

# Oldenburger 3D Tage 2024



## Qualitätsbeurteilung von Punktwolken und 3D-Modellen für unterschiedliche Anwendungen

- Architektur
- Industrie und Anlagenbau
- Schiffbau
- Wasserbau und Wasserkraft



# Qualitätsbeurteilung von Punktwolken und 3D-Modellen

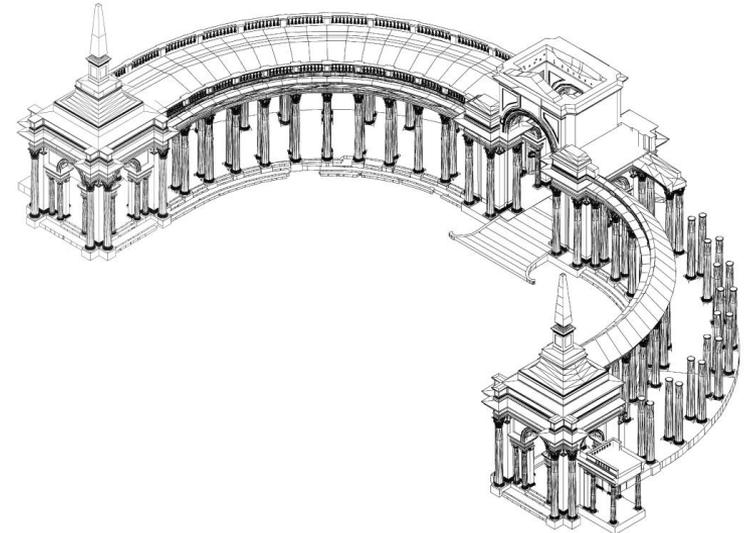
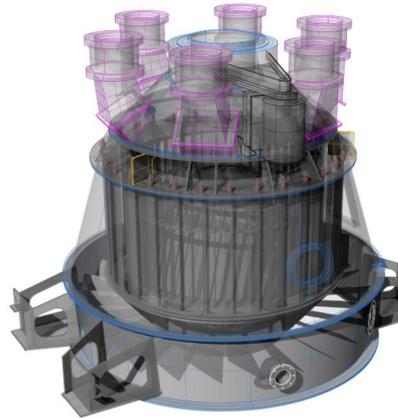
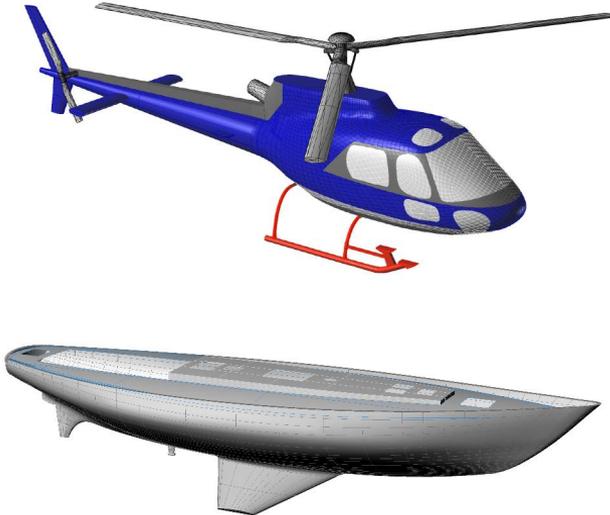
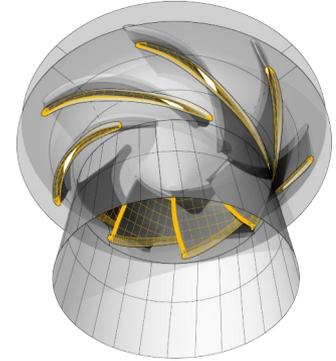
## Gliederung

- 1) Ausgangssituation
- 2) Aufnahmekonfiguration
- 3) Datenaufbereitung
- 4) Gesamtpunktwolken
- 5) CAD Modellierung
- 6) Modellprüfung
- 7) Ergebnisdokumentation
- 8) Beispiele
- 9) Fazit



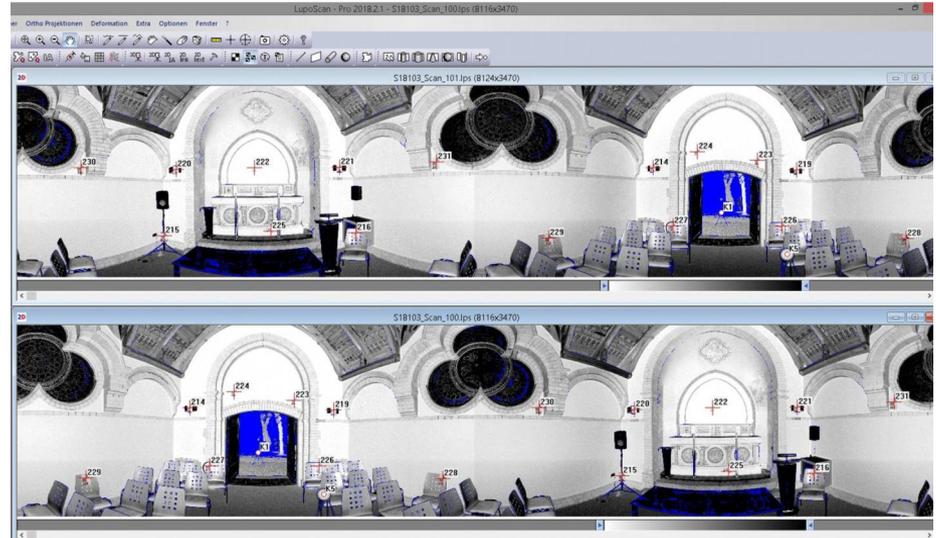
# 1. Ausgangssituation

- Geometrische Erfassung eines Objekts
  - Aufgabenstellung
    - ergibt sich in der Regel aus der weiteren Verwendung der Vermessungsergebnisse
  - Genauigkeitsanforderungen
    - Toleranzen für die Weiterverarbeitung
  - Auswahl der Sensoren, Software und Dateiformate



## 2) Aufnahmekonfiguration

- Prüfung der Sensoren zu Beginn
  - regelmäßige Rezertifizierung (Rekalibrierung) voraus gesetzt
  - ggf. Optimierung durch einen Messablauf zur Ermittlung von Korrekturen der Kalibrierung



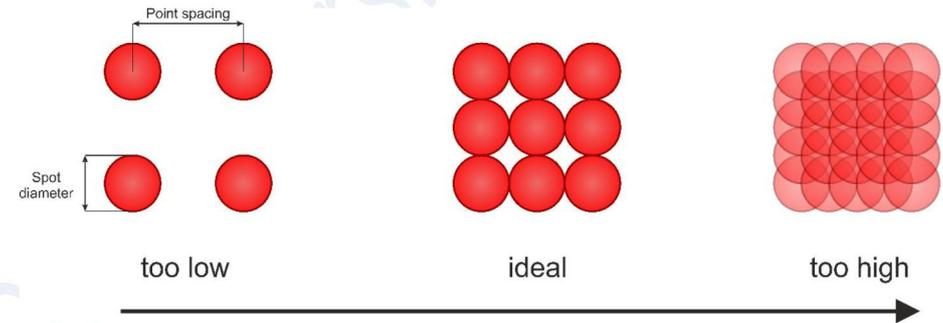
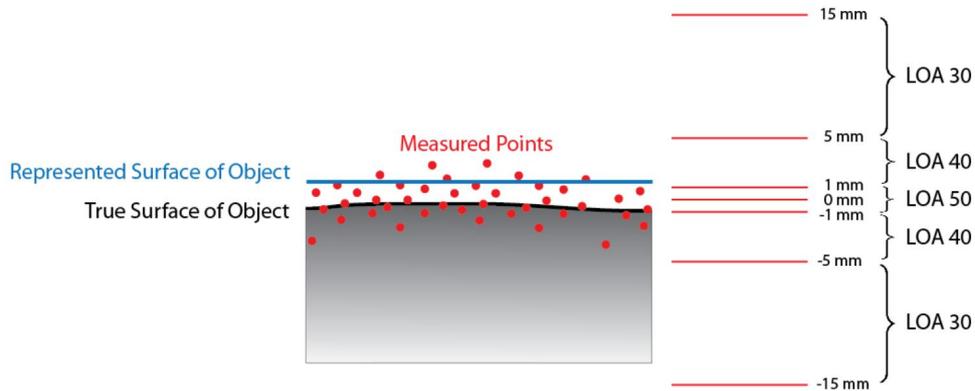
## 2) Aufnahmekonfiguration

- Vorbereitung der Messumgebung mit ausreichenden Referenzen
  - Ebenen (vorhandene), Zielmarken, Kugeln



## 2) Aufnahmekonfiguration

- Einstellung der Parameter zum Scannen
  - Auflösung, Geschwindigkeit, etc.
  - Berücksichtigung
    - Systematische Fehler
    - Strahlenaufweitung
    - Messrauschen



Grafik links und rechts: USIBD Level of Accuracy Specification Guide

### 3) Aufbereitung der Messdaten

- Import der Rohdaten
  - erste Filterung beim Import
- Registrierung der Laserscans
  - manuelle / automatische Detektion von Referenzen (Zielmarken, Kugeln) - Software „LupoScan“
  - Ebenendetektion innerhalb der Einzelscans
  - Vororientierung mit mindestens 3 Referenzen (Ebenen, Zielmarken, etc.)

ls Import

	Filter
<input checked="" type="checkbox"/> Isolierte Punkte [m]	0.0500
<input checked="" type="checkbox"/> Minimale Strecke [m]	0.1000
<input checked="" type="checkbox"/> Maximale Strecke [m]	65.0000
<input checked="" type="checkbox"/> Minimale Intensität [%]	1.000
<input checked="" type="checkbox"/> Maximale Intensität [%]	99.000
<input checked="" type="checkbox"/> Auftreffwinkel [°]	10.000



### 3) Aufbereitung der Messdaten

- „Feinorientierung“ über alle Referenzen (Ebenen, Zielmarken, etc.) - Software „Scantra“
  - Voraussetzung: genügend identische Bereiche in den Scans
  - Netzausgleichung, Voraussetzung: geschlossene Polygone oder mindestens ausreichend dichte Scanstandorte zur Überbestimmung der Registrierung

Adjusted Translation Parameters of Stations

No	Station	tx	ty	tz	sigma_x	sigma_y	sigma_z	sigma_t
1	S21088_Q2_100	2.929	8.764	0.113	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
2	S21088_Q2_101	2.786	7.129	0.123	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
3	S21088_Q2_102	2.559	5.722	0.222	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	S21088_Q2_103	0.119	5.892	0.180	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
5	S21088_Q2_104	3.067	2.737	0.119	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
6	S21088_Q2_105	0.092	2.832	0.111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
7	S21088_Q2_106	2.265	-0.304	0.068	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
8	S21088_Q2_108	-2.203	0.108	-0.008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
9	S21088_Q2_109	-2.814	1.567	0.018	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
10	S21088_Q2_110	-2.758	3.110	0.050	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
11	S21088_Q2_111	2.556	-1.056	-0.051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
12	S21088_Q2_112	2.453	-3.016	0.031	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
13	S21088_Q2_113	0.454	-1.272	-0.002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
14	S21088_Q2_114	-1.543	-1.227	-0.002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
15	S21088_Q2_115	1.809	2.413	0.128	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
16	S21088_Q2_134	-0.430	-0.640	-0.008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

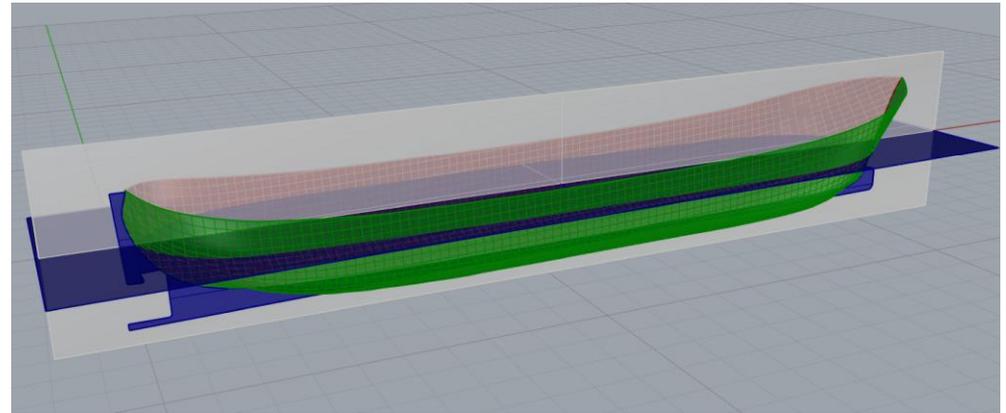
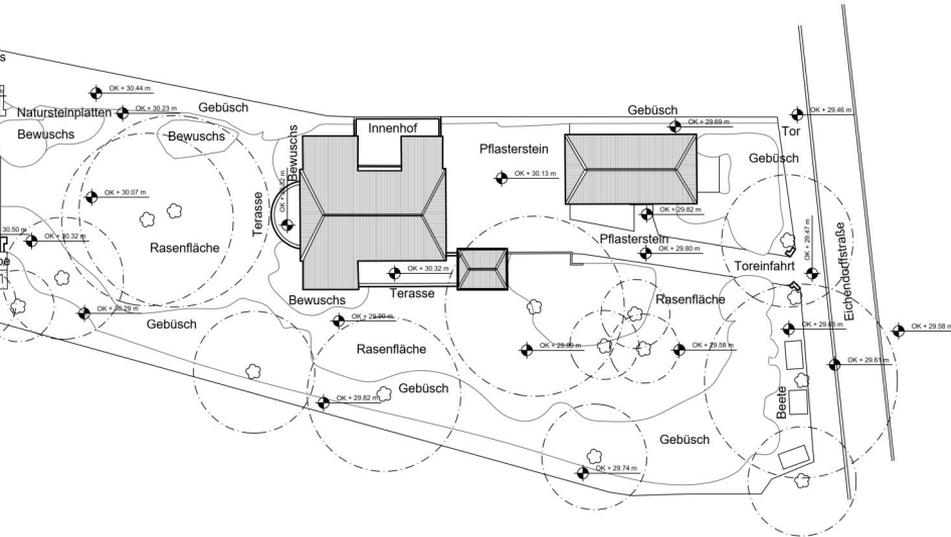
Standardabweichung

0.000125

*hier: Standardabweichung  
Orientierung +/- 0,1 mm*

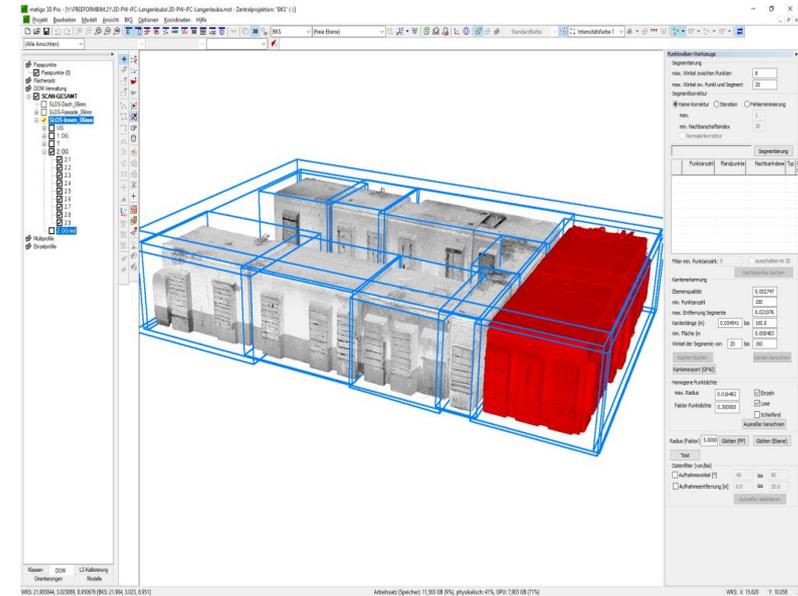
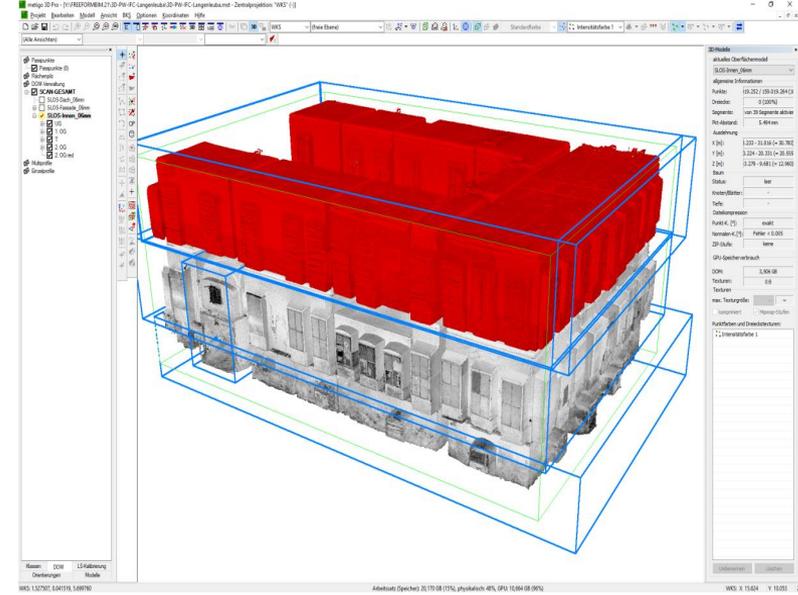
### 3) Aufbereitung der Messdaten

- Transformation der Punktwolken
  - lokal (Objektkoordinatensystem) / global (Amtliches System)
  - signalisierte / eingemessene Festpunkte
  - stabile / dynamische Transformation
  - in Abhängigkeit der Genauigkeit der Festpunkte



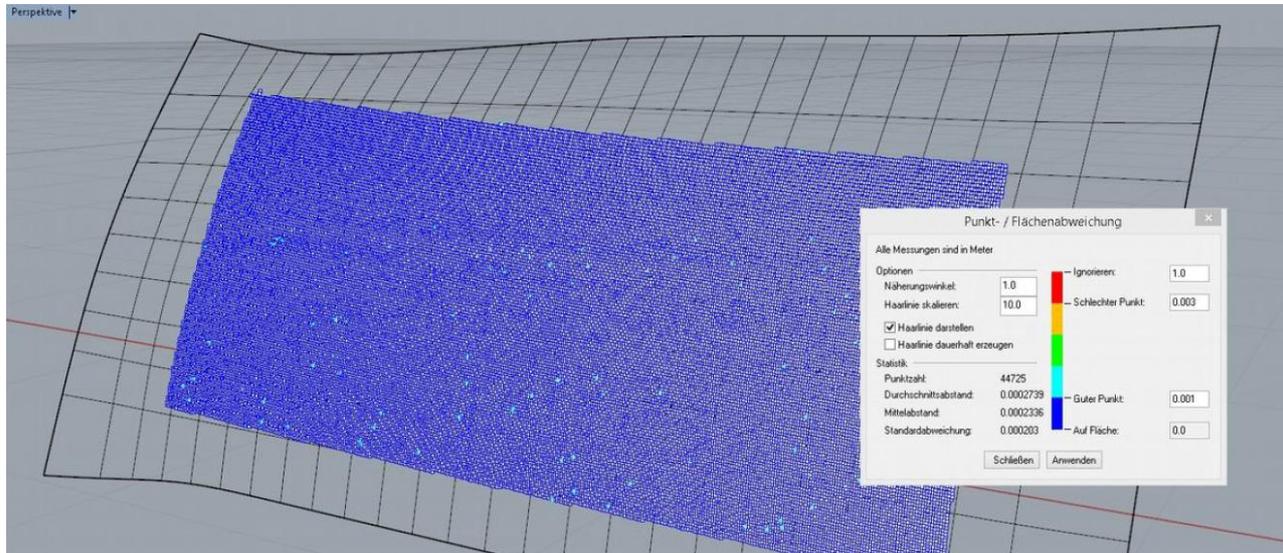
# 4) Prozessierung der Punktwolken

- Erzeugen von Gesamtpunktwolken
  - strukturierte Segmentierung
  - hierarchisierte Filterung beim „Verschmelzen“ der Einzelscans
  - Entfernung, Auftreffwinkel, Intensität, Umgebungsprüfung (Nachbarschaften), ggf. Ausgleichung (Voxelfilterung durch Mittelwertbildung)
- sinnvolle Zielauflösung in Abhängigkeit der Objekte und Aufgabenstellung
  - ggf. dynamische Reduzierung der Auflösung in Abhängigkeit der Ebenheit
- Segmentierung der Punktwolken
  - Etagen, Räume, Bauteile, Objekte, Teilflächen – Software „metigo 3D“
- Export in ein geeignetes Format, besser: Nutzung einer Software (Punktwolke ↔ CAD) mit interaktiver Schnittstelle
  - z.B. LupoScan – Rhinoceros (CAD)



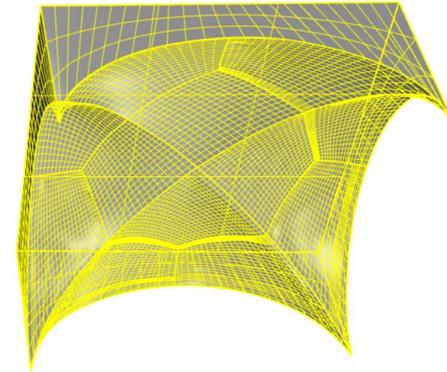
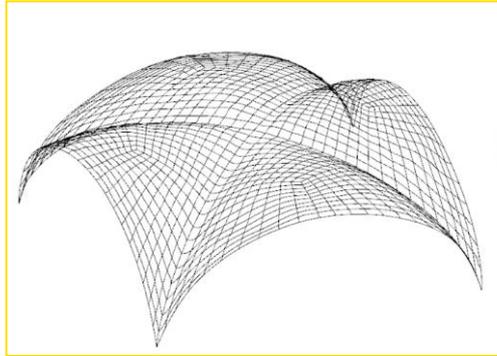
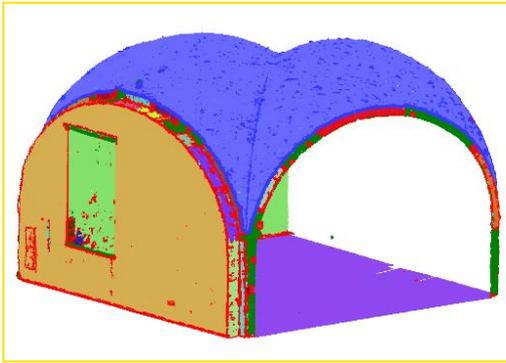
## 5) CAD Modellierung

- Rückführung der Punktwolken zur CAD Objekten
  - Entscheidung über das zulässige Maß der Generalisierung in Abhängigkeit der Aufbereitung
  - Flächenrückführung direkt auf der Punktwolke
  - Vorteil: höhere Kontrolle über den geometrischen Aufbau gegenüber dem Umweg über Vermaschungen
  - Aufbau von Freiformflächen durch Kurvennetzwerke
  - Festlegung der Kurvenverteilung und Kurvengrade (Ableitbarkeit, Steifigkeit, etc.)



## 5) CAD Modellierung

- Erstellung von Flächenverbänden und Volumenkörpern zur Abbildung der Bauteile und Baugruppen
- Iterative Modellprüfung durch Abgleich mit der Punktwolke



Freeform4BIM

**HTW**D

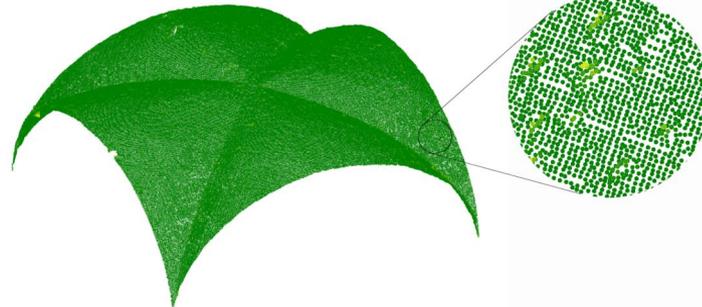
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

fokus  
GmbH Leipzig

0.1505

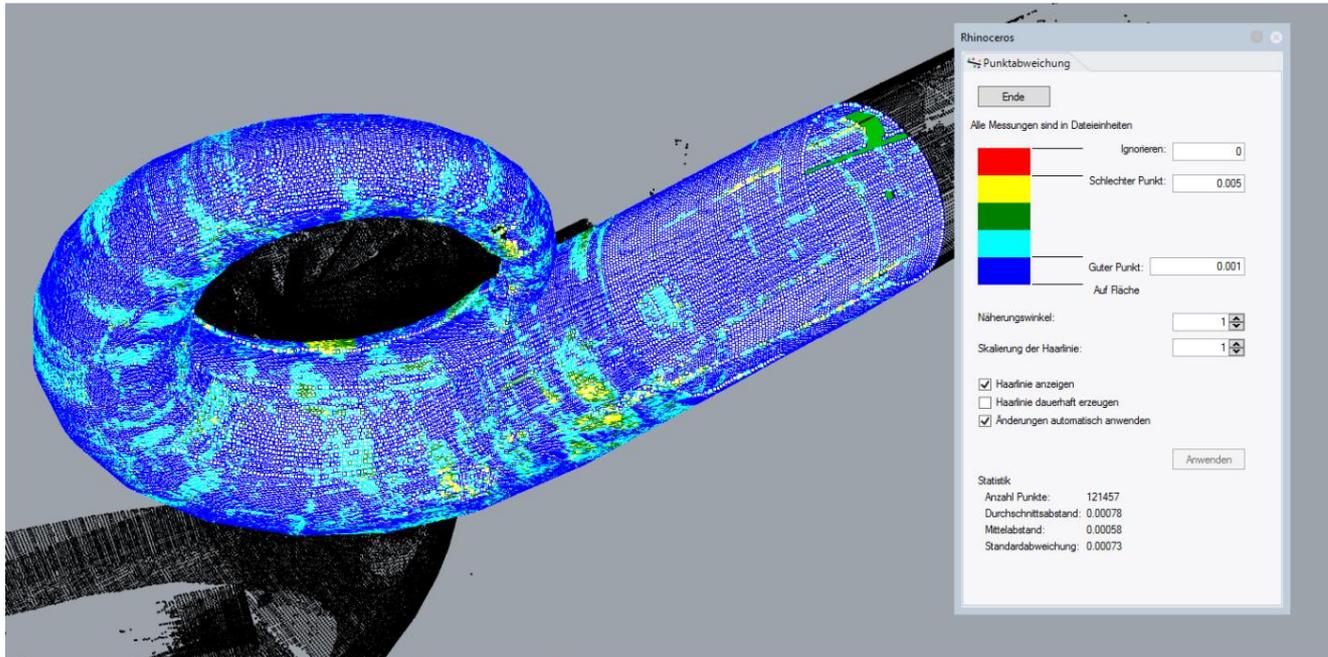


0



## 6) Prüfung der 3D-Modelle

- Vergleich Modelloberflächen ↔ Punktwolken
  - Bestimmung der Standardabweichung und maximalen Fehler
  - Visualisierung der Modellprüfung bei Bedarf
  - ggf. Optimierung der Modelle bei Überschreitung der festgelegten Toleranz



(Standardabweichung Spirale 0,7 mm)

## 7) Dokumentation der Ergebnisse

- Beschreibung der Qualität der Punktwolken
  - Aufnahmezeitraum und verwendete Sensoren
  - Qualität der Registrierung und Netzausgleichung
  - Beschreibung der systematischen Fehler (Rauschen, etc.) zur Abschätzung der Genauigkeit der Einzelkoordinaten
- Beschreibung der Transformation
  - Objektkoordinatensystem, lokales Koordinatensystem, globales Koordinatensystem
- Beschreibung der Qualität der Modelle
  - Standardabweichungen
  - durchschnittlicher Fehler
  - maximaler Fehler
- Einordnung und Verwendbarkeit der Dateiformate



# 7) Dokumentation der Ergebnisse

- schriftliche Zusammenfassung der Ergebnisse

S22078  
Wehr Ornau – Vermessung mittels 3DLaserscanning

Wehr Ornau

**Wehr Ornau - Vermessung mittels 3D-Laserscanning**

Ausgeführt durch: Michael Felsberg  
Zeitraum: 19.10.2023

**1 Verfahren der Aufnahme**  
Aufnahmeverfahren: Terrestrisches Laserscanning  
Modell 3D Scanner: Faro focus S350  
Systematische Fehler: +/- 1mm in 25m

**2 Aufbereitung der Scandaten**  
Orientierung: Ebenenbasierte Referenzierung mit Netzausgleichung  
Genauigkeit: **Standardabweichung Wehr +/- 0,9 mm**

Transformation: Überführung in ein lokales Koordinatensystem

**3 Ergebnis / Genauigkeit**  
Modellierung: Ausgeglichenen Flächenrückführung  
Standardabweichung: **Vergleich Freiformflächen - Punktwolke -> < 2 mm**  
Ergebnis: NURBS-Modell  
Dateiformate: STP, DWG, 3DM (bevorzugter Import 3DM)

**4 Anmerkungen**  
Das Wehr wurde im z.T. nassen Zustand gemessen. Die Oberflächeneigenschaften beeinflussen die Genauigkeit erheblich und erhöhen gleichzeitig den Aufwand der Flächenrückführung.  
Die aus den nassen Bereichen resultierenden Messfehler wurden durch den Aufbau ausreichend steifer Flächen reduziert, gehen aber in die Berechnung der Standardabweichung mit ein.  
Die Gummidichtungen wurden exemplarisch modelliert.  
Insgesamt ist aber davon auszugehen, dass die Präzision bezogen auf die Stahl- und Betonoberflächen in den glatten und sauberen Bereichen geringer ist und eine Toleranz von < 2 mm aufweist.

S22078  
Wehr Ornau

S22078  
Wehr Ornau

**Parameter der Stationen**

Station	tx	ty	tz	sigma_x	sigma_y	sigma_z	sigma_f
178_O2_1000	4.070	-10.340	2.339	0.0006	0.0006	0.0010	0.0013
178_O2_1001	-4.928	-13.764	2.006	0.0012	0.0005	0.0010	0.0020
178_O2_1002	-7.876	-14.690	2.902	0.0014	0.0007	0.0018	0.0024
178_O2_1003	-1.456	7.364	3.117	0.0006	0.0003	0.0007	0.0010
178_O2_1004	-7.872	11.249	2.771	0.0010	0.0005	0.0013	0.0017
178_O2_1005	0.841	10.781	2.470	0.0014	0.0004	0.0019	0.0024
178_O2_1006	1.983	23.396	2.497	0.0015	0.0004	0.0021	0.0026
178_O2_1007	4.707	18.834	2.387	0.0012	0.0004	0.0017	0.0022
178_O2_1008	-1.227	4.713	1.621	0.0006	0.0002	0.0006	0.0009
178_O2_1011	-2.012	3.698	1.627	0.0005	0.0002	0.0005	0.0007
178_O2_1012	11.956	9.323	1.806	0.0007	0.0007	0.0011	0.0016
178_O2_1013	0.384	5.718	2.231	0.0007	0.0004	0.0007	0.0011
178_O2_1015	7.014	3.535	2.256	0.0005	0.0005	0.0007	0.0010
178_O2_1016	6.952	-3.487	2.258	0.0003	0.0004	0.0007	0.0009
178_O2_1017	4.330	-3.321	2.241	0.0003	0.0004	0.0005	0.0007
178_O2_1018	4.344	-1.103	2.395	0.0003	0.0004	0.0005	0.0007
178_O2_1019	4.406	2.844	2.373	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006
178_O2_1020	-6.314	3.644	3.137	0.0005	0.0004	0.0007	0.0010
178_O2_1021	14.480	-8.228	1.873	0.0014	0.0016	0.0030	0.0037
178_O2_1022	-6.312	-2.609	3.095	0.0004	0.0004	0.0007	0.0009
178_O2_1023	-8.972	-2.972	3.092	0.0004	0.0003	0.0005	0.0007
178_O2_1024	1.454	-2.838	1.629	0.0003	0.0002	0.0004	0.0005
178_O2_1025	-1.705	-2.945	1.629	0.0003	0.0002	0.0005	0.0006
178_O2_1026	3.931	2.984	-2.113	0.0002	0.0002	0.0005	0.0006
178_O2_1027	4.944	-2.171	-2.113	0.0002	0.0002	0.0005	0.0006
178_O2_1028	6.962	-3.182	-1.646	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004
178_O2_1030	0.449	-0.708	-1.733	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003
178_O2_1032	0.628	3.002	-1.731	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004
178_O2_1033	1.304	3.813	-2.991	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005
178_O2_1034	-8.927	2.103	-1.717	0.0002	0.0002	0.0004	0.0006
178_O2_1038	-8.878	0.769	-1.779	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004
178_O2_1037	-8.903	-0.890	-1.777	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004
178_O2_1038	-8.913	-2.289	-1.767	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
178_O2_1039	2.286	2.862	-2.215	0.0001	0.0001	0.0004	0.0005
178_O2_1040	-8.241	0.456	-1.190	0.0002	0.0002	0.0005	0.0006
178_O2_1041	-8.886	-3.191	0.643	0.0003	0.0002	0.0004	0.0005
178_O2_1042	-1.260	1.260	0.001	0.0004	0.0001	0.0002	0.0002
178_O2_1043	-1.274	-2.423	-0.177	0.0002	0.0002	0.0004	0.0005
178_O2_1044	1.226	-2.232	-1.310	0.0004	0.0003	0.0005	0.0007
178_O2_1045	-1.070	2.579	-0.044	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003
178_O2_1046	-2.247	-0.200	-2.001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003
178_O2_1048	0.297	-3.284	-0.160	0.0001	0.0001	0.0003	0.0004
178_O2_1049	-3.816	-3.646	-1.634	0.0004	0.0003	0.0005	0.0006
178_O2_1050	-1.431	-2.827	1.637	0.0003	0.0002	0.0005	0.0006
178_O2_1051	1.960	1.430	1.604	0.0003	0.0003	0.0005	0.0006
178_O2_1052	2.206	4.899	1.630	0.0005	0.0003	0.0005	0.0006
178_O2_1053	6.609	3.893	1.636	0.0005	0.0003	0.0005	0.0007
178_O2_1054	-0.844	-4.826	-1.736	0.0006	0.0006	0.0010	0.0014
178_O2_1055	0.844	-4.872	-1.735	0.0006	0.0006	0.0010	0.0014
178_O2_1056	-6.890	-6.024	-1.635	0.0006	0.0010	0.0012	0.0016
178_O2_1057	-1.443	-6.896	-2.033	0.0006	0.0008	0.0010	0.0014
178_O2_1058	-6.778	-6.063	-2.068	0.0006	0.0014	0.0011	0.0019
178_O2_1059	6.646	-6.013	-1.627	0.0006	0.0015	0.0012	0.0020
178_O2_1060	6.823	-4.036	-1.634	0.0006	0.0011	0.0010	0.0016
178_O2_1061	6.548	-4.046	-3.075	0.0007	0.0007	0.0017	0.0013
178_O2_1062	3.521	-4.328	-1.837	0.0006	0.0012	0.0011	0.0017
178_O2_1063	-3.957	-4.141	-1.388	0.0006	0.0008	0.0011	0.0015
178_O2_1064	-6.617	-4.286	-3.070	0.0007	0.0012	0.0012	0.0010
178_O2_1065	-1.773	-6.899	1.628	0.0004	0.0005	0.0007	0.0010
178_O2_1066	-1.418	-4.767	-1.647	0.0004	0.0004	0.0006	0.0008
178_O2_1067	-1.385	-6.529	2.698	0.0004	0.0005	0.0007	0.0010

ng (Ausgleichung): 0.0011

S22078  
Wehr Ornau

S22078  
Wehr Ornau

**Definition lokales Koordinatensystem**

0  
No.1003 Y  
02 [m]  
05 0.0000  
06 0.0000  
07 0.0000  
08 0.0000

**Punktwolke - 3D Modell gesamt**

0.00105 m

S22078  
Wehr Ornau

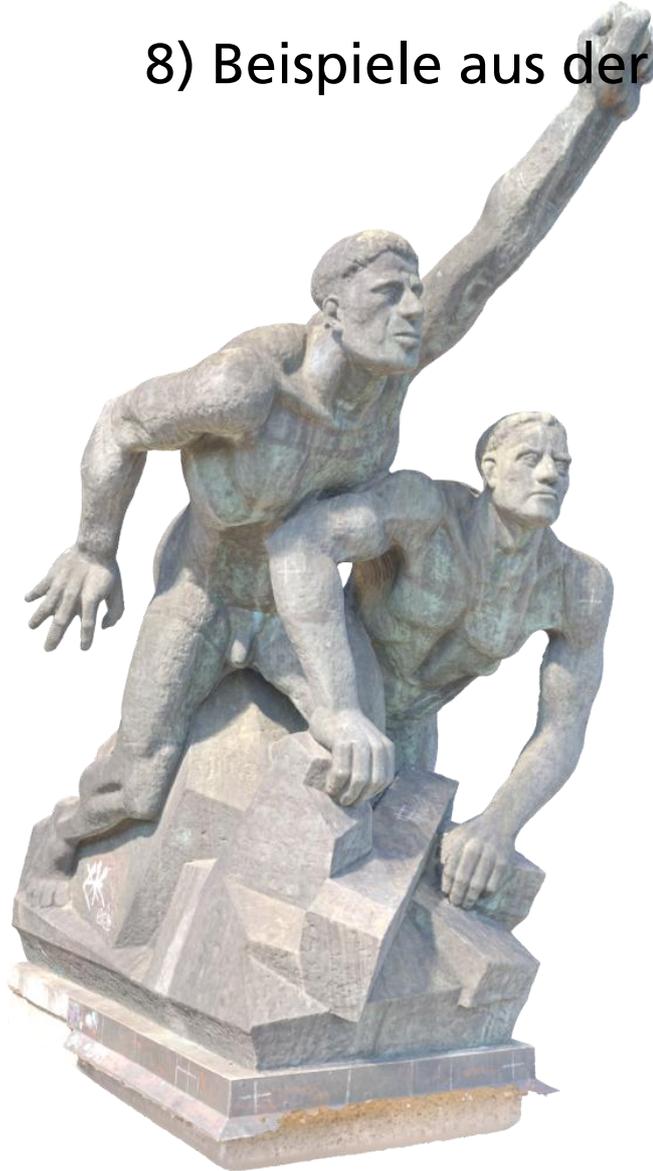
S22078  
Wehr Ornau

**Punktwolke - Wehrklappe**

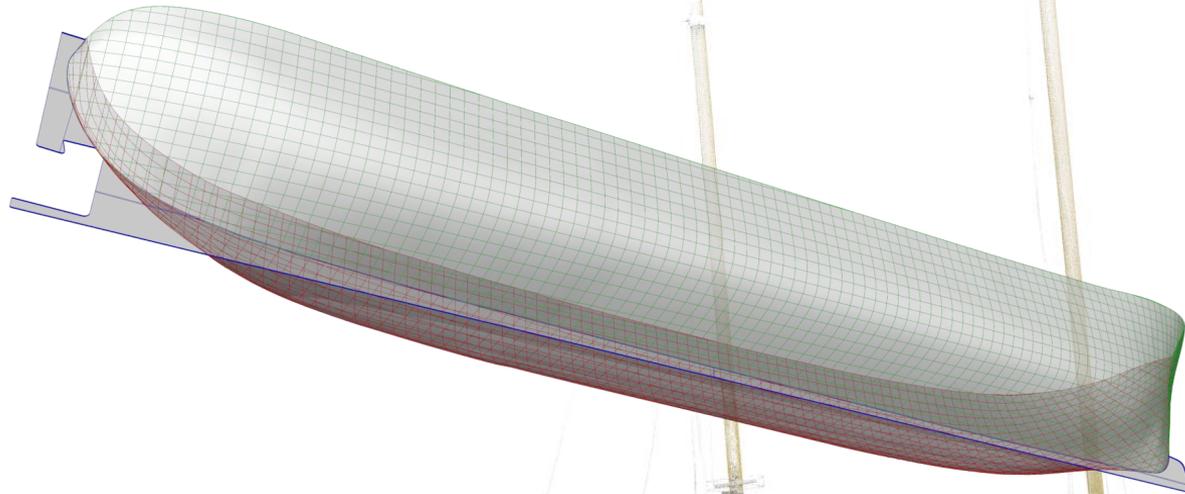
0.0114 m

S22078  
Wehr Ornau

# 8) Beispiele aus der Praxis

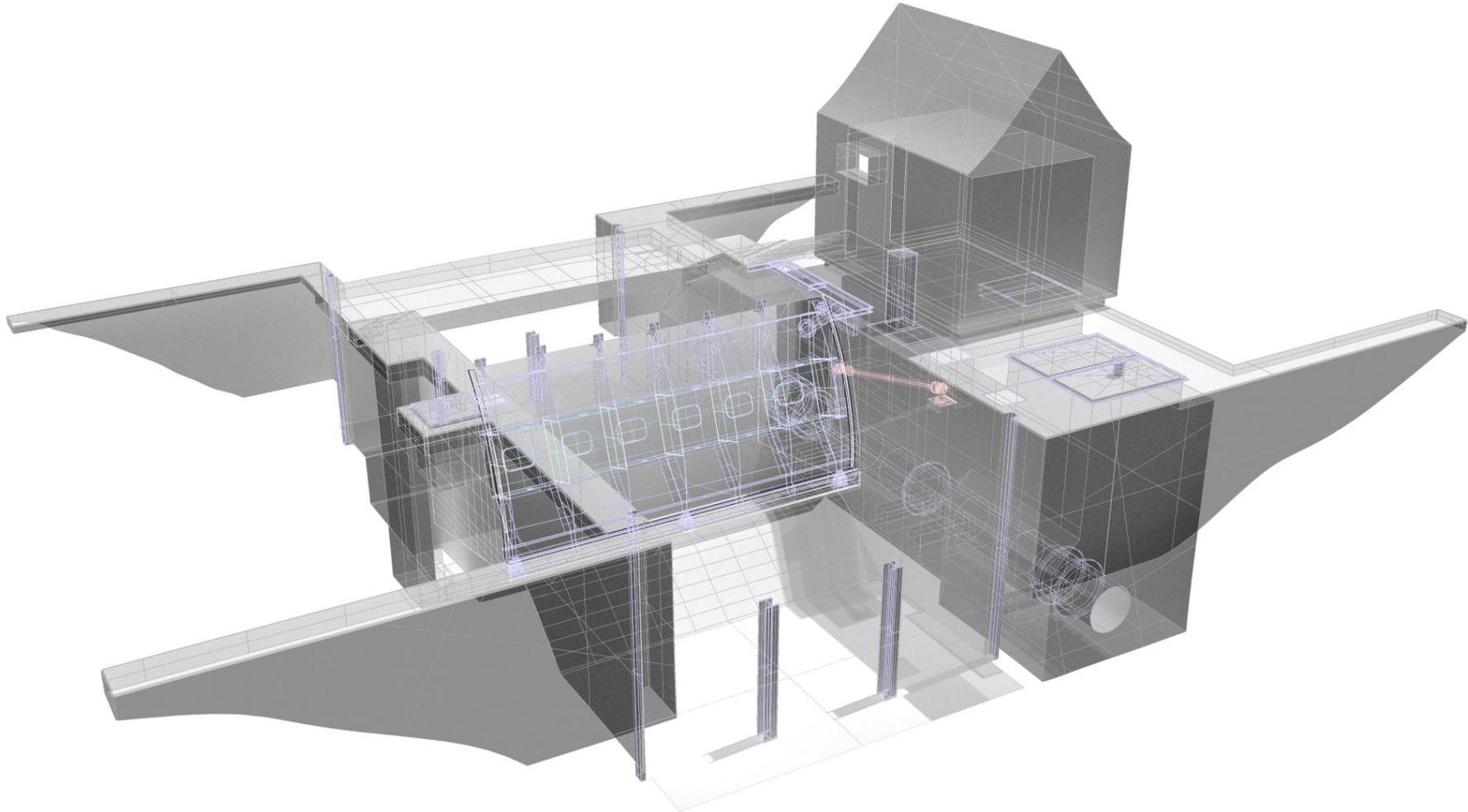


## 8) Greenpeace Beluga II



*Erreichte Standardabweichung +/- 4 mm*

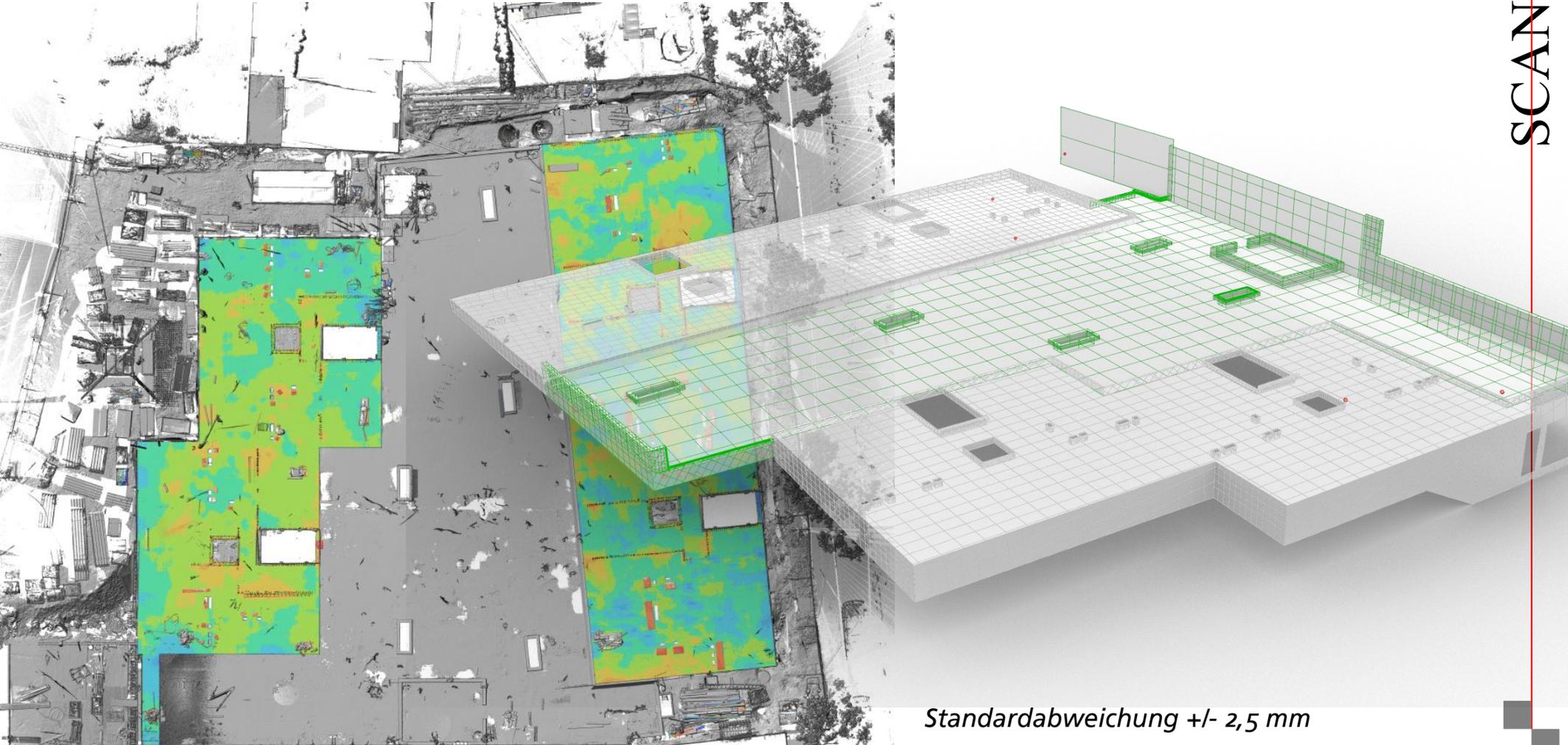
## 8) Wasserbauwerke am Altmühlvorfluter



*Sperrwerk - Standardabweichung +/- 1 mm (Stahlbau)*

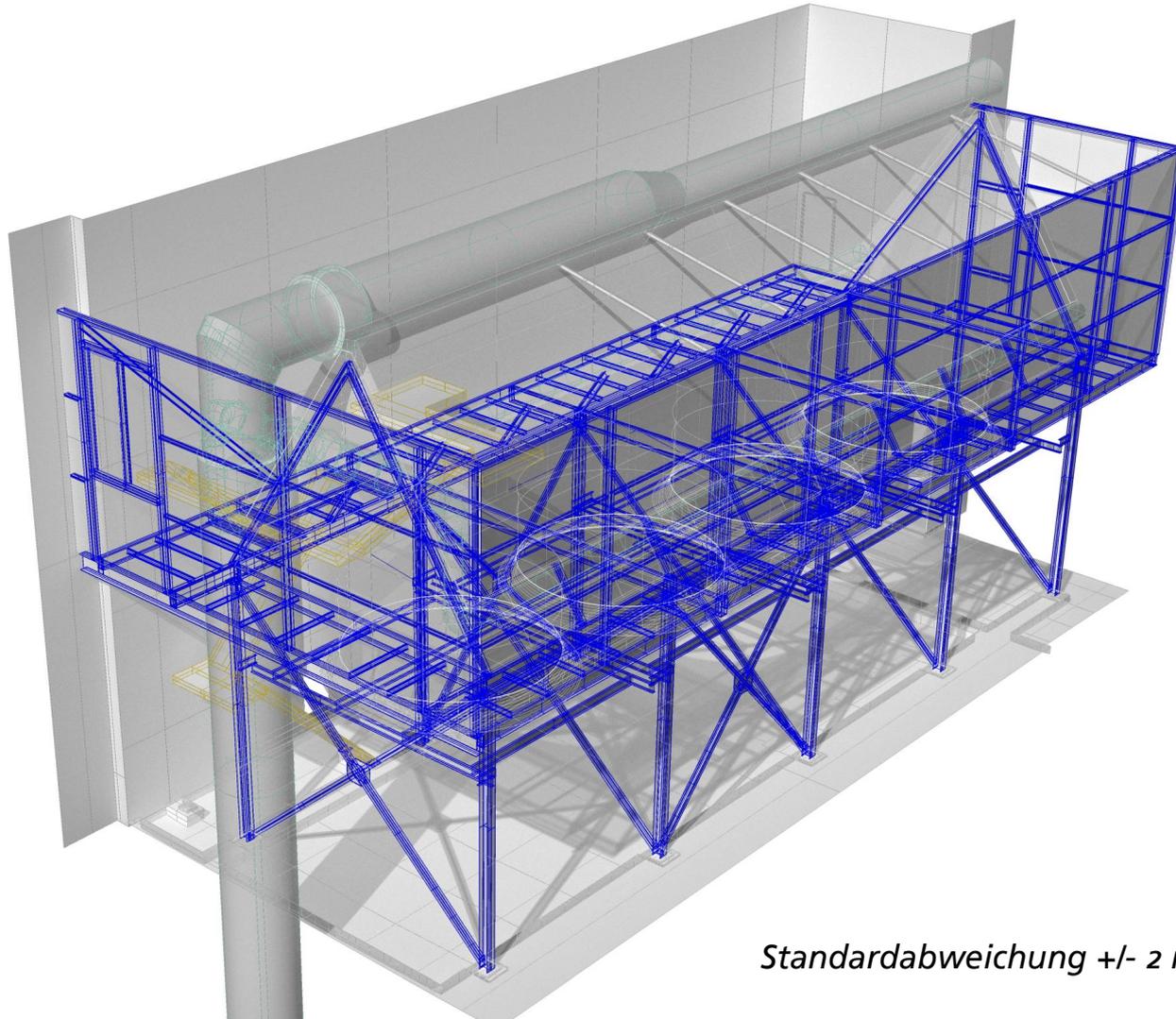


# 8) Mehrzweckneubau in Holzrahmenbauweise - Singen



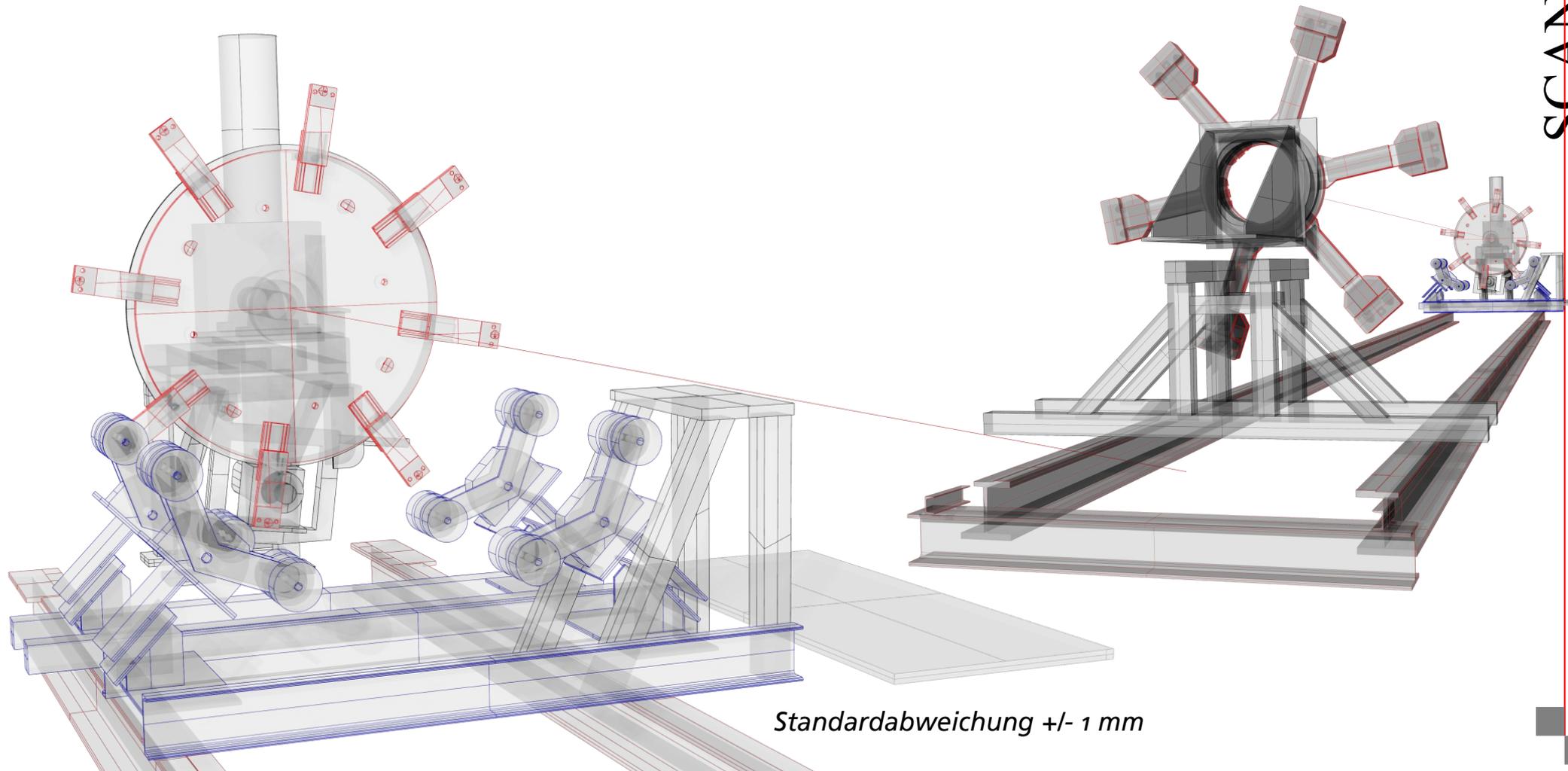
Standardabweichung +/- 2,5 mm

## 8) Müllheizkraftwerk ZAK Kempten



*Standardabweichung +/- 2 mm*

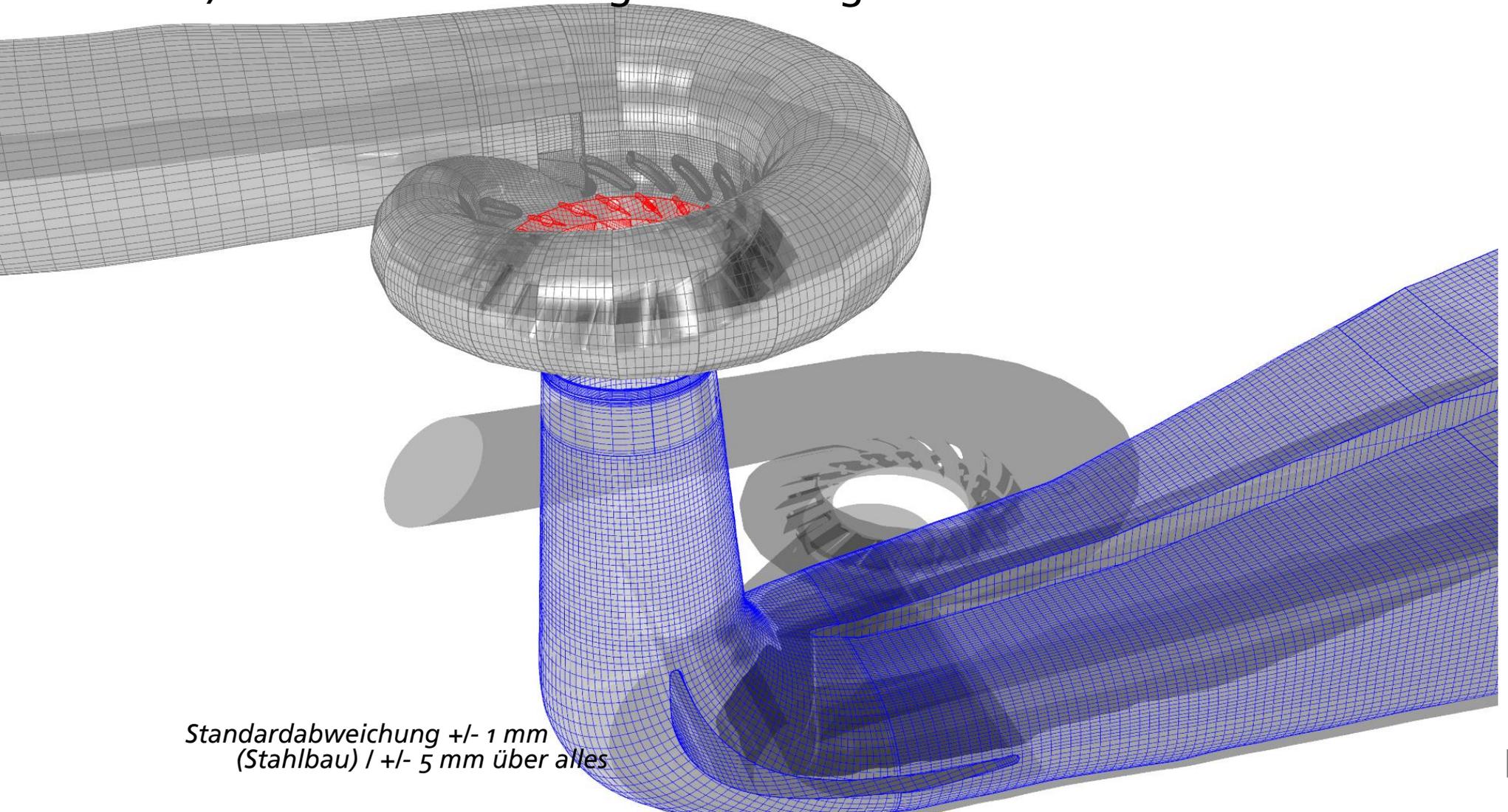
## 8) Fertigungsanlagen für große Waschtrommeln



*Standardabweichung +/- 1 mm*

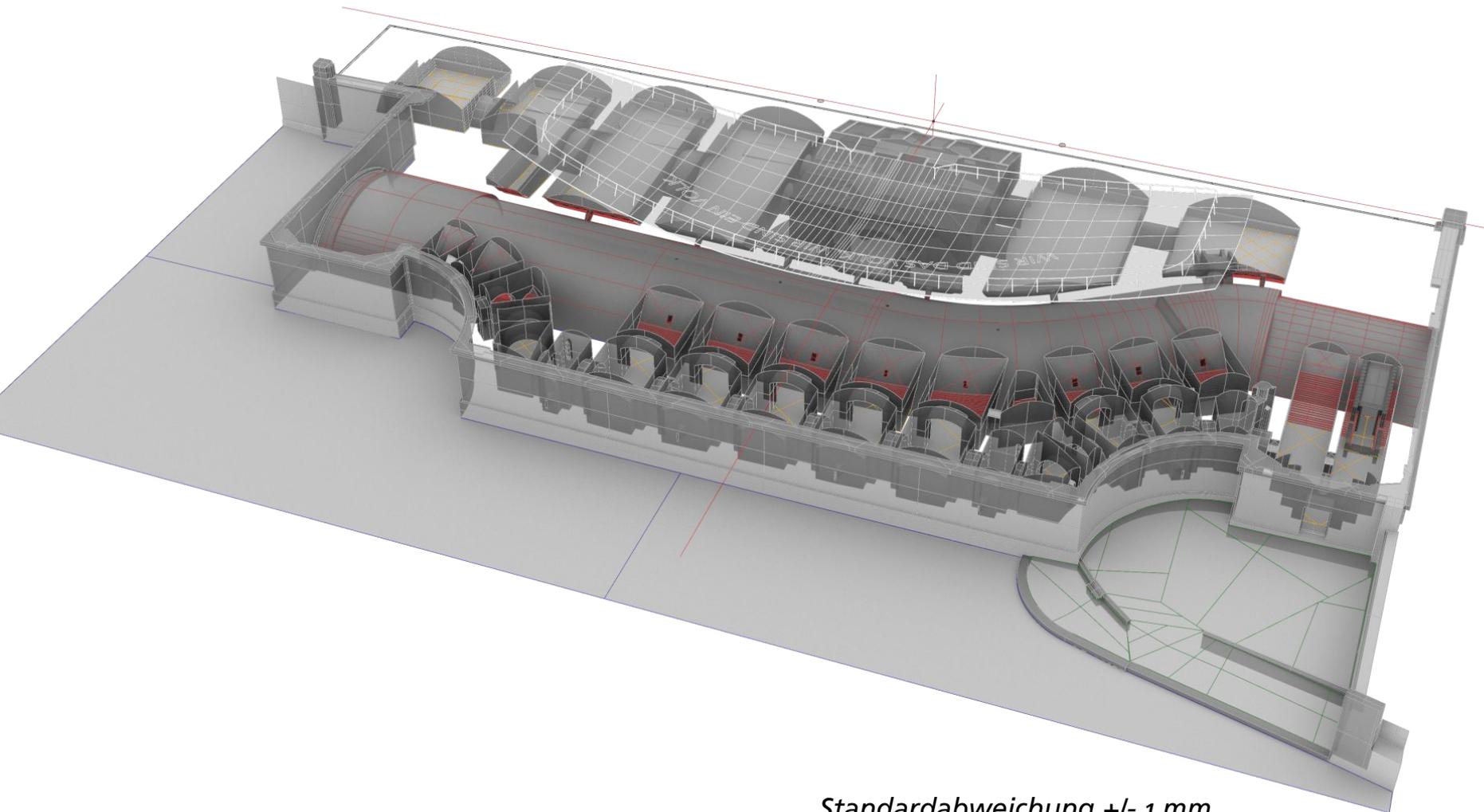


## 8) Wasserkraftwerk Inga 2 im Kongo



*Standardabweichung +/- 1 mm  
(Stahlbau) / +/- 5 mm über alles*

## 8) Freiheits- und Einheitsdenkmal in Berlin



Standardabweichung +/- 1 mm

## 9) Fazit

Die Qualität der aus den Punktwolken resultierenden Modelle hängt vom Gesamtsystem, von der Datenerfassung bis hin zum fertigen Ergebnis, ab.

- Aufnahme der 3D-Punktwolken
- Verarbeitung der 3D Punktwolken
- Modellierung auf Grundlage der Punktwolken

Die Qualitätsbeurteilung und Dokumentation der Ergebnisse ist eine Grundvoraussetzung in der 3D Vermessung.

Die Vorgehensweise hängt in erster Linie von der Aufgabenstellung und den daraus resultierenden Gesamtfehlern ab.



VIELEN DANK

