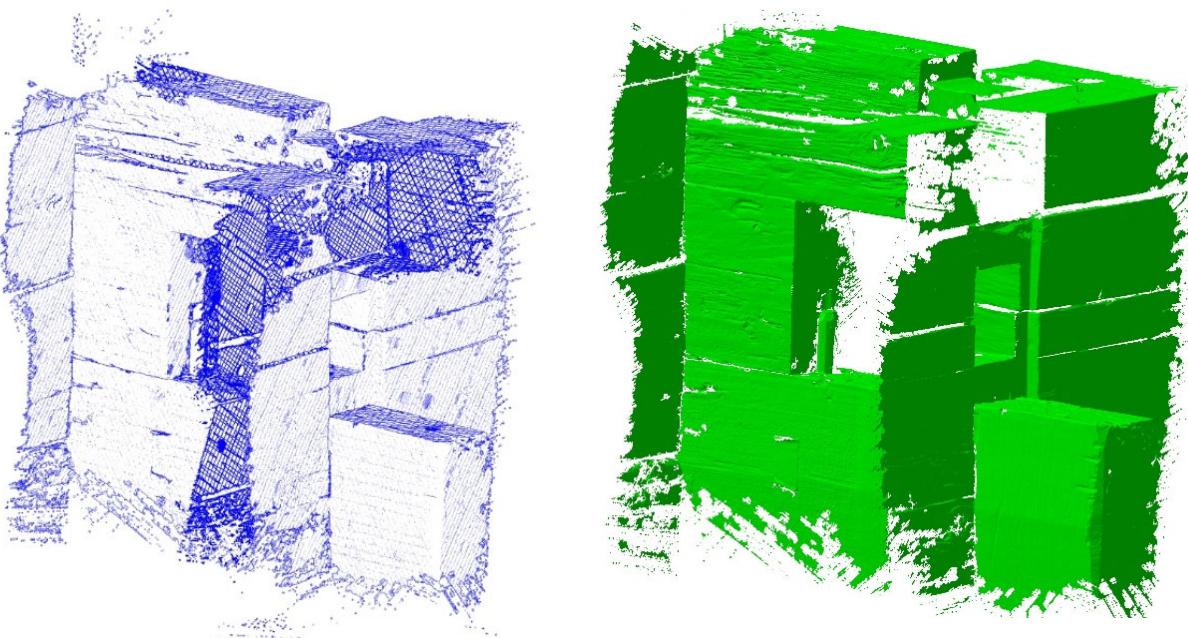


Abbildung 76: Transparentes Drahtmodell und Shading

Wie bereits beschrieben, können in «Cadwork 3D» nur ebene Flächen entstehen. Aus diesem Grund war direkte Verwendung der „fliegenden“ Punkte des Gitternetzes nicht möglich. Parallellinien werden eingesetzt, um damit eine Fläche zu schaffen.

Nach diesen Feststellungen zeigte sich als der beste Weg, das Netz zu verarbeiten, zwei Punkte auf einem Rand der Oberfläche des Netzes mit Hilfe des transparenten Drahtmodells zu schaffen. Dann wurde diese Linie auf den anderen Rand der Oberfläche kopiert. Die beiden Linien werden dann zur Erstellung einer Schnittfläche verwendet. Die Schnittfläche wird dann über das Shading durch Drehen und Bewegen der Oberfläche eingestellt.

#### 9.4.5 Öffnung und Import des Gitternetzes:

- Öffnen Sie eine neue „Cadwork 3D“-Datei
- Im Importmenü wählen Sie "Objekt anzeigen" und dann ". stl "
- Gehen Sie in "die Grafik-Optionen", deaktivieren Sie den "Expertenmodus" und aktivieren Sie in "Weiteres" die "Boundingbox-Selektion für Show Objekt". Das erlaubt dem Benutzer die Verwendung der Knoten des Netzes zu Erstellung von Linien oder Punkten.
- Falls die Ausrichtung des Netzes nicht optimal ist, ist die zu drehen, um eine gute Position für die Weiterbearbeitung zu bekommen.
- Mit der Funktion "Globale Grösse" kann das Netz auf die richtige Größe skaliert werden.

#### 9.4.6 Erstellen von Schnittflächen

In diesem Teil wird die Methode beschrieben, um die Flächen zu definieren (Bild unten), welches verwendet werden, um das Grundvolumen auf die endgültige Geometrie des fehlenden Teils zu schneiden. Es besteht aus vier grossen horizontalen Flächen (oben und unten des Volumens) und allen Kontaktflächen der Verbindung.

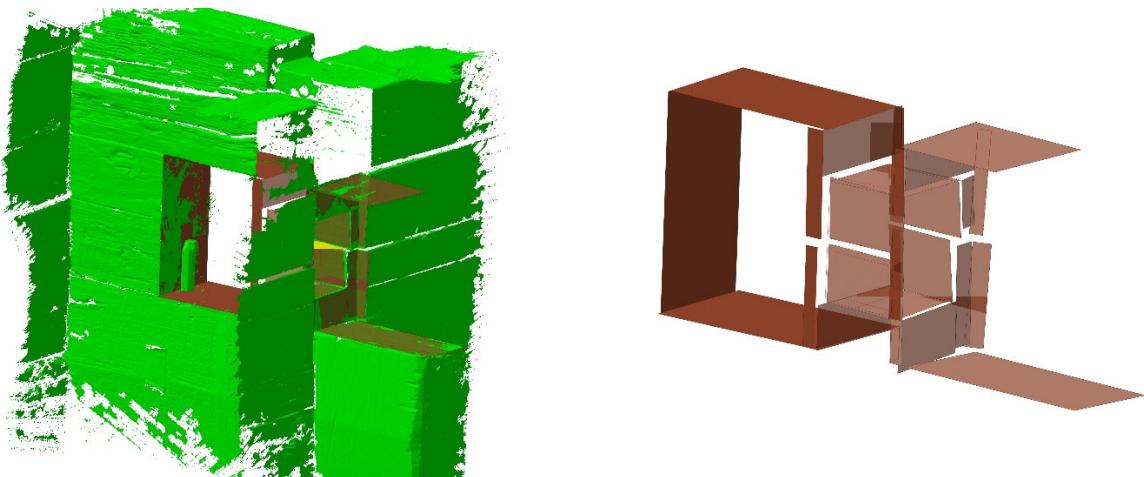


Abbildung 77: Konstruierte Begrenzungsflächen zum späteren Verschneiden des Rohvolumens des Sanierungsstückes

Als Beispiel wird die folgende Fläche dienen.

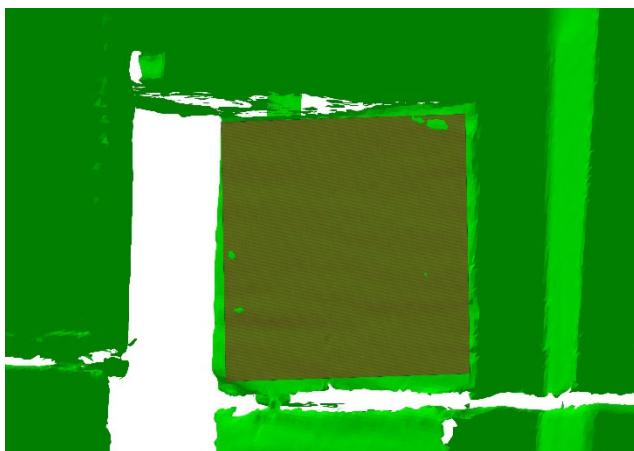


Abbildung 78: markierte Beispieldfläche des Mesh

- 1) Verwenden Sie das Shading, um einen guten Blick auf eine der scharfen Kanten der Oberfläche zu erhalten.
- 2) Wechseln Sie zum transparenten Drahtmodell, um einen Punkt der richtigen Kante auszuwählen.

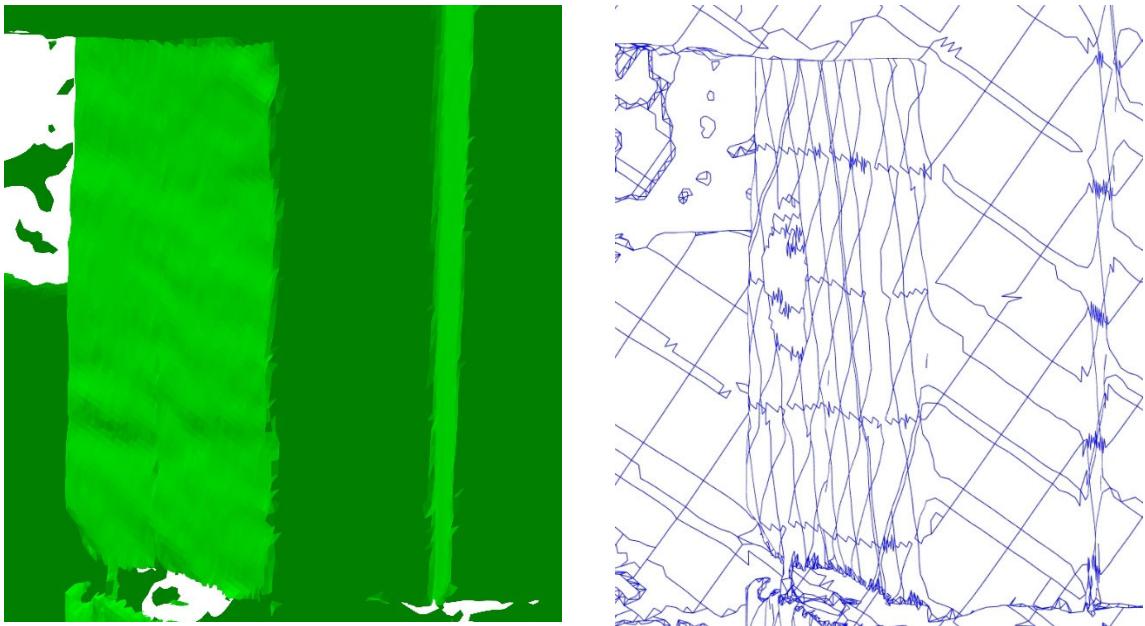


Abbildung 79: Ansicht der Beispielfläche im Shading(links) und im transparenten Drahtmodell(rechts)

- 3) Drehen Sie das Modell, um den zweiten Punkt der Kante zu greifen.
- 4) Wechseln Sie in die Shading-Ansicht, um zu überprüfen, ob die Linie der Kante entspricht.
- 5) Kopieren Sie die Linie und bewegen Sie das Modell, um einen guten Blick auf den anderen Rand der Oberfläche zu bekommen.
- 6) Wechseln Sie auf die transparente Ansicht, um einen Punkt am Rand auszuwählen, an den die Linie kopiert werden soll.
- 7) Erstellen Sie eine Fläche aus den beiden Linien.



Abbildung 80: Zwei Hilfslinien (links, nicht sichtbar) und daraus erstellte Fläche(rechts)

An dieser Stelle wird eine Fläche geschaffen, aber es ist möglich, dass sie deutlich vom Mesh abweicht. Die Aufgabe besteht nun darin, die Fläche an das Mesh anzupassen.

Die einzige Möglichkeit, dies zu tun, ist, die Visualisierung zu nutzen, um den Bereich zu identifizieren, in dem die geschaffene Fläche das Netz überschneidet. Danach ist es möglich, die Fläche zu drehen, um sie anzupassen.

- 1) Die Oberfläche gegen das Netz bewegen, bis sich die Fläche annähernd mit dem Mesh deckt. Verwenden Sie dafür die Shortcuts "5"- "B", so dass sich die Fläche in ihrem normalen Vektor bewegt.
- 2) Kontrollieren Sie, ob der Winkel der Fläche stimmt: Wenn die Fläche mit dem Mesh auf der rechten/linken/unteren Seite deckt, bedeutet das, dass es nicht in der gleichen Ausrichtung wie das Mesh befindet.

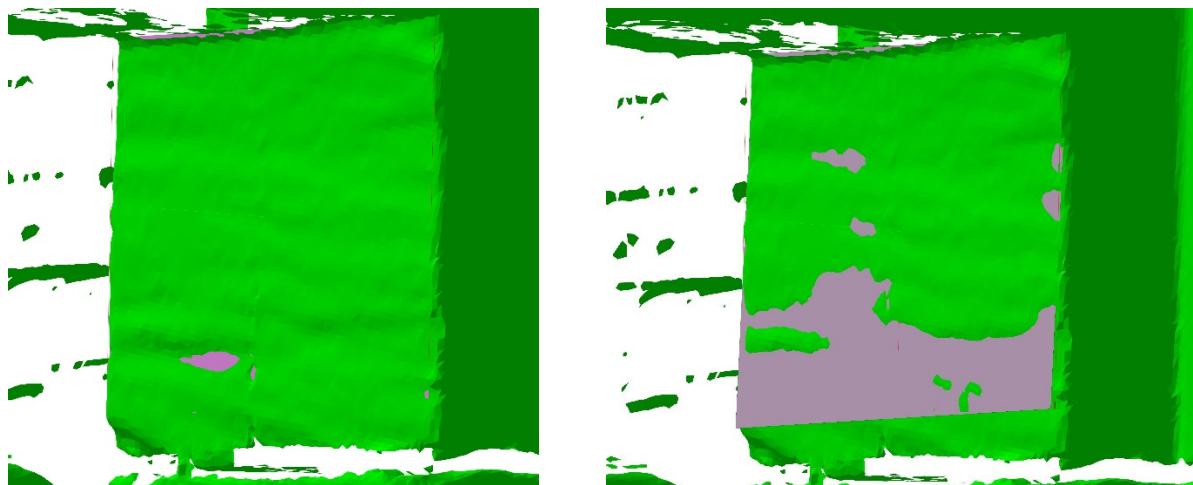


Abbildung 81: Verschieben und Rotieren der Fläche bis zur besseren Übereinstimmung

- 3) Korrigieren Sie bei Bedarf die Ausrichtung der Fläche, dafür verwenden Sie Shortcut "4" und wählen Sie eine Kante der Fläche als Rotationsachse.
- 4) Wenn eine gute Orientierung gefunden ist, bewegen Sie die Fläche zurück, bis sie das Netz nur leicht überschneidet.

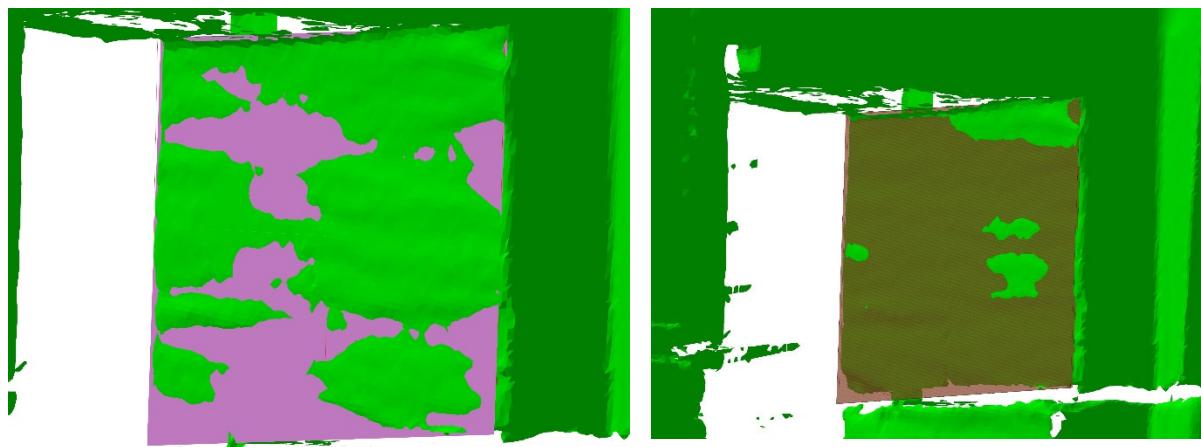


Abbildung 82: Verschieben und Rotieren der Fläche bis zur guten Übereinstimmung

- 5) Wiederholen Sie diese Schritte, bis das Ergebnis zufriedenstellend ist.

Alle „nützlichen“ Flächen des Meshes werden auf diese Art verwendet, um alle benötigten Flächen des fehlenden Balkens zu erhalten. Es ist gut, wenn man bei der Zeichnung dieser Flächen etwas Toleranz einkalkuliert.

## 9.5 Scan mit 3D-Laserscanner «Leica RTC360» und Konstruktion an der Punktwolke in Rhinoceros und «Cadwork 3D»

### 9.5.1 Ziel

Nach den Versuchen mit «Cadwork 3D» und «Lexocad» wird hier die Daten-Bearbeitung mit Rhinoceros beschrieben. Es ist eine sehr komplexe Software mit vielen Plugins und besitzt vielleicht die beste Kompatibilität mit anderen Softwares. Hier werden nur die grundlegenden Rhinoceros-Optionen verwendet, um die Machbarkeit der Methode mit der von «Lexocad»/«Cadwork 3D» zu vergleichen.

### 9.5.2 Generelle Aussagen zur Methode

Rhinoceros bietet viele gute Möglichkeiten Punktwolken zu verarbeiten. Es ist im Grunde dafür gemacht und die Kompatibilität dieser Software mit anderen eröffnet viele Möglichkeiten. Der Einsatz von Rhinoceros erweist sich als wesentlich effizienter als der Einsatz von «Lexocad» und «Cadwork 3D».

### 9.5.3 Beschreibung der Methode

Es wird die gleiche Datengrundlage verwendet wie für die Bearbeitung mit Lecocad; eine Punktwolke, welche mittels dem „Leica RTC360“ erstellt wurde. „Rhinoceros 3D“ bietet viel mehr Möglichkeiten für 3D-Zeichnung und Datenverwaltung im Vergleich zu «Lexocad».

Zunächst ist es mit dieser Software überhaupt einmal möglich, die Punktwolke selbst zu modifizieren. Auf diese Weise ist es möglich, die Datenmenge in der Punktwolke zu reduzieren, indem man alle Teile löscht, die nicht benötigt werden. Es erleichtert die Analyse der vorhanden Datenbasis.

Die Methode ist im Grunde die gleiche wie zuvor: Auf der Punktwolke werden repräsentative Oberflächen gesucht, um die Geometrie des Balkens so genau wie möglich zu beschreiben.

Dann wird ein Volumen durch Verschneiden dieser Flächen erstellt.

Zu erwähnen ist das Tool namens "PlaneThroughPoint". Dieses Werkzeug schafft selbstständig eine plane Fläche, die am besten mit den ausgewählten Punkten übereinstimmt.

Damit lassen sich alle Arbeiten, die in «Lexocad» gemacht werden müssen, um eine Oberfläche aus vier Punkten zu schaffen, vermeiden. Einzig erforderlich ist, eine gute Auswahl der Punkte zu haben.

Nachdem die Flächen definiert sind, ist die Erstellung des Volumens auch in Rhinoceros mit dem Werkzeug "CreateSolid" eine leichte Aufgabe. Es entsteht ein mehrflächiger Volumenkörper aus der Verschneidung der Flächen. Das Volumen kann nun direkt in «Cadwork 3D» als ".3dm"-Datei exportiert werden. Die Kompatibilität ist perfekt und ermöglicht es, den Prozess in «Cadwork 3D» fortzusetzen, die Anschlüsse zu zeichnen und das Balkenvolumen für die CNC-Produktion vorzubereiten.

### 9.5.4 Öffnen und Import der Punktewolke/ Pointcloud

Diese Schritte sind einfach und brauchen keine besonderen Tricks:

- 1) Öffnen Sie eine neue „Rhinoceros 3D“-Datei
- 2) Importieren Sie die Pointcloud als ".pts"-Datei. Dieses Format ist direkt nach dem Scannen verfügbar.
- 3) In dieser Phase ist es möglich, die Pointcloud direkt zu skalieren mit der Option "Scale". Mit einer Referenzlänge kann der Skalierungsfaktor gefunden werden.
- 4) Es ist nun möglich, die Punktewolke in 3D zu betrachten, die Größe der Pixel zu ändern und den Bildschirm in verschiedenen Ansichten 2D und 3D zu trennen.
- 5) Die Punktewolke wird als Block importiert. Um sie verändern zu können, ist es notwendig, sie zu zerlegen. Wählen Sie sie an und verwenden Sie "Explode". Die Punkte sind nun individuell wählbar.
- 6) Löschen Sie alle überflüssigen Teile der Punktewolke bis auf die direkte Umgebung des Sanierungsbauteils

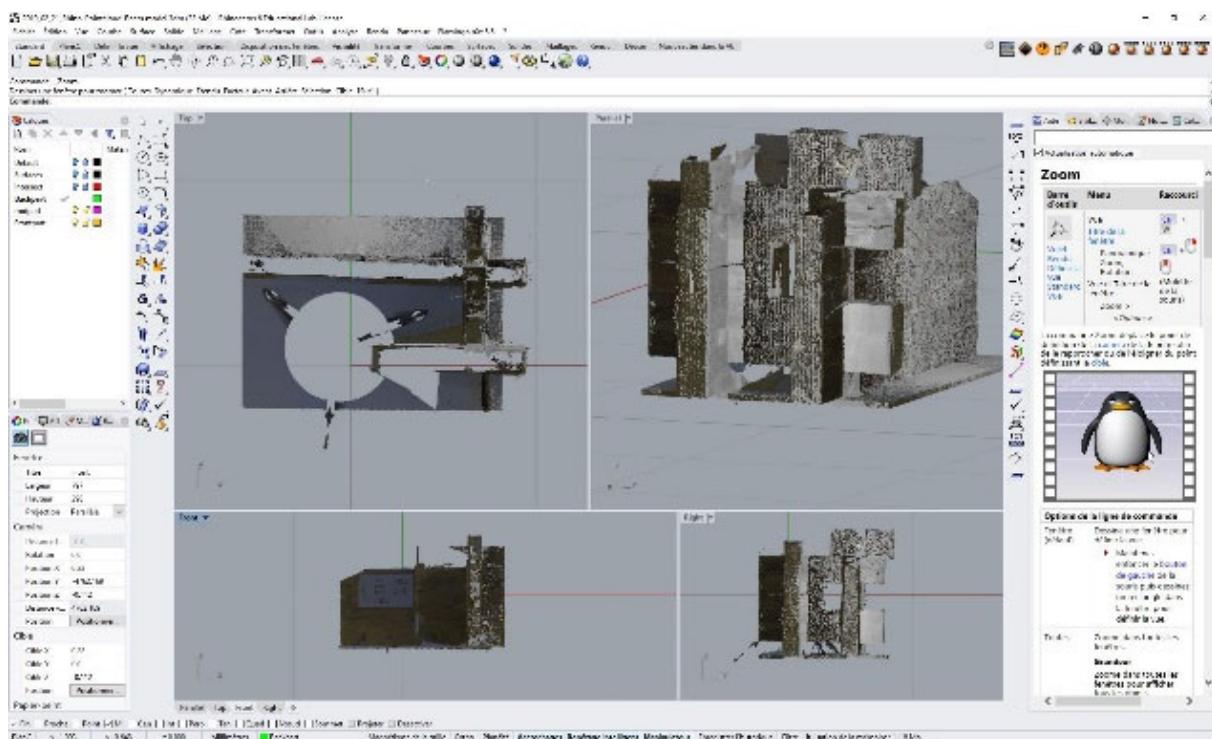


Abbildung 83: Gesamte Punktewolke in verschiedenen Ansichten

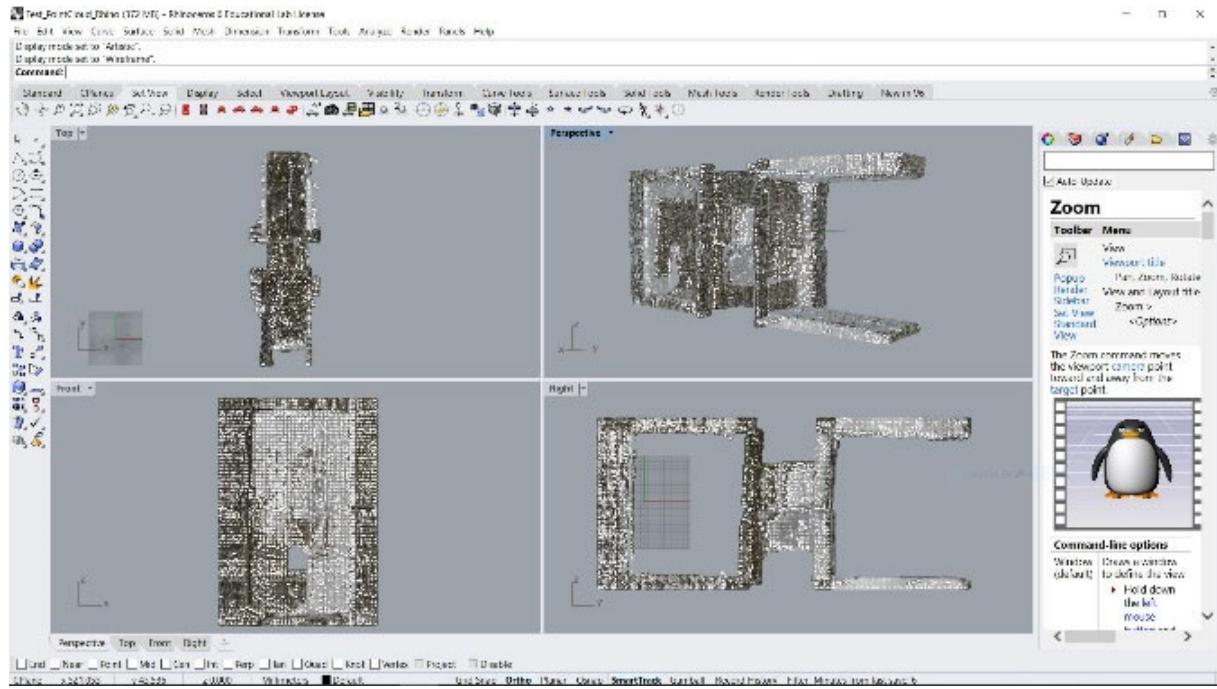


Abbildung 84: Ausgewählte Bereiche zur weiteren Bearbeitung

### 9.5.5 Begrenzungsflächen

In diesem Teil wird beschrieben, wie die Begrenzungsflächen (Bild unten) verwendet werden, um das Volumen des Sanierungsbauteils zu erstellen. Es besteht aus 4 großen horizontalen Flächen (oberhalb und unterhalb des Sanierungsbauteils) und allen Kontaktflächen der Verbindung.

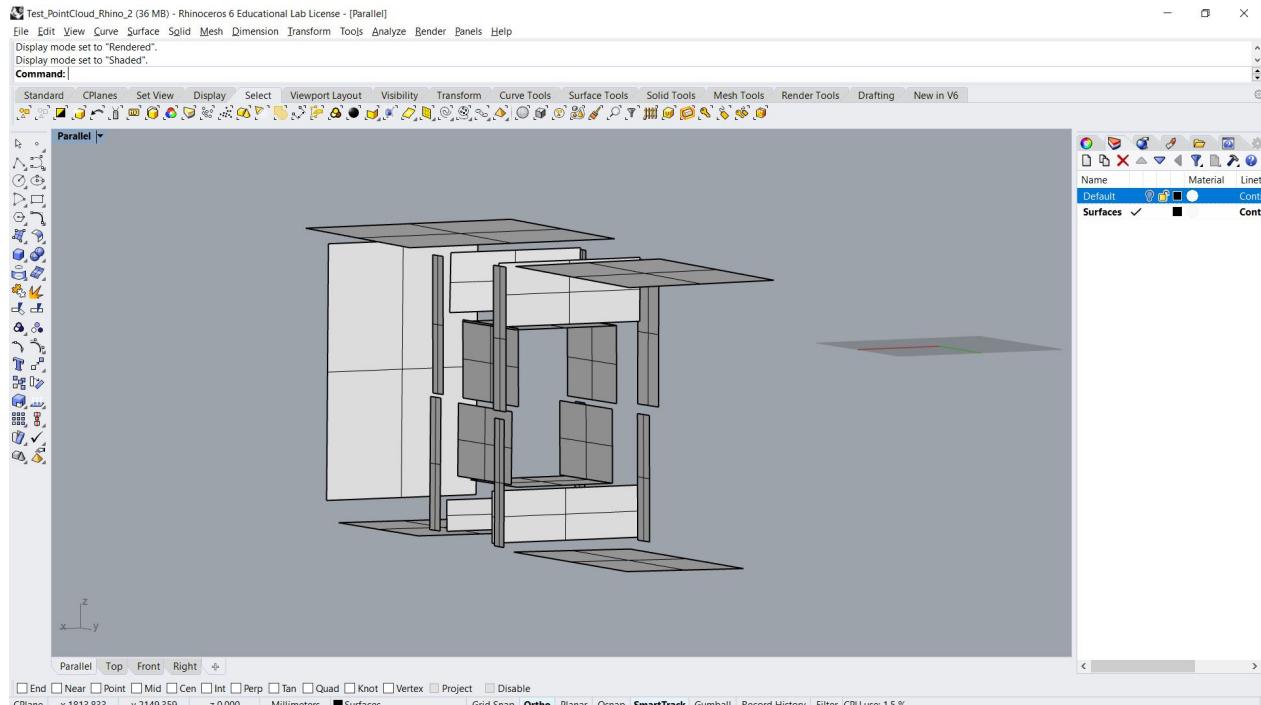


Abbildung 85: Finale Begrenzungsflächen

Die Idee bei der Verwendung des vorliegenden Programmes ist die Verkleinerung der Punktwolke indem man alle Punkte ausblendet, bis nur noch die Punkte der gewünschten Fläche anzeigen werden. Damit können dann die passenden Ebenen erzeugt werden.

- 1) Mit mehreren Selektionen und mit den verschiedenen 2D-und 3D-Ansichten ist es möglich, die nicht benötigten Punkte auszublenden. Verwenden Sie dafür "Hide", um eine Auswahl zu verstecken oder "Isolate", um nur die Auswahl anzuzeigen.

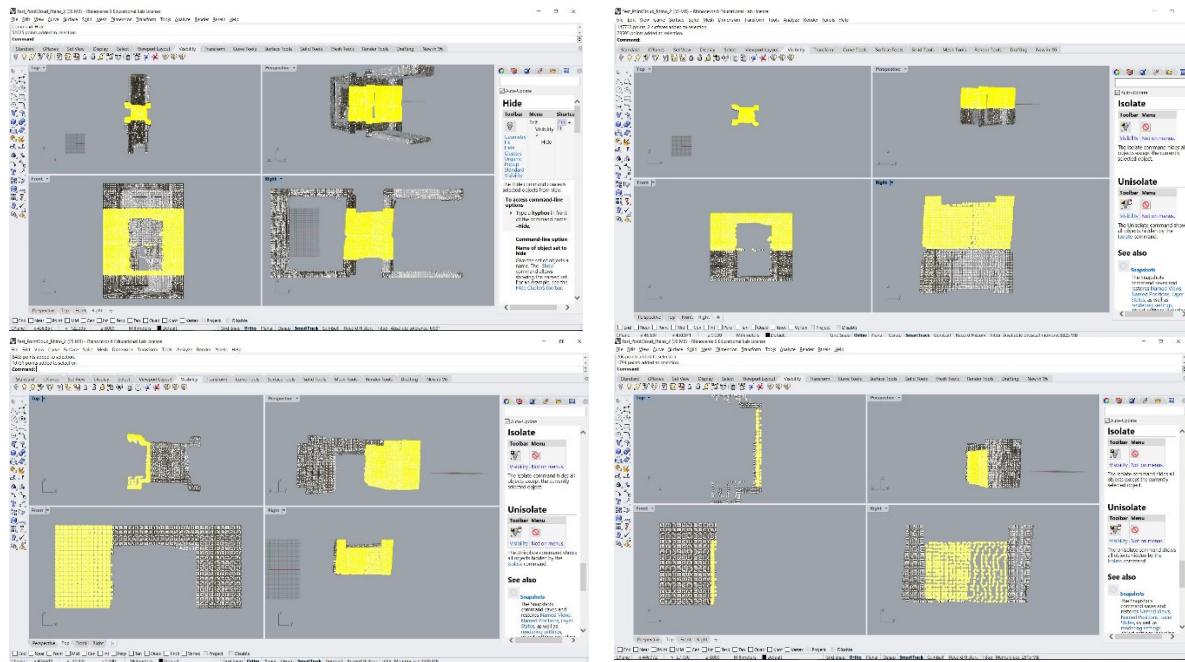


Abbildung 86: Selektion der relevanten Bereiche und Reduktion der Punktewolke

- 2) Wenn eine gute Auswahl gemacht ist, wählen Sie die Punkte der Oberfläche aus und verwenden Sie "PlaneThroughPt", um eine Fläche zu schaffen, die am besten mit den ausgewählten Punkten übereinstimmt.

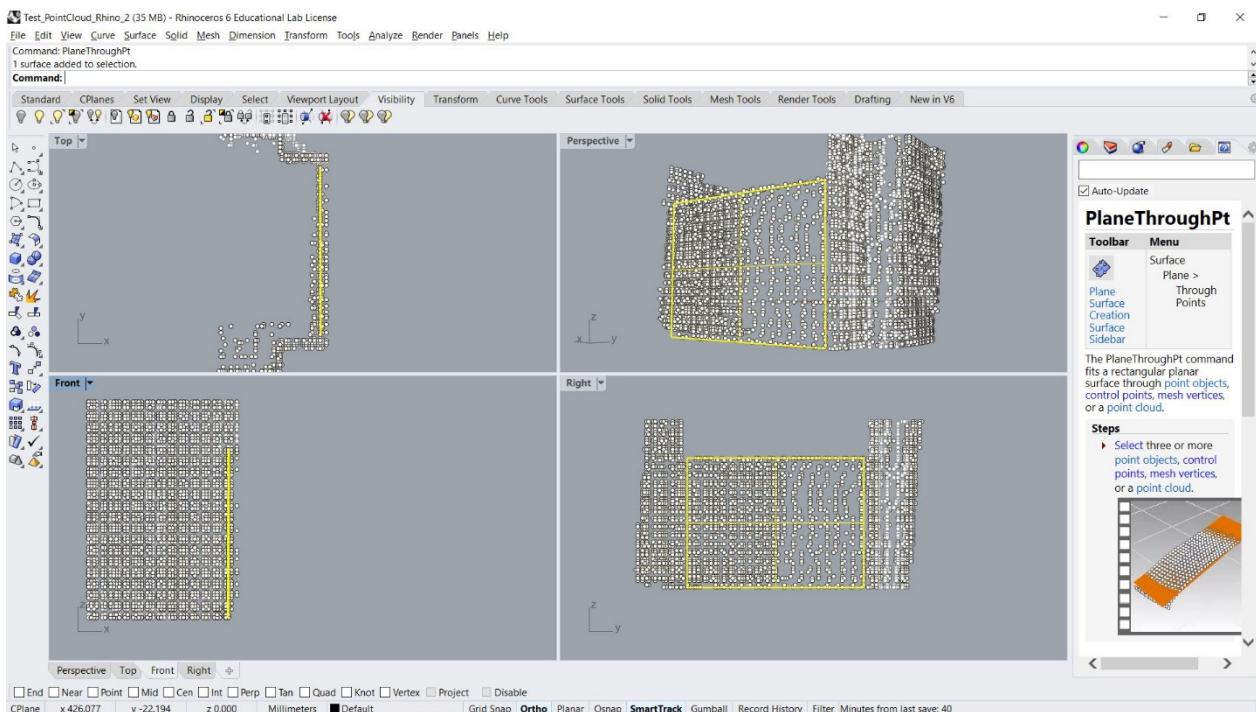


Abbildung 87: Fläche entstanden aus den gewählten Punkten mit der Option «PlaneThroughPt»

- 3) Überprüfen Sie visuell, ob die erzeugte Oberfläche mit der Pointcloud passt

- 4) Verwenden Sie "Show", um die gesamte Pointcloud wieder anzuzeigen.
- 5) Wiederholen Sie den Vorgang für alle Flächen.

### 9.5.6 Erstellung eines Volumenkörpers

Die Flächen werden vergrössert, damit sie sich kreuzen. Damit kann nun ein geschlossenes Volumen erzeugt werden. Dann wird das Werkzeug "Createsolid" verwendet, um ein geschlossenes und gültiges Volumen daraus zu machen.

- 1) Aktivieren Sie den "Gumball" im unteren Menü.
- 2) Wählen Sie eine Fläche aus und verwenden Sie die Pfeile des "Gumball", um die Fläche entsprechend ihrer Ebene zu erweitern. Auch die Option "ExtendSrf" ist dafür verwendbar.
- 3) Wiederholen Sie es für jede Fläche. Achten Sie darauf, dass sich alle Flächen kreuzen; dies ist notwendig, um das Werkzeug "Createsolid" verwenden zu können.

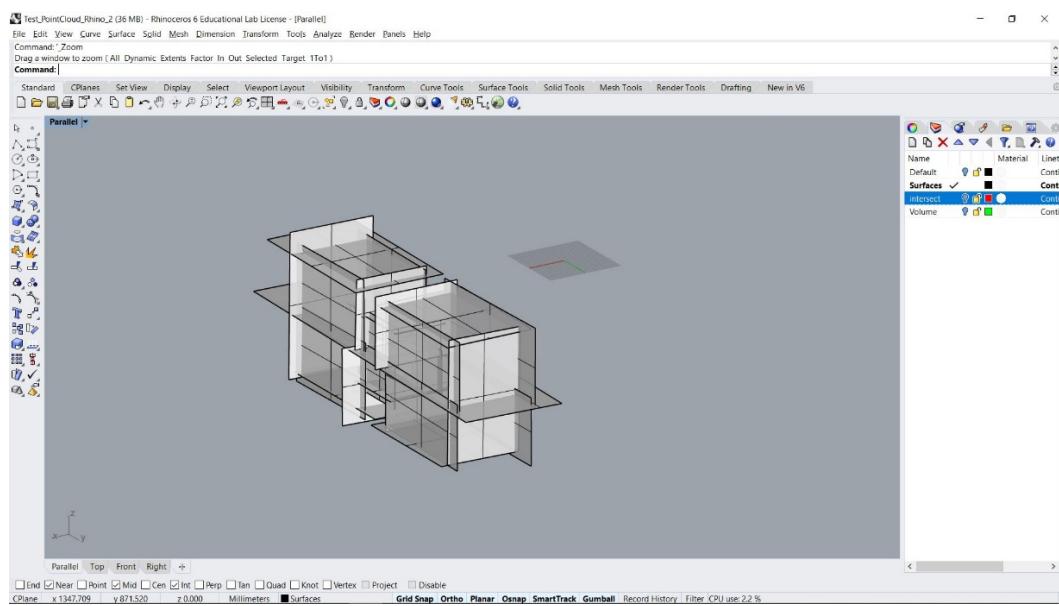


Abbildung 88: Erweiterte Begrenzungsflächen

- 4) Wählen Sie alle Flächen aus und verwenden Sie "CreateSolid". Wenn der Befehl "Unable to create solid" angezeigt, bedeutet das, dass der Volumenkörper noch offen ist. Vergrössern Sie nun ggf. die Flächen. Wenn es noch nicht funktioniert, könnte eine horizontale Hilfsfläche sinnvoll sein. Verwenden Sie die Punktewolke, um eine Fläche zu schaffen, die horizontal das fehlende Teil in zwei Elemente schneidet. Diese Fläche wird Verschneidungen mit den vertikalen Flächen bilden und die Entstehung eines Volumenkörpers erleichtern.

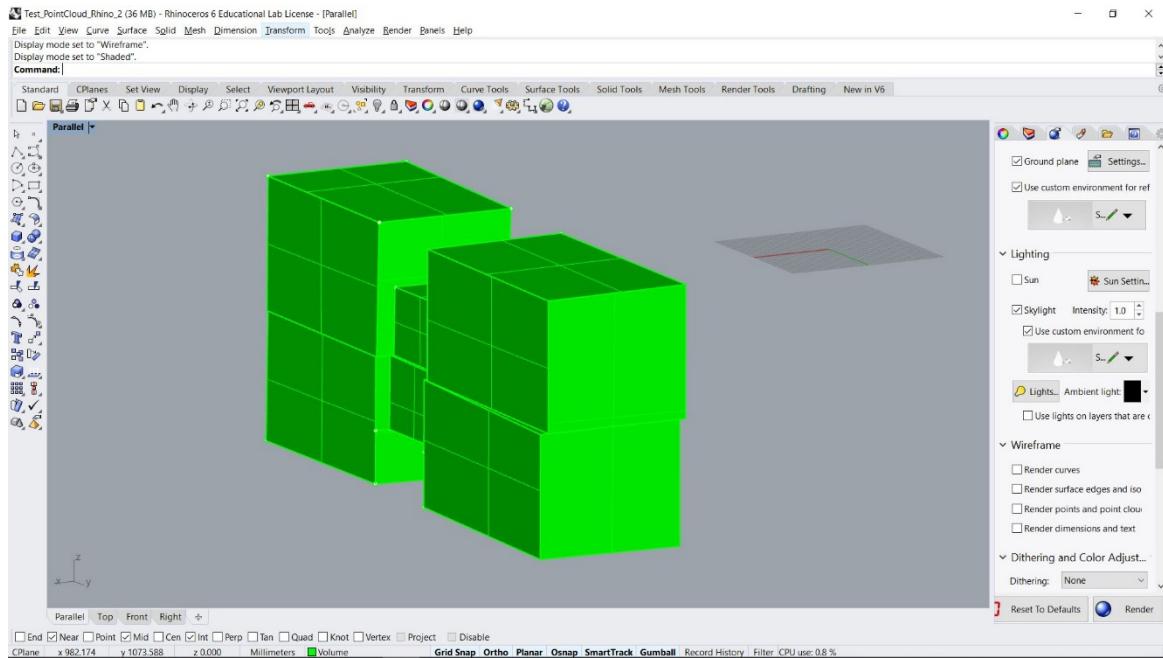


Abbildung 89: Erstellter Volumenkörper

Um sicher zu gehen, dass es sich bei dem Volumen um ein gültiges und geschlossenes Volumen handelt, ist es möglich, "What" zu verwenden, eine Option, die eine Beschreibung der Auswahl gibt.

- 1) Verwenden Sie "SelSrf", um alle Flächen auszuwählen und zu löschen.
- 2) Wählen Sie das Volumen und verwenden Sie "What". Prüfen Sie in der Objektbeschreibung, ob es sich wirklich um einen geschlossenen und gültigen Körper aus Polyflächen handelt. Überprüfen Sie auch, ob auch keine Fläche innerhalb des Modells sind.
- 3) In diesem Fall besteht das Gesamtvolume aus sechs geschlossenen Volumina, nur drei, wenn die horizontale Fläche nicht verwendet wurde.

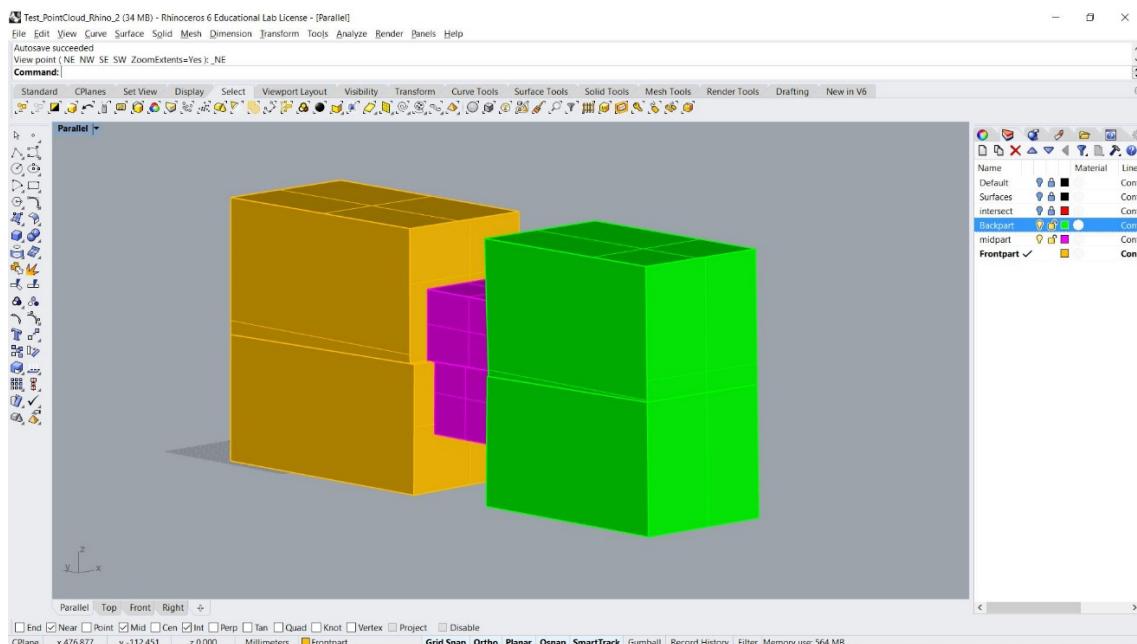


Abbildung 90: Einzelvolumina

### 9.5.7 Weitere Schritte zu CNC-Ansteuerung

Für die Erstellung der CAM-Schnittstelle wird das Volumen nun als ".3dm" nach «Cadwork 3D» direkt exportiert. Wenn die Volumina in Rhinoceros richtig definiert wurden, können alle Optionen von «Cadwork 3D» auf dem Bauteil verwendet werden.

Wie für den Prozess mit «Lexocad» beschrieben, ist es nun möglich, das Volumen des Sanierungsbau- teils zu korrigieren, indem man die Flächen streckt und schneidet. Die Methode und die Empfehlungen sind die gleichen, wie sie bereits beschrieben sind.

Denkbar wäre ebenfalls die Weiterverarbeitung des Volumens mit Rhinocam (theoretisch auch Grasshopper) für die Maschinenansteuerung. An dieser Lösung wird momentan gearbeitet.

Im klassischen Holzbau wird das CAD-File über die .btl-Schnittstelle in ein CAM-System (Lignocam) exportiert. In der CAM-Software wird die Bahnplanung durchgeführt und in Form von ISO-Code an die Produktionsanlage übergeben.

## 9.6 Scan mit Creaform Handyscan 700 und Konstruktion am Gitternetz = Mesh in Rhinoceros und «Cadwork 3D»

Es wurde angestrebt, das Mesh mit Rhinoceros zu verarbeiten, um diese Methode mit der reinen Bearbeitung durch «Cadwork 3D» zu vergleichen.

Die Bearbeitung des vorliegenden Mesh in Rhinoceros ist aufwendig, da das durch den Scan erzeugte Netz nicht geschlossen und unregelmäßig ist. Das Objekt besteht aus mehr als 3400 verschiedenen Netzen und hat viele Löcher und Singularitäten.

Es ist aber grundsätzlich möglich, das Mesh zu verwenden.

1. Manuell einen neuen Volumenkörper erzeugen.
2. Die Anzahl der Flächen des Mesh wird reduziert („ReduceMesh“), zum Beispiel von 20'000 Flächen auf 200 Flächen
3. Die entsprechenden Bereiche des Mesh werden repariert, d.h. vorhandene Löcher verschlossen werden („MeshRepair“)
4. Das Mesh wird in Nurbs umgewandelt („MeshtoNURB“) werden. Nurbs sind mathematisch definierte Flächen. Dies verringert zudem die Datenmenge.
5. Der Volumenkörper kann nun mit dem Nurb beschnitten werden. Um das nötige Passspiel zu erhalten, empfiehlt es sich hier, das NURB entsprechend zu kopieren

Der beschriebene Prozess ist – auch im Vergleich zum Prozess mit der Punktewolke - sehr zeitaufwendig. Ggf. funktionieren die Abläufe nicht auf Anhieb. Es wurde daher beschlossen, das Gitternetz nicht weiter mit Rhinoceros zu bearbeiten.

Im vorliegenden Fall empfiehlt es sich, das Gitternetz mittels „ExtractPt“ in eine Punktewolke umzuwandeln. Das weitere Vorgehen entspricht damit Kapitel 9.5.

## 9.7 Versuche unter Verwendung der Software «hsbcad»

Der Import der Punktewolke via «ReCap» ins «hsbcad», die Modifikation der Punktewolke und die Konstruktion eines Volumenkörpers funktionierte sehr gut. Nähere Informationen zum Prozess in «hsbcad» sind unter Kapitel 6.1.2 nachzulesen. Aus Zeitgründen konnte keine Konstruktion eines Sanierungsbau- teils durchgeführt werden. Dadurch entfiel auch die Vorbereitung der Maschinenansteuerung.

## 9.8 CNC-Programmierung

Für die Programmierung der CNC-Maschine wurden zwei verschiedene CAM-Softwares eingesetzt. Ziel war es, zwei verschiedene Prozesse zu vergleichen.

Die erste Software ist **Lignocam**. Es handelt sich um eine Software, die für den Holzbau entwickelt wurde, mit effizienten Makros für typische Holzbau-Bearbeitungen. Aus diesen Gründen hat Lignocam manchmal Probleme, die Bearbeitung zu erkennen, wie spezielle Winkel, Kurven oder nicht-planare Oberflächen, weil sie nicht korrekt einem konfigurierten Makro entsprechen.

Die Geometrie wird aus einem CAD(«Cadwork 3D» / «hsbcad») via .btl-Schnittstelle importiert. «Cadwork 3D» bietet den Vorteil, dass die Frässchritte auf dem Festkörper automatisch erkannt und als .btl

gespeichert werden. Diese Datei wird dann zu Lignocam exportiert und die Frässchritte werden automatisch von Lignocam analysiert, programmiert und überprüft. In Lignocam ist eine Simulation möglich, welche die Werkzeuge und die Maschinenwege zeigt. Es zeigt auch die Kollisionen, die auftreten können.

Die zweite Software ist **Alphacam**. Diese CAM-Software unterscheidet sich in der Herangehensweise: Hier wird der Festkörper direkt in die Software importiert und die Bearbeitungsschritte von Hand programmiert. Alphacam bietet eine größere Freiheit, da es keine Vorkonfiguration oder Makros verwendet. Es erlaubt dem Benutzer, die Werkzeuge, die Wege, die Richtungen und die Reihenfolge der Frässchritte selbst zu definieren. Es erleichtert die Programmierung komplexer Geometrien. Auf der anderen Seite gibt es keine Kontrolle der Bearbeitung, so dass eine größere Erfahrung seitens der Bedienung erforderlich ist.

### 9.8.1 Programmierung mit Lignocam

Im Folgenden werden die Prozessschritte aufgelistet und beschrieben. Am Ende werden einige Hinweise zur Methode gemacht.

#### 9.8.1.1 Erstellen der ". BTL" - Datei und Export aus «Cadwork 3D»

Diese Schritte werden in «Cadwork 3D» gemacht:

- 1) Export der Stückliste
- 2) Erkennung der Bearbeitungsvorgänge, Format BTL 10.6 Lignocam. Das Bild zeigt die Arbeit, die «Cadwork 3D» automatisch durchführt (violett): Es definiert ein "Brutto" und alle Fräsvorgänge, die durchgeführt werden müssen.

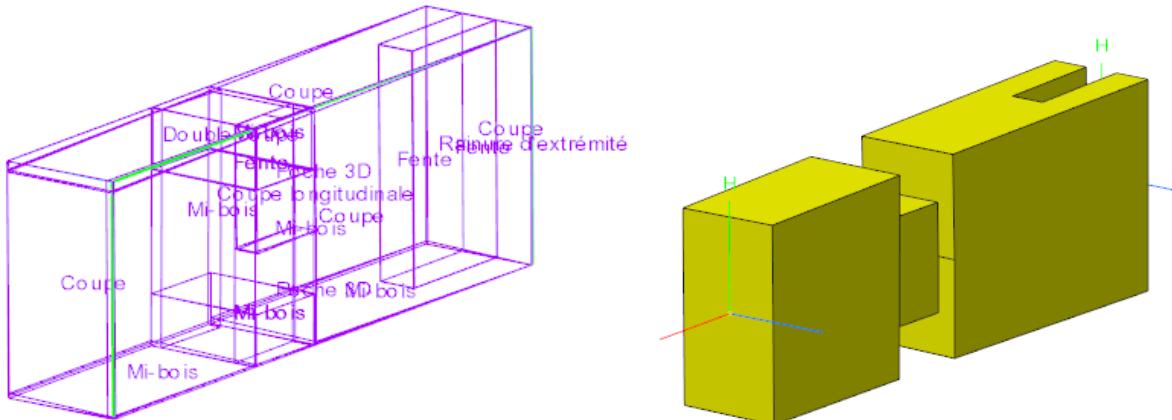


Abbildung 91: «erkannte» Bearbeitungen und Brutto-Werkstück

Aus der Erfahrung ist bekannt, dass die Ergebnisse der Erkennung sehr komplex sind mit einer Vielzahl an Bearbeitungsschritten für nur ein Werkstück. Es liegt an der unregelmäßigen Geometrie der Stücke. Für die Erkennung wurde eine weitere Konfiguration eingerichtet und es erneut versucht. Die Ergebnisse waren dieselben.

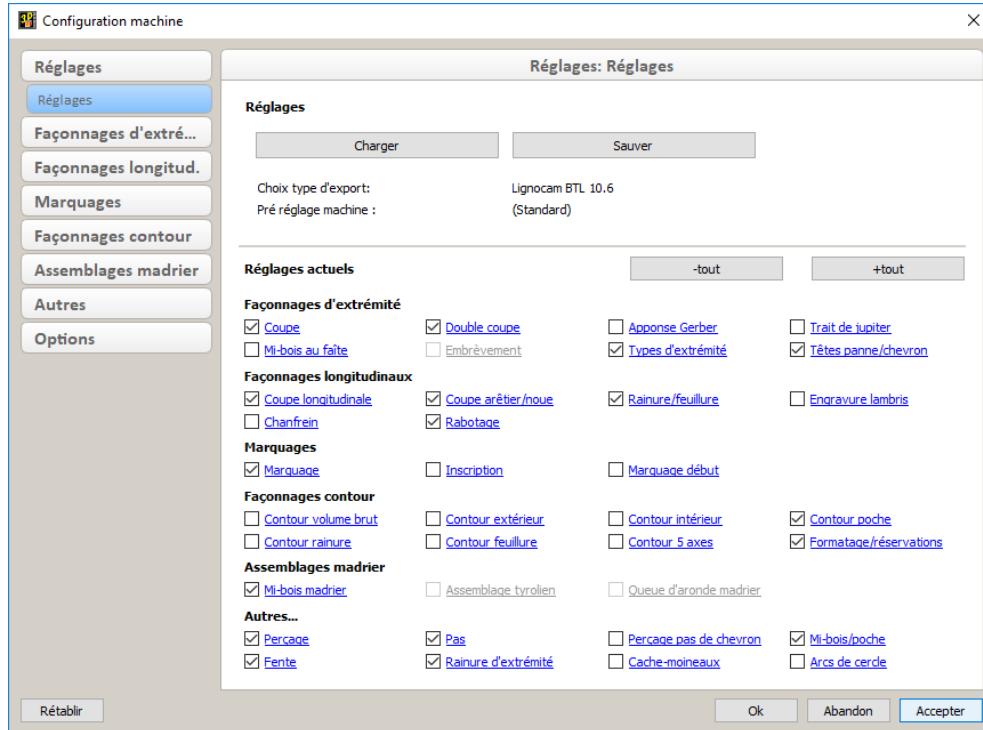


Abbildung 92: Konfigurations-Oberfläche in Lignocam

### 3) Konvertierung und Export der „.BTL“ - Datei.

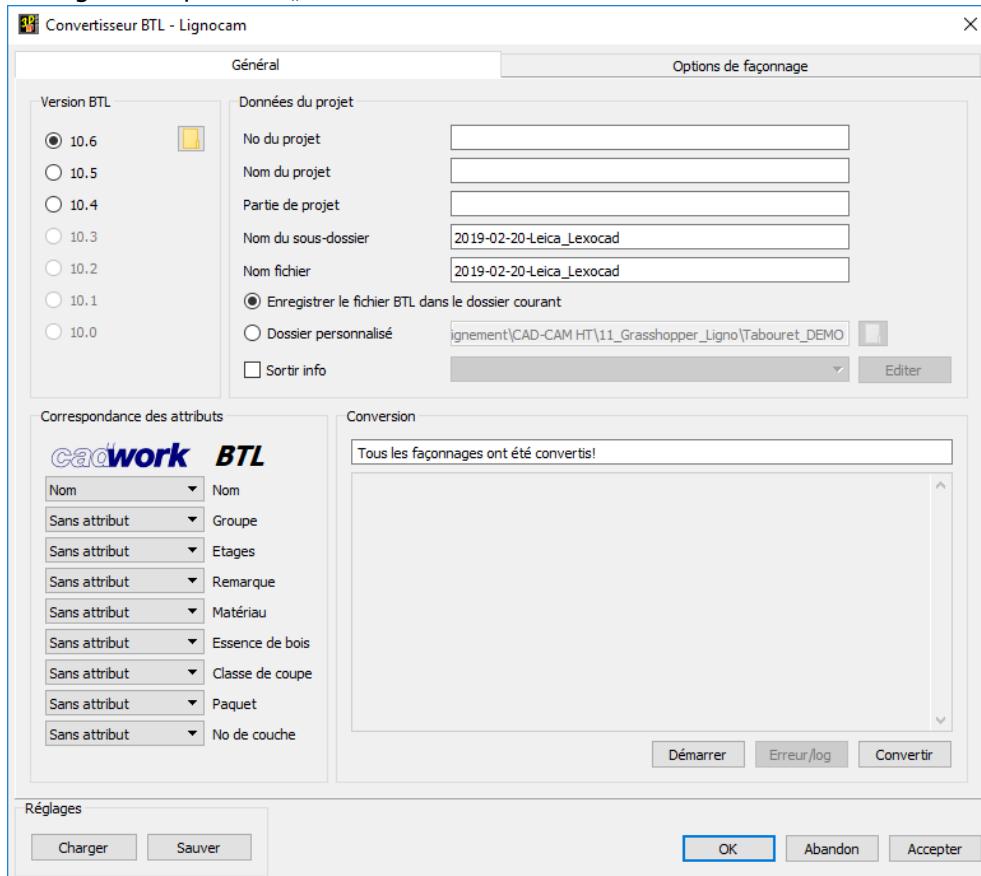


Abbildung 93: Export-Oberfläche in «Cadwork 3D»

### 9.8.1.2 Import in Lignocam and CNC-Programmierung

Um realitätsnah zu bleiben, wurde versucht, die Software von selbst arbeiten zu lassen. Es ist sehr schwierig und zeitaufwendig, den Code in Lignocam zu ändern. Die ".BTL" - Datei wurde in Lignocam direkt importiert und geöffnet.

Die Schnittstelle von Lignocam zeigt das Stück und eine Liste der Bearbeitungsschritte, in denen auftretende Konflikte rot markiert sind. In diesem Fall besteht nur in einem Schritt ein Konflikt wegen der Länge des Werkzeugs. Durch einen Wechsel des Werkzeugs wurde der Konflikt gelöst.

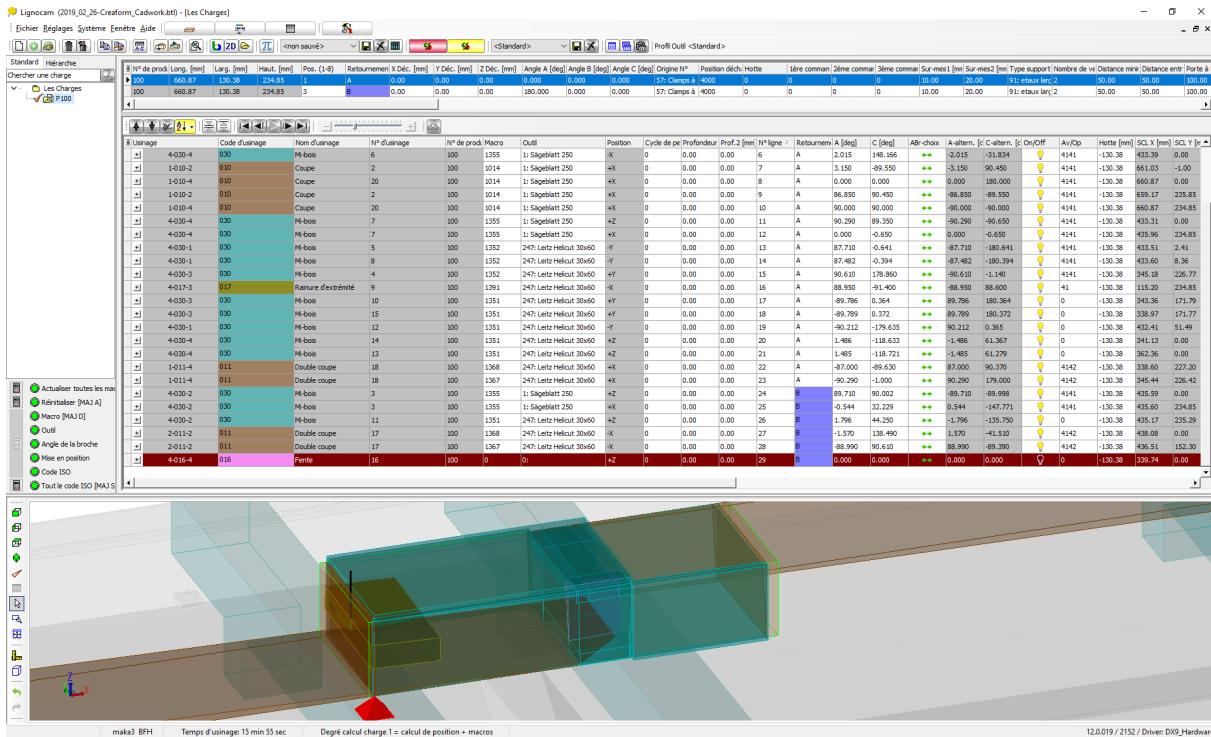


Abbildung 94: Bearbeitungssoberfläche in Lignocam

### 9.8.1.3 Hinweis für die Programmierung mit Lignocam

Die Bearbeitungszeit für das erste Stück betrug etwa 1h30. Das liesse sich mit einer besseren Erfahrung und einer besseren Konfiguration wahrscheinlich auf 30 Minuten reduzieren. Ein paar Fräsvorgänge mussten ausgeschaltet werden (zum Beispiel: 1 mm Schnitt), weil sie in Lignocam nicht funktionierten. Die komplexen Geometrien erschweren die Erkennung der Frässchritte in «Cadwork 3D». Dieser Schritt sollte verbessert werden, da er zu einer suboptimalen Bearbeitung mit vielen verschiedenen und komplizierten Schritten führt. Am Ende wird damit mehr Zeit für den Abbund verwendet.

## 9.8.2 Programmierung mit Alphacam

Im Folgenden werden die Prozessschritte aufgelistet und beschrieben. Am Ende werden einige Hinweise zur Methode gemacht.

### 9.8.2.1 Export from «Cadwork 3D»

Es stehen mehrere Formate zur Verfügung, um den Volumenkörper nach Alphacam zu exportieren. Das Format ".IGS" mit der Option "solide" funktioniert perfekt.

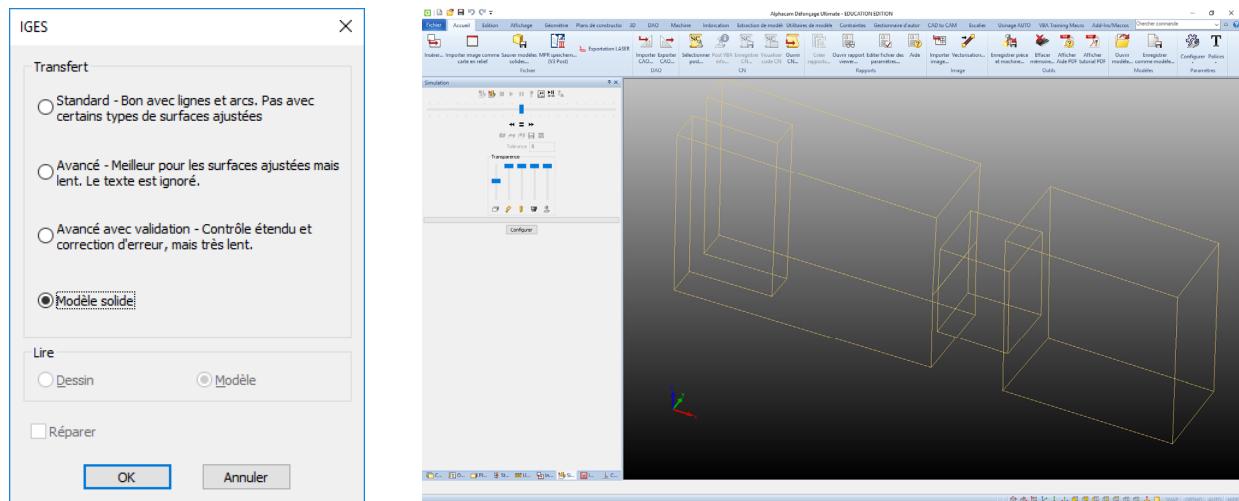


Abbildung 95: Importiertes .igs-Format in Alphacam

### 9.8.2.2 Programmierung

Die Frässchritte werden manuell durch die Erkennung der Flächen und die Wahl der Werkzeuge programmiert.

Die Stücke müssen umgedreht werden, weil jede Oberfläche gefräst wird. Mit der Alphacam-Programmierung ist es einfach, ein solches Problem zu bewältigen. In diesem Fall wird auf der ersten Oberfläche nur die Aussparung gefräst, so dass der Bezugspunkt nach dem Drehen noch zur Positionierung des Stückes zur Verfügung steht.

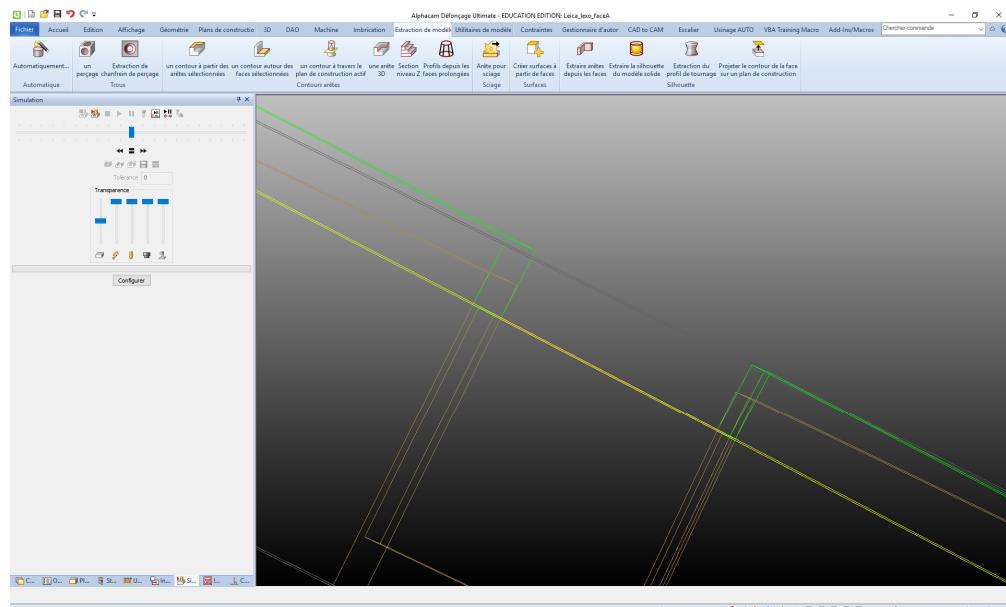


Abbildung 96: Detailansicht des Ausschnittes

Die Details lassen sich mit der Schnittstelle von Alphacam einfach lösen, die Visualisierung ist sehr gut.

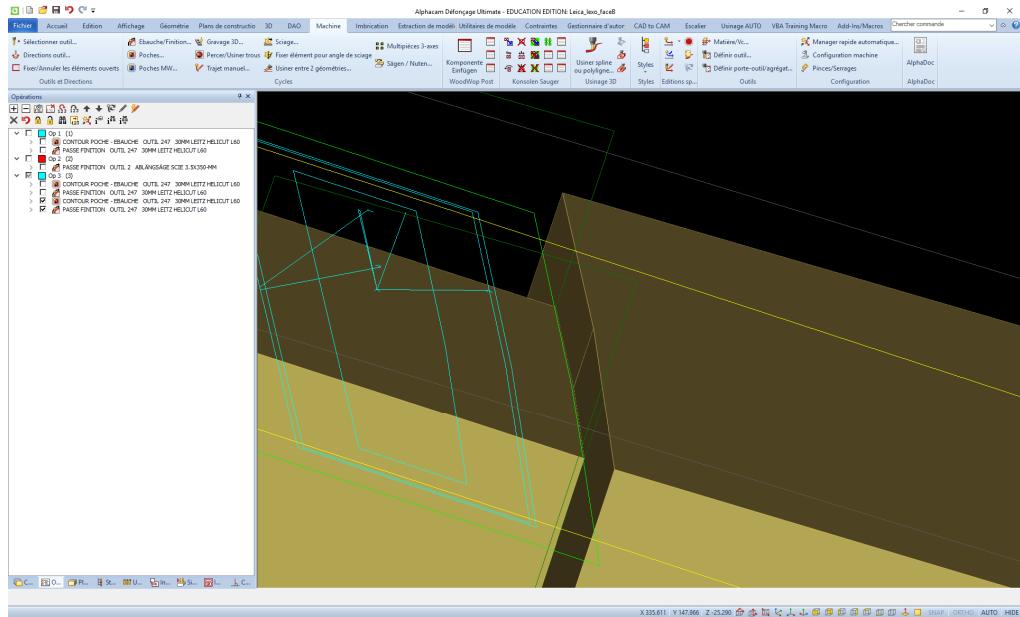


Abbildung 97: Erstelter Volumenkörper

### 9.8.3 Hinweis für die Programmierung mit Alphcam

Die Programmierung mit Alphcam beanspruchte für das zweite Stück etwa 45 Minuten. Dies könnte durch die Erstellung eines vordefinierten Frässtils auf etwa 30 Minuten pro Stück optimiert werden. Die neueste Version der Software ermöglicht eine Volumen-Erkennung, welche noch schneller sein kann.

Die manuelle Programmierung von Alphcam ist mehr an solche Geometrien angepasst. Es war möglich, sie gut zu optimieren und so die Bearbeitungszeit auf der CNC auf ein akzeptables Mass zu reduzieren.

## 9.9 Herstellung auf der CNC-Anlage

Für den Abbund wurde das "Brutto"-Stück vorbereitet gemäss den erforderlichen Abmessungen und angepasst durch die Programmiersoftware. Das Stück wird auf der CNC mit Luftdruckklemmen montiert. Ein Bezugspunkt wird gewählt.

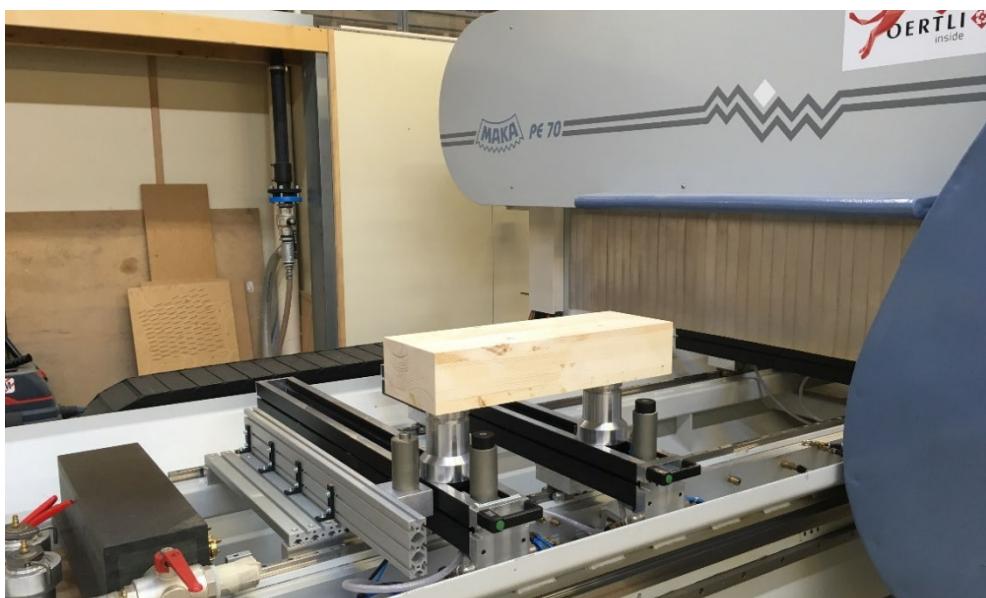


Abbildung 98: Positionierung des rohen Werkstückes in der Anlage

Der Code aus der Programmiersoftware wird in die Bedienoberfläche importiert und ausgeführt. Die Geschwindigkeit der Maschine wird manuell gesteuert.



Abbildung 99: Bedienoberfläche der CNC-Anlage

Die Lignocam-Programmierung erschafft viele verschiedene Frässchritte, es wechselt die Werkzeuge häufig und folgt keiner guten Logik. Zudem berücksichtigt Lignocam nicht, dass das Stück umgedreht wird. So programmierte es ein Fräsen der ersten Fläche und das ist ein großer Fehler, weil das Fräsen der zweiten Fläche nicht mehr an der Grundfläche referenziert wird. Bei diesem Schritt wurde beschlossen, das Fräsen mit der Lignocam-Programmierung zu stoppen.



Abbildung 100: gefräste erste Fläche und gefräster Schlitz

Mit der Alphacam-Programmierung wurde dieses Problem gelöst, indem nur die mittlere Aussparung/ Vertiefung auf der ersten Fläche/ Seite gefräst wurde. So blieb der Bezugspunkt zur Verfügung, um das Stück zu drehen.



Abbildung 101: gefräste Aussparung der ersten Fläche

Das Ergebnis ist wirklich zufriedenstellend, das Fräsen ist sauber bis auf einige kleine Abweichungen. Aber diese Toleranzen sind gemäss dem Ziel des Projekts akzeptabel.

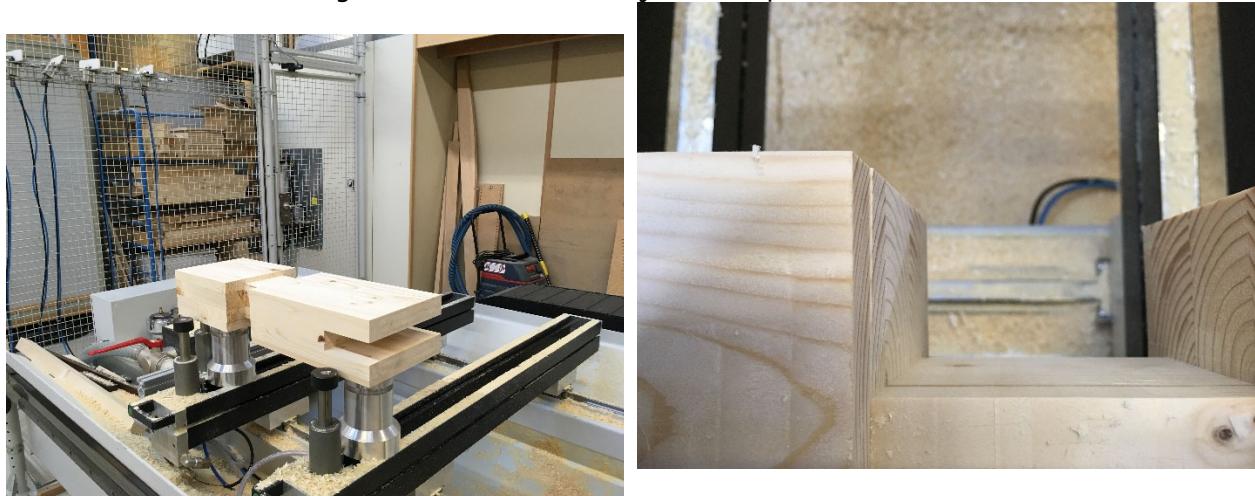


Abbildung 102: fertig abgebundes Sanierungsstück und entstandene Abweichungen aufgrund der Bearbeitungsschritte

### 9.9.1 Grundsätzliche Bemerkungen zur CNC-Bearbeitung

Aussenkanten sollten – natürlich je nach Anforderung - immer bereits auf Mass und winkelrecht zueinander sein. Damit ist immer der richtige «Anschlag» gegeben und die Bearbeitung einiges einfacher. Falls die Flächen nicht winkelrecht sein können, müsste eine Art Auflage benutzt werden, damit ein entsprechender Anschlag möglich ist. Der Abbund auf der CNC-Anlage sollte sich auf die Verbindung selbst konzentrieren. Alle Flächen sollten möglichst eben (ohne unnötige Versätze) konstruiert sein.

Grundsätzliches Ziel sollte das automatische Erkennen durch die CAM-Software sein.

## 9.10 Einbau der Sanierungsbauteile

### 9.10.1 Material & Methoden

Zum Einbau standen drei Sanierungsbauteile.

Zur Erinnerung seien hier nochmals die Unterschiede dargestellt:

Tabelle 3: Übersicht Sanierungsbauteile

Name Bauteil	Datenbasis	Konstruktions-Software	Erstellung Schnittstelle für Abbund	Abbund-Software
Leica->Lexocad »Cadwork 3D «	Punktwolke	«Lexocad « + «Cadwork 3D «	«Cadwork 3D «	Alphacam
Leica-Rhino	Punktwolke	Rhinoceros	«Cadwork 3D «	Alphacam
Creaform->Cad- work 3D «	Gitternetz	«Cadwork 3D «	«Cadwork 3D «	Lignocam + Alpha- cam

Tabelle 4: Eingebaute Sanierungsbauteile

Drei Sanierungsbauteile		
Leica->Lexocad «->Cadwork 3D «	Leica-Rhino	Creaform->Cadwork 3D «
		

Der in Abbildung 104 dargestellte Prozess zeigt das Vorgehen des Einbaus sowie die verwendeten Werkzeuge und Hilfsmittel. Als Referenzebene für den Winkel der Längsverbindung diente die Oberseite des Balkens (siehe Abbildung 103) auf welchem das Sanierungsbauteil zu liegen kommt.



Abbildung 103: Referenzebene für den Winkel der Längsverbindung

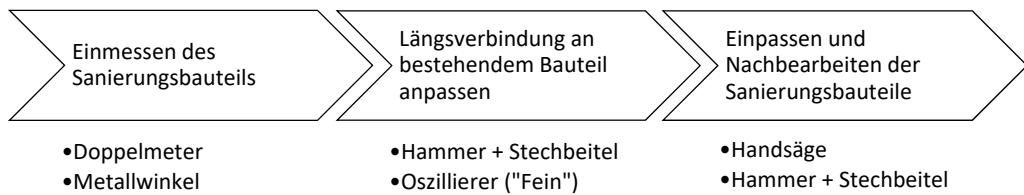


Abbildung 104: Vorgehen des Einbaus, verwendete Werkzeuge und Hilfsmittel

Die Sanierungsbauteile wurden mit einer Schlitz-Zapfen-Verbindung mit dem bestehenden Bauteil verbunden. Diese Verbindung ist gemäss Holzbau-Unternehmung Weger Holzbau die übliche Verbindung bei solchen Anschlüssen. Ziel bei der Werkzeugwahl war es, die Einbausituation möglichst realitätsnah zu simulieren. Entsprechend wurde bei der Bearbeitung der Längsverbindung des Bestandbauteils auf den Einsatz einer stationären Tischkreissäge verzichtet. Um beiden Sanierungsbauteilen die gleichen Voraussetzungen des Bestands zu bieten, wurde dieser nicht nachbearbeitet. Die Anpassungen erfolgten an den Sanierungsbauteilen.

### 9.10.2 Vergleich der Sanierungsbauteile

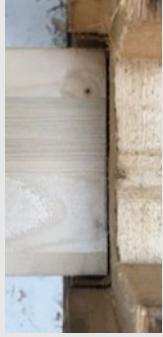
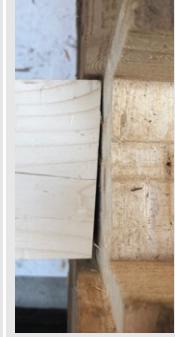
Die Passgenauigkeit der beiden Sanierungsbauteilen wird in zwei unterschiedlichen Massstäben verglichen. Die Aussenabmessung (Tabelle 5 Tabelle 5: Vergleich der Aussenabmessungen anhand von Fotos) bezieht sich dabei auf die Dimension des Balkens und wie er sich in das bestehende Gefüge einpasst. Tabelle 6 bezieht sich hingegen auf die Geometrie des Zusammenschlusses (Gwätt).

Tabelle 5: Vergleich der Aussenabmessungen anhand von Fotos

Vergleich der Aussenabmessungen			
	Leica->Lexocad <-> Cadwork 3D	Leica-Rhino	Creaform- «Cadwork 3D «
Länge	 Differenz: $\Delta L = 2 - 7 \text{ mm}$	 Differenz: $\Delta L = 5 \text{ mm}$	 Differenz: $\Delta L = 0 - 5 \text{ mm}$
Breite	 Differenz: $\Delta B = \text{ca. } 8 \text{ mm}$	 Differenz: $\Delta B = \text{ca. } 6 \text{ mm}$	 Differenz: $\Delta B = \text{ca. } 5 \text{ mm}$

Höhe						
	Differenz hinten: $\Delta H= 5 \text{ mm}$ Differenz vorne: $\Delta H= 18 \text{ mm}$		Differenz hinten: $\Delta H= 3 \text{ mm}$ Differenz vorne: $\Delta H= 2 \text{ mm}$		Differenz hinten: $\Delta H= 0 \text{ mm}$ Differenz vorne: $\Delta H= 2 \text{ mm}$	

Tabelle 6: Vergleich der Eckverbindungen anhand von Fotos

Vergleich der Eckverbindungen						
	Leica-»Lexocad «-»Cadwork 3D «		Leica-Rhino		Creaform- «Cadwork 3D «	
<b>Länge</b>						
	Differenz: $\Delta L= 1 - 3 \text{ mm}$		Differenz: $\Delta L= 0 - 8 \text{ mm}$		Differenz: $\Delta L= 0 - 5 \text{ mm}$	
<b>Breite</b>						
	Differenz: $\Delta B= 5 - 8 \text{ mm}$		Differenz: $\Delta B= 0 \text{ mm}$		Differenz: $\Delta B= 0 \text{ mm}$	

Höhe			
	Höhe = 120 mm	Höhe = 120 mm	Höhe = 120 mm
Nachbearbeitung			
	Länge in Einschnitt: +2 mm Breite in Einschnitt: -2 mm	Breite in Einschnitt: -2 mm	Länge bei Stoss: -2 mm Breite in Einschnitt: -2 mm

In Bezug auf die äusseren Abmessungen lagen die Längen und Breiten aller Sanierungsbauteile im Rahmen einer akzeptierten Toleranz. Dennoch wurde das Bauteil «Creafoma-Cadwork 3D» beim Schlitz-Zapfen-Anschluss um 2 mm gekürzt, was der Verbindung im Gwätt etwas Spiel verschafft. In der Breite weisen die Sanierungsbauteile mit einer Differenz von 5 – 8 mm eine ähnliche Genauigkeit auf. Ange-sichts der unregelmässigen Verformung der Bestandsbalken ist diese sie jedoch ausreichend. Die Bau-teilhöhe war bei allen Bauteilen zu hoch, was ein Verkanten des darüberliegenden Balkens zur Folge hat. Im Gegensatz zu den beiden anderen, ist das Bauteil «Leica->Lexocad » stark konisch ( $\Delta H = 13$  mm), wodurch die Fuge zusätzlich grösser wird. Diese Abweichung stammt aus der Konstruktionsphase.

Bei jedem Sanierungsbauteil war eine Nachbearbeitung im Bereich der Eckverbindung nötig. Die Einschnitte aller Sanierungsbauteile mussten in der Breite um 2 mm verkleinert. Bei Bauteil «Leica->Lexocad » musste zusätzlich die Länge des Einschnittes um 2 mm vergrössert werden.

### 9.10.3 Grundsätzliche Bemerkungen zum Einbau

Da das Prinzip des «Gwäts» auf einer Spielpassung basiert, war die Abmessung der Eckverbindung insgesamt zu knapp gewählt. Mit einem allseitigen Offset von 1 – 2 mm verlöre die Verbindung ihre Funktion nicht und die Montage vereinfachte sich erheblich.

## 9.11 Zusammenfassung und Fazit zum Beispiel «Blockbauwand»

### 9.11.1 Scanvorgang

Es ist sicherzustellen, dass vor dem Scan die Lage der Bauteile zueinander korrekt sind. Es besteht die Gefahr, dass Balken sich durch das Herausnehmen des geschädigten Bauteils verschoben haben. Damit ist keine passgenaue Konstruktion eines neuen Stückes möglich.

### 9.11.2 Konstruktion CAD

Bei der Konstruktion ist eine akzeptable Toleranz einzubauen! Auf ein gleichmässiges Offset ist zu achten (1-2 mm)!

Aussenkanten sollten – natürlich je nach Anforderung - immer bereits auf Mass und winkelrecht zueinander sein. Der Abbund auf der CNC-Anlage sollte sich auf die Verbindung selbst konzentrieren.

Schlussendlich zeigte sich die Vorgehensweise mittels Rhinoceros und «Cadwork 3D » schnell und praktikabel, gefolgt von der Bearbeitung mittels «Lexocad » und «Cadwork 3D ». Bei der vorliegenden Aufgabe handelt es sich allerdings um eine relativ kleine Datenmenge, welche das Programm Rhinoceros bearbeiten musste. Bei einem Scan eines gesamten Gebäudes sollten vor dem Import in Rhinoceros die Datenmenge minimiert werden bzw. nur die relevanten Gebäudebereiche (z.B. Verbindungen) mit einer dichten Punktewolke abgebildet sein.

Die Weiterverarbeitung der Scandaten in «hsbcad» ist sehr zufriedenstellend. Es können grosse Scan-Datenmengen verarbeiten kann, Bauteilkonstruktionen ermöglicht und eine direkte Weiterleitung der Daten für den Abbund ermöglicht. Im Rahmen des Folgeprojektes «Gebäudeerneuerung Oberwaldlis» (Innosuisse) wird eine entsprechende Anwendung geprüft.

Am aufwendigsten erschien das Konstruieren am Gitternetz, da dieses im «Cadwork 3D » nicht direkt bearbeitbar ist und in Rhinoceros eine aufwändige Bearbeitung erforderte. Die Umwandlung in eine Punktewolke wird empfohlen.

Die Genauigkeit der drei bestrittenen Wege kann als vergleichbar angesehen werden.

### 9.11.3 Zeitfaktor

Insgesamt ist die Konstruktion des Sanierungsbauteils im CAD eher aufwendig. Fraglich ist, inwiefern damit ein Vorteil gegenüber dem manuellen Abbund vorliegt. Während sich der manuelle Aufwand für Massaufnahme und Produktion reduziert, nimmt der planerische Aufwand zu.

### 9.11.4 Zusammenfassung

Die Datenbearbeitung vom Scan bis zur Konstruktion des Sanierungsbauteils zeigt, dass der Prozess mit den aktuellen Technologien und Softwares zwar zeitaufwendig ist, mit einer entsprechenden Routine aber durchaus eine empfehlenswerte Alternative zum manuellen Prozess darstellt.

Die Daten aus dem Scan sind komplex und benötigen die entsprechende Software, um verarbeitet zu werden.

Die Methode, die eine gute Kompatibilität und Effizienz zeigt, ist die mit „Rhinoceros 3D“ verarbeitete Punktewolke. Obwohl viele Arbeitsschritte erforderlich sind, zeigte „Rhinoceros 3D“ dabei gute Leistungen.

Die Erstellung von Volumenkörpern auf Grundlage einer Punktewolke ist in «hsbcad» ebenfalls sehr zufriedenstellend zu lösen.

Via «Cadwork 3D » war es bequem möglich, das konstruierte Bauteil auf die Softwares für die CNC-Bearbeitung zu übertragen. In «hsbcad» wird ebenfalls die erforderliche BTL-Schnittstelle erzeugt. Für die CNC-Bearbeitung ist die Komplexität der vorliegenden Geometrie an der Grenze zwischen klassisch-rechteckigem Balken und komplexer freier Form. Aus diesem Grund war der Einsatz von Makros für die Programmierung der CNC schwierig, „Lignocam“ war nicht für diesen Einsatz angepasst. Die Wahl, eine Handprogrammierung mit „Alphacam“ zu machen, erschien als einzige Lösung. Eine Rationalisierung der Geometrie könnte dazu führen, dass Lignocam mit einem standardisierten Prozess arbeiten könnte.

### 9.11.5 Empfehlung und Ausblick

Die wirtschaftliche Umsetzung der digitalen Bauaufnahme erfordert eine Reduktion der Schnittstellen. Es ist ein Programm wünschenswert, welches alle Prozessschritte von der Punktewolke bis zur Maschinenansteuerung bewältigen kann.

## 10 Zusammenfassung Ergebnisse

Vor der digitalen Bauaufnahme ist eine detaillierte **Zustandserfassung** unerlässlich.

Zur genaueren und effizienteren Dokumentation der durchgeführten Untersuchungen ist es sinnvoll, die Kartierung der Untersuchungsstellen mit digitalen Methoden durchzuführen.

### Messmittel für die digitale Bauaufnahme

Der Markt bietet eine Vielzahl von Messtechniken zur **digitalen Bauaufnahme**. Für jede Messaufgabe findet sich eine passende Technik.

Die Fazite zu den einzelnen Messtechniken finden sich bei den entsprechenden Gerätegruppen am Ende des jeweiligen Kapitels.

Hier erfolgt lediglich eine stichpunktartige Zusammenfassung bezüglich der Eignung für die Aufnahme von Holzbauverbindungen:

**Tastarm:** vorzugsweise ebene Flächen, kleine Datenmenge, Installationsaufwand eher hoch, Erreichbarkeit eingeschränkt

**3D-Laserscanner stationär / Totalstation:** grosse Datenmenge, geringer Installationsaufwand, Erreichbarkeit gut, Genauigkeiten der Geräte sehr variabel, Umsetzen des Gerätes problemlos

**3D-Laserscanner stationär mit Schwenkarm:** sehr präzise Aufnahme, grössere Datenmenge, Installationsaufwand eher hoch, Erreichbarkeit eingeschränkt, Umsetzen des Gerätes möglich

**3D-Laserscanner frei Hand geführt:** , **komfortable Anwendung**, grosse Datenmenge, Installationsaufwand(Targets kleben), Erreichbarkeit sehr gut, Genauigkeiten der Geräte sehr variabel, Ergebnis mit Targets erheblich besser

Für die hier thematisierten Holzverbindungen sind nach Meinung der Autoren die hochwertigen stationären Scanner und die targetunterstützten Handscanner sehr gut geeignet. Bei guter Zugänglichkeit und einer geringen Anzahl Messflächen kann die Verwendung eines Schwenkarms mit Taster Sinn machen, bei einer höheren Flächenzahl und bei Unebenheiten auch der Schwenkarm mit Scanner.

### Schnittstellen und CAD-Programme

Seitens der Messgeräte steht eine Vielzahl an exportierbaren Schnittstellen zur Verfügung. Für den Import einer Punktewolke hat sich in den meisten Fällen eine .las-Datei bewährt.

Mögliche Arbeitsabläufe in Abhängigkeit des Auftrages und der vorhandenen Möglichkeiten der Abbundanlage/ CNC (je nach Fabrikat) sind in der folgenden Grafik dargestellt.

Für Standardgeometrien hat sich der Bearbeitungsprozess via «Lexocad» - »Cadwork 3D« - «Lignocam» bewährt. Dieser Weg erweist sich als effizient, dabei vor allem der Weg von «Cadwork 3D » auf die Abbundanlage.

Die Weiterverarbeitung der Scandaten in «hsbcad» ist sehr zufriedenstellend. Es können grosse Scan-Datenmengen verarbeiten kann und mithilfe von Objektfangwerkzeugen exakte Hilfsflächen generiert werden. Damit sind Bauteilkonstruktionen sehr komfortabel möglich. In «hsbcad» wird ebenfalls die erforderliche BTL-Schnittstelle erzeugt.

«Rhinoceros 3D» bietet umfängliche Werkzeuge zur Bearbeitung von Punktewolken und Gitternetzen. Über Plugins wie Rhino Reverse lassen sich Flächenrückführungen teilautomatisieren.

Die Bahnplanung für die Abbundanlage oder CNC ist individuell zu lösen bzw. zu programmieren.

Dies bietet den Vorteil, dass man beispielsweise via Grasshopper ohne zusätzliche CAM-Software direkt ISO-Code ausgeben kann. Damit lässt man die BTL-Schnittstelle aus, welche in der aktuellen Version noch keine Freiformen übergeben kann.

Als Nachteil stellt sich heraus, dass via «Rhinoceros 3D» keine mit «Cadwork 3D« - BTL – «Lignocam» vergleichbar standardisierte Maschinenanbindung zur Verfügung steht. Der Weg via «Rhinoceros 3D» bietet sich deshalb speziell für Freiformen an.

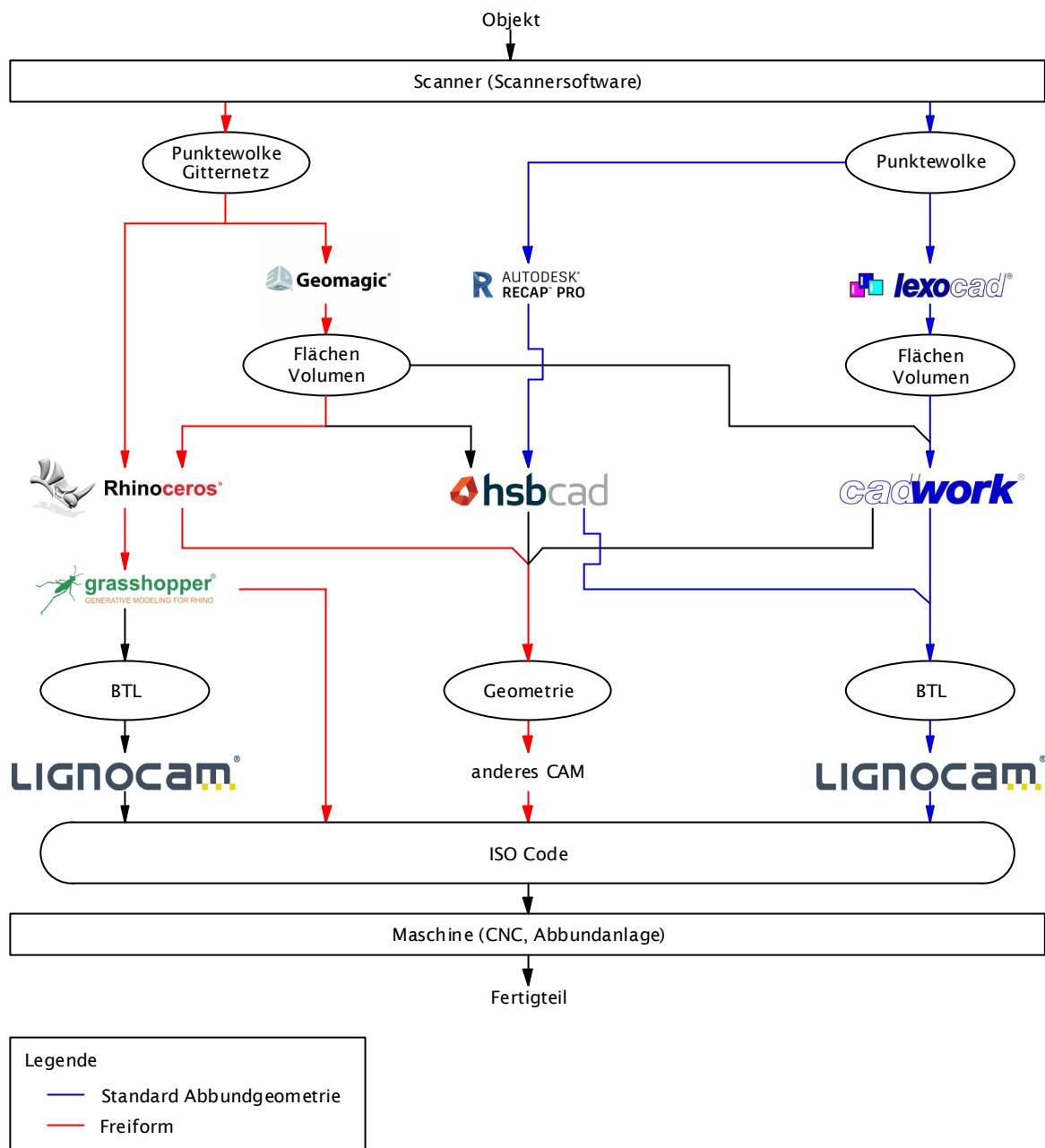


Abbildung 105: Prozesskette vom Objekt zum maschinell erstellten Fertigteil

### Marker

Für eine Markierung eines Gebäudes und der damit verbundenen Verlinkung zu Projektdaten wird die Applikation eines QR-Codes empfohlen. Dieser ist als Aufkleber oder Plakette applizierbar.

### Sanierungsplanung – Anforderungen an Bauteil-Sanierungen

Neben konstruktiven und statischen Anforderungen ergeben sich bei bestehenden Holzkonstruktionen nicht selten auch denkmalpflegerische Fragestellungen.

### Sanierungsmodell: Walliser Blockbauwand

Die Datenbearbeitung vom Scan bis zur Konstruktion des Sanierungsbauteils zeigt, dass der Prozess trotz der aktuellen Technologien und Softwares zeitaufwendig ist.

Die Daten aus dem Scan sind komplex und benötigen die entsprechende Software, um verarbeitet zu werden. Die Methode, die eine gute Kompatibilität und Effizienz zeigt, ist die mit „Rhinoceros 3D“

verarbeitete Punktewolke. Obwohl viele Arbeitsschritte erforderlich sind, zeigte „Rhinoceros 3D“ dabei gute Leistungen.

Die Anwendung von «hsbcad» zeigte gute Erfolge im Umgang mit der Punktewolke. Mittels Objektfangwerkzeugen kann die Punktewolke eine exakte Basis für die Konstruktion von Bauteilen verwendet werden. In «hsbcad» wird ebenfalls die erforderliche BTL-Schnittstelle erzeugt.

Via «Cadwork 3D» war es einfach möglich, das konstruierte Bauteil auf die Softwares für die CNC-Bearbeitung zu übertragen. Für die CNC-Bearbeitung ist die Komplexität der vorliegenden Geometrie an der Grenze zwischen klassisch-rechteckigem Balken und komplexer freier Form. Aus diesem Grund war der Einsatz von Makros für die Programmierung der CNC schwierig, Lignocam war nicht für diesen Einsatz angepasst. Die Wahl, eine Handprogrammierung mit „Alphacam“ zu machen, erschien als einzige Lösung. Eine Rationalisierung der Geometrie könnte dazu führen, dass Lignocam mit einem standardisierten Prozess arbeiten könnte.

## 11 Ausblick

Die Geräte zur Aufnahme der Bauteilgeometrien entwickeln sich in Bezug auf ihre Genauigkeit und Anwenderfreundlichkeit und Mess- und Verarbeitungsgeschwindigkeit sehr schnell weiter. Gleichzeitig bieten auch schon neue Smartphone-Generationen verschiedenen Möglichkeiten zur Aufnahme von Längenmassen und Punktewolken. Es ist zu erwarten, dass sich hinsichtlich der Aufnahmegeräte in naher Zukunft grosse Entwicklungsschritte einstellen.

Geomagic und Rhino 3D bieten bereits umfängliche Werkzeuge zur Weiterverarbeitung von Scannerdaten. Das zunehmende Bedürfnis nach Reverse Engineering wird von Softwareherstellern immer stärker erkannt, die aufwändige manuelle Bearbeitung von Scannerdaten wird zunehmend automatisiert.

Die 1:1-Anwendung von «hsbcad» mit grossen Datenmengen von ganzen Gebäudescans wird im Rahmen des Folgeprojektes «Gebäudeerneuerung Oberwallis» (Innosuisse-Projektnummer 28941.1 IP-SBM) geprüft. Aus diesen Rohdaten sollen Grundrisspläne und -schnitte erstellt werden, die als Planungsgrundlage verwendet werden können. Ebenfalls wird eine detaillierte Scanausführung ange- dacht, welche analog zur hier behandelten Thematik ein Reverse Engineering einzelner Bauteile ermöglicht.

## 12 Literaturverzeichnis

- [Charta, 1964] «Charta von Venedig», Internationale Charta zur Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles (1964)
- [EKD, 2007] Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege EKD: Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz, vdf Hochschulverlag, 2007
- [SIA 269, 2011] Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, SN 505 269, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2011
- [SIA 269/1, 2011] Erhalten von Tragwerken – Teil 1: Einwirkungen, SN 505 269/1, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2011
- [SIA 269/5, 2011] Erhalten von Tragwerken – Teil 5: Holzbau, SN 505 269/5, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2011
- [Thümmler, 2016] Thümmler, Uli, Dpli.-Ing(FH); aus Vortrag an der Weiterbildung «Tragwerksplaner in der Denkmalpflege», Fulda, 2016

### 12.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hexagon Rohmer Absolute Arm mit Taster .....	17
Abbildung 2: generierte Flächen mit dem Taster des Hexagon Rohmer Absolute Arm(aus .stp-File via Rhino).....	17
Abbildung 3: Passgenauigkeit der generierten Flächen mit dem Modell(aus .stp-File) .....	18
Abbildung 4: Rohmer Absolut Arm mit Laserscanner und generierte Oberfläche des Prüfstückes .....	18
Abbildung 5: Generierte Oberfläche mit dem Laserscanner des Rohmer Absolut Arm(grün) mit darüber CAD-Zeichnung des Werkstückes .....	19
Abbildung 6: x- Schnitt des Drahtmodells des Laserscanner des Rohmer Absolut Arm mit x- Schnitt des Strebenmodells .....	19
Abbildung 7: FARO Messarm Quantum S mit Taster und Scanner .....	20
Abbildung 8: links: Oberfläche mittels FARO Messarm Quantum S(grün) mit CAD-Zeichnung des Werkstückes(as .stl), rechts: x-Schnitt des Drahtmodells des FARO Messarm Quantum S mit x-Schnitt der CAD-Zeichnung.....	20
Abbildung 9: Leica Scanstation P40, Laserscanner RTC360 und Laserscanner BLK360 (von links nach rechts) .....	21
Abbildung 10: Laser Scanner BLK 360 und Ausschnitt der CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des BLK360 .....	22
Abbildung 11: Laser Scanner RTC360 .....	23
Abbildung 12: Laser Scanner P40 und CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des P40.....	23
Abbildung 13: Laser Scanner Faro Focus S350 .....	24
Abbildung 14: Oberfläche mittels FARO Focus S350(grün) mit darüber CAD-Zeichnung des Werkstückes(aus .obj) .....	25
Abbildung 15: : Z- Schnitt des Drahtmodells des FARO Focus S350 mit Z- Schnitt der CAD-Zeichnung(aus .obj) .....	25
Abbildung 16: y- Schnitt des Drahtmodells des FARO Focus S350 mit y- Schnitt der CAD-Zeichnung(aus .obj) .....	26
Abbildung 17: DPI-8; CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegter Abbildung des Hand Scanner DPI-8 .....	27
Abbildung 18: Modell Artec Spider.....	28

Abbildung 19: CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegtem Netz des Scan Artec Spider, x-Schnitt .....	28
Abbildung 20: Modell Go!Scan 50 und Prüfstück .....	29
Abbildung 21: CAD-Zeichnung des Werkstückes mit darübergelegtem Netz des Creaform Go!Scan 50, x-Schnitt .....	29
Abbildung 22: Modell Handy!Scan 700 und Modell der Walliser Blockbauwand mit darübergelegtem Mesh der Handy!Scan .....	30
Abbildung 23: Punktewolke des Modellbauteils in Lexocad .....	33
Abbildung 24: «Freischneiden» von Punkten für Erstellung Polylinie .....	33
Abbildung 25: In Cadwork importierte Polylinien.....	34
Abbildung 26: Einlesen Scanrohdatei in «ReCap» .....	35
Abbildung 27: Eingelesene Punktewolke in «ReCap» .....	35
Abbildung 28: Werkzeug zur Erstellung eines Quaders .....	36
Abbildung 29: 3D-Aktivierung(unterer Pfeil) und Objektfang «Punkt»(oberer Pfeil) .....	36
Abbildung 30: Aktivierte Punkteerkennung(rechte mittige Objektseite) .....	36
Abbildung 31: konstruierter Volumenkörper mithilfe des Punktefangs .....	37
Abbildung 32: Segmentflächen zur Ermittlung der exakten Schnittkante .....	37
Abbildung 33: Auswahl des Objektfangs .....	37
Abbildung 34: Segmentflächen zur Ermittlung des exakten Schnittpunktes/ Schittlinie .....	38
Abbildung 35: Auswahl des Objektfangs .....	38
Abbildung 36: Segmentflächen zur Ermittlung der exakten Mittellinie des Volumens .....	38
Abbildung 37: Auswahl des Objektfangs .....	38
Abbildung 38: Volumenkörper aus Scan mit Creaform Go Scan und Weiterbearbeitung mit VXInspect .....	41
Abbildung 39: QR-Code des Blockwand-Modells .....	42
Abbildung 40: verlinkte Website des QR-Codes mit Galerie der Abbildungen und Dateien .....	42
Abbildung 41: Ersatzbeuteile bei einer Dachstuhlsanierung .....	44
Abbildung 43: Modell der Walliser Blockbauwand: Ansicht von «innen» mit Markierungen für Abbund und Beschriftung.....	46
Abbildung 44: Modell: Ansicht von «aussen».....	46
Abbildung 45: Ort des fehlenden Bauteil-Stückes .....	46
Abbildung 46: Original des zu reproduzierenden Sanierungsstückes .....	47
Abbildung 47: Visualisierung des Sanierungsbauteils .....	47
Abbildung 48: Verwendetes Gerät: Leica RTC360 .....	48
Abbildung 49: Punktewolke in «Lexocad » aus Scan mit RTC360 .....	50
Abbildung 50: Ansichten der Punktewolke in «Lexocad » .....	50
Abbildung 51: Positionierung der Clipping Box .....	51
Abbildung 52: Sichtbarer Teil der Punktewolke nach Aktivierung der Clipping Box.....	51
Abbildung 53: Erstelltes Basisvolumen .....	52
Abbildung 54: Erstellung dicke Clipping Box .....	52
Abbildung 55: Umwandlung in dünne Clipping Box.....	52
Abbildung 56: Acht erstellte Punkte .....	53
Abbildung 57: Neue Clippingbox und Knotenpositionierung an den Begrenzungsflächen.....	53
Abbildung 58: Endgültige Positionierung der Knoten an der Begrenzungsfläche.....	53
Abbildung 59: Neue Hilfslinie an der unteren Längskante .....	54
Abbildung 60: Ansicht des Basiskörpers.....	55
Abbildung 61: Kleine Kontaktflächen .....	55

Abbildung 62: Ansicht der Beispiel-Kontaktfläche .....	56
Abbildung 63: Erste Clipping Box.....	56
Abbildung 64: Sicht aus der Clipping Box .....	56
Abbildung 65: Vier Punkte der Kontaktfläche .....	57
Abbildung 66: Kontaktfläche.....	57
Abbildung 67: Exportobjekt aus «Lexocad » bestehend aus Rohvolumen und Pointcloud-Flächen .....	58
Abbildung 68: Zugeschnittenes Rohvolumen gemäss den Pointcloud-Flächen .....	59
Abbildung 69: Zwischenschritt .....	59
Abbildung 70: Zugeschnittenes und verschweisstes Bauteil .....	59
Abbildung 71: sichtbarer Offset in der Axometrie .....	60
Abbildung 72: noch sichtbarer Offset .....	60
Abbildung 73: kein Offset nach Verschieben der Flächen .....	60
Abbildung 74: Verwendetes Gerät: Creaform Handyscan 700 .....	61
Abbildung 75: Drahtmodell/ Mesh des Scans mit «Handyscan 700» .....	62
Abbildung 76: Passgenauigkeit des Drahtmodells gegenüber manuell aufgenommenem Modell .....	62
Abbildung 77: Transparentes Drahtmodell und Shading .....	63
Abbildung 78: Konstruierte Begrenzungsflächen zum späteren Verschneiden des Rohvolumens des Sanierungsstückes .....	64
Abbildung 79: markierte Beispieldfläche des Mesh.....	64
Abbildung 80: Ansicht der Beispieldfläche im Shading(links) und im transparenten Drahtmodell(rechts) .....	65
Abbildung 81: Zwei Hilfslinien (links, nicht sichtbar) und daraus erstellte Fläche(rechts) .....	65
Abbildung 82: Verschieben und Rotieren der Fläche bis zur besseren Übereinstimmung.....	66
Abbildung 83: Verschieben und Rotieren der Fläche bis zur guten Übereinstimmung.....	66
Abbildung 84: Gesamte Punktewolke in verschiedenen Ansichten.....	68
Abbildung 85: Ausgewählte Bereiche zur weiteren Bearbeitung.....	69
Abbildung 86: Finale Begrenzungsflächen.....	69
Abbildung 87: Selektion der relevanten Bereiche und Reduktion der Punktewolke .....	70
Abbildung 88: Fläche entstanden aus den gewählten Punkten mit der Option «PlaneThroughPt» .....	70
Abbildung 89: Erweiterte Begrenzungsflächen .....	71
Abbildung 90: Erstellter Volumenkörper .....	72
Abbildung 91: Einzelvolumina.....	72
Abbildung 92: «erkannte» Bearbeitungen und Brutto-Werkstück .....	74
Abbildung 93: Konfigurations-Oberfläche in Lignocam.....	75
Abbildung 94: Export-Oberfläche in «Cadwork 3D » .....	75
Abbildung 95: Bearbeitungsoberfläche in Lignocam .....	76
Abbildung 96: Importiertes .igs-Format in Alphacam .....	77
Abbildung 97: Detailansicht des Ausschnittes .....	77
Abbildung 98: Erstellter Volumenkörper .....	78
Abbildung 99: Positionierung des rohen Werkstückes in der Anlage.....	78
Abbildung 100: Bedienoberfläche der CNC-Anlage .....	79
Abbildung 101: gefräste erste Fläche und gefräster Schlitz .....	79
Abbildung 102: gefräste Aussparung der ersten Fläche .....	80
Abbildung 103: fertig abgebundes Sanierungsstück und entstandene Abweichungen aufgrund der Bearbeitungsschritte .....	80
Abbildung 104: Referenzebene für den Winkel der Längsverbindung .....	81

---

Abbildung 105: Vorgehen des Einbaus, verwendete Werkzeuge und Hilfsmittel.....	82
Abbildung 106: Prozesskette vom Objekt zum maschinell erstellten Fertigteil .....	87

---

## 12.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der typischen Methoden der Zustandserfassung von Holzkonstruktionen, auf Grundlage von [SIA 269/5, 2011].....	10
Tabelle 2: Übersicht Geräte und erzeugte Schnittstellen .....	32
Tabelle 3: Übersicht Sanierungsbauteile .....	81
Tabelle 4: Eingebaute Sanierungsbauteile .....	81
Tabelle 5: Vergleich der Aussenabmessungen anhand von Fotos.....	82
Tabelle 6: Vergleich der Eckverbindungen anhand von Fotos.....	83

---

## 13Anhang: Data Sheet Leica RTC360

# Leica RTC360 3D Reality Capture Solution

Fast. Agile. Precise.



### Fast

The Leica RTC360 laser scanner makes 3D reality capture faster than ever before. With a measuring rate of up to 2 million points per second and advanced HDR Imaging system, the creation of coloured 3D point clouds can be completed in under 2 minutes. Plus, automated targetless field registration (based on VIS technology) and the seamless, automated transfer of data from site to office reduce time spent in the field and further maximise productivity.



### Agile

Small and lightweight, the Leica RTC360 scanner's portable design and collapsible tripod mean it's compact enough to fit into most backpacks, ready to be taken anywhere. Once on-site, easy-to-use one-button operation makes for fast, hassle-free scanning.



### Precise

Low noise data allows for better images, resulting in crisp, high-quality scans that are rich in detail and ready for use in a range of applications. Combined with Cyclone FIELD 360 software for automated registration in the field, the Leica RTC360 scanner offers outstanding precision that can be checked on-site.



[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)



- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems

# Leica RTC360 Product Specifications

GENERAL	
3D Laser Scanner	High-speed 3D laser scanner with integrated HDR spherical imaging system and Visual Inertial System (VIS) for real time registration
PERFORMANCE	
Data acquisition	< 2 min for complete full dome scan and spherical HDR image at 6mm @ 10m resolution
Real time registration	
Real time registration	Automatic point cloud alignment based on real time tracking of scanner movement between setups based on Visual Inertial System (VIS) by video-enhanced inertial measurement unit
Double scan	Automatic removal of moving objects
SCANNING	
Distance measurement	High-speed, high dynamic time of flight enhanced by Waveform Digitizing (WFD) technology
Laser Class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014), 1550nm (invisible)
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range	Min. 0.5 - up to 130 m
Speed	Up to 2'000'000 pts / sec
Resolution	3 user selectable settings (3/6/12mm @ 10m)
Accuracy*	Angular accuracy 18" Range accuracy 1.0 mm + 10 ppm 3D point accuracy 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m
Range noise**	0.4 mm @ 10 m, 0.5 mm @ 20 m
IMAGING	
Camera	36 MP 3-camera system captures 432 MPx raw data for calibrated 360° x 300° spherical image
Speed	1 minute for full spherical HDR image at any light condition
HDR	Automatic, 5 brackets
NAVIGATION SENSORS	
Visual Inertial System	Video enhanced inertial measuring system to track movement of the scanner position relative to the previous setup in real time
Tilt	IMU based, Accuracy: 3' for any tilt
Additional sensors	Altimeter, Compass, GNSS
OPERATION	
On scanner	Touch-screen control with finger touch, full colour WVGA graphic display 480 x 800 pixels
Mobile devices	Leica Cyclone FIELD 360 app for iPad or Android tablets including: - Remote control of scan functions - 2D & 3D data viewing - Tagging - Automatic alignment of scans
Wireless	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Data storage	Leica MS256, 256GB exchangeable USB 3.0 flash drive
DESIGN & PHYSICAL	
Housing	Aluminium frame and sidecovers
Dimensions	120mm x 240mm x 230mm / 4.7" x 9.4" x 9.1"
Weight	5.35kg / 11.7 lbs, nominal (w/o batteries)
Mounting mechanism	Quick mounting on 5/8" stub on lightweight tripod / optional tribrach adapter / survey tribrach adapter available
POWER	
Internal battery	2 x Leica GEB361 internal, rechargeable Li-Ion batteries. Duration: Typically up to 4 hours Weight: 340 g per battery
External	Leica GEV282 AC adapter
ENVIRONMENTAL	
Operating temperature	-5° to +40° C
Storage temperature	-40° to +70° C
Dust/Humidity***	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)



Leica Cyclone FIELD 360      Leica Cyclone REGISTER 360      Leica ScanStation P50

All specifications are subject to change without notice.

All accuracy specifications are on a level of confidence of 68% according to the Guide of the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM100:2008) unless otherwise noted.

\* At 89% albedo.

\*\* For single shot measurements

\*\*\* For upright and upside down setups with a +/- 15° inclination

Scanner: Laser class 1 in accordance with IEC60825:2014

iPhone and iPad are trademarks of Apple Inc.

Android is a trademark of Google.

## active» Customer Care

### Your Trusted Active Customer Care

Active Customer care is a true partnership between Leica Geosystems and its customers. Customer Care Packages (CCPs) ensure optimally maintained equipment and the most up-to-date software to deliver the best results for your business. The myWorld @ Leica Geosystems customer portal provides a wealth of information 24/7.

Illustrations, descriptions and technical specifications are not binding and may change.

All rights reserved. Printed in Switzerland – Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2018. 872750en - 06.18

### Leica Geosystems AG

Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg, Switzerland  
+41 71 727 31 31

- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems

## 14 Anhang: Data Sheet GoScan

TECHNISCHE DATEN		
	GO!SCAN 20™	GO!SCAN 50™
	 <p>Dank seiner höheren Auflösung ist der GO!SCAN 20 perfekt für die Messung kleiner Objekte mit aufwendigen Details.</p>	 <p>Mit seinem größeren Sichtfeld eignet sich der GO!SCAN 50 besonders für das schnelle, mühelose Scannen mittlerer bis großer Objekte.</p>
<b>Genauigkeit</b>	Bis zu 0,100 mm	
<b>Volumetrische Genauigkeit*</b>	0,300 mm/m	
<b>Auflösung</b>	0,100 mm	0,500 mm
<b>Messrate</b>	550.000 Messungen/s	
<b>Lichtquelle</b>	Weißlicht (LED)	
<b>Positionierungsmethoden</b>	Geometrie und/oder Farbe und/oder Zielpunkte	
<b>Scan-Bereich</b>	143 x 108 mm	380 x 380 mm
<b>Abstand</b>	380 mm	400 mm
<b>Schärfentiefe</b>	100 mm	250 mm
<b>Größenbereich der Teile (empfohlen)</b>	0,05–0,5 m	0,3–3,0 m
<b>Strukturauflösung</b>	50–250 DPI	50–150 DPI
<b>Strukturfarben</b>	24 bits	
<b>Software</b>	VXelements	
<b>Ausgabeformate</b>	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	
<b>Kompatible Software</b>	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault Systèmes (CATIA V5 und SolidWorks), PTC (Pro/ENGINEER), Siemens (NX und Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)	
<b>Gewicht</b>	930 g	950 g
<b>Abmessungen</b>	154 x 178 x 235 mm	150 x 171 x 251 mm
<b>Anschluss</b>	1 x USB 2.0	
<b>Betriebstemperaturbereich</b>	5–40 °C	
<b>Luftfeuchtigkeit bei Betrieb (nicht kondensierend)</b>	10–90%	

\*Bei Positionierungszielpunkten oder Objekten, die genügend geometrische Daten/Farbtexturen für eine Positionierung aufweisen.

## 15 Anhang: Data Sheet Creaform Handy!Scan

TECHNISCHE DATEN			
HANDYSCAN 300™		HANDYSCAN 700™	
	Sie suchen ein hocheffizientes Verfahren für das Reverse Engineering und/oder Design? Dann ist der HandySCAN 300 als zuverlässiges Werkzeug die richtige Wahl für Sie.		Der HandySCAN 700 überzeugt durch höhere Genauigkeit, Schnelligkeit und Auflösung. Dies ist der vielseitigste 3D-Scanner für <b>Prüfungen</b> und <b>anspruchsvolles Reverse Engineering</b> .
Genaugkeit	Bis zu 0,040 mm	Bis zu 0,030 mm	
Volumetrische Genauigkeit*	0,020 mm + 0,100 mm/m	0,020 mm + 0,060 mm/m	
Volumetrische Genauigkeit mit MaxSHOT Next™	0,020 mm + 0,025 mm/m		
Volumetrische Genauigkeit mit MaxSHOT Next™ Elite	0,020 mm + 0,015 mm/m		
Auflösung	0,100 mm	0,050 mm	
Messrate	205.000 Messungen/s	480.000 Messungen/s	
Lichtquelle	3 Laser-Fadenkreuze	7 Laser-Fadenkreuze (+1 zusätzliche Linie)	
Laserklasse	2M (ungefährlich für das Auge)		
Scan-bereich	225 x 250 mm	275 x 250 mm	
Abstand	300 mm		
Schärfentiefe	250 mm		
Größenbereich der teile (empfohlen)	0,1 – 4 m		
Software	VXelements		
Ausgabeformate	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr		
Kompatible software	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault Systèmes (CATIA V5 und SolidWorks), PTC (Pro/ENGINEER), Siemens (NX und Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)		
Gewicht	0,85 kg		
Abmessungen	77 x 122 x 294 mm		
Anschluss	1 X USB 3.0		
Betriebstemperaturbereich	5-40 °C		
Luftfeuchtigkeit bei betrieb (nicht kondensierend)	10-90%		