

Zeichnerische Dokumentation von verstürzten Mauern - Anhänge

Vergleich verschiedener Vermessungsmethoden an einem speziellen archäologischen Befund

Tilman Wanke

Dieses sind die Anhänge zu dem oben genannten Aufsatz, der in den Beiträgen zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut (Heft 1, 2005) erschienen ist. Diese enthalten neben den theoretischen Fehlerberechnungen die beim Feldversuch ermittelten empirischen Daten zur Arbeitszeit und Messgenauigkeit der untersuchten Verfahren.

Inhalt

2	Anhang I – Theoretische Fehlerberechnungen
2	I.1 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Feldpantografen
4	I.2 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Tachymeter
5	I.3 Berechnung des notwendigen Verhältnisses von Aufnahmehöhe zu Bildbreite für bestimmte Fehlergrenzen bei der Aufnahme von Bildplänen
7	I.4 Berechnung der theoretischen Abweichungen bei der Mehrbildauswertung
8	I.5 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Laserscanner
10	Anhang II – Arbeitszeit der Messungen
10	II.1 Zeichenrahmen und analoges Nivellement
10	II.2 Pantografaufnahme und analoges Nivellement
11	II.3 Trigomataufnahme
12	II.4 Tachymeteraufnahme
13	II.5 Fotoaufnahmen
14	II.5.1 Fotogrammetrische Einbildauswertung
14	II.5.2 Mehrbildauswertung
15	II.6 Laserscan
16	Anhang III – Messgenauigkeit
16	III.1 Abweitungstabelle Zeichenrahmen
16	III.2 Abweitungstabellen Pantografaufnahme
17	III.3 Abweitungstabelle Trigomataufnahme
18	III.4 Zusammenfassung der Genauigkeiten der Bildpläne
18	III.5 Abweitungstabelle Bildplan 1
19	III.6 Abweitungstabellen Bildplan 2
20	III.7 Abweitungstabellen Bildplan 3
22	III.8 Abweitungstabellen Bildplan 4
23	III.9 Abweitungstabellen Bildplan 5
25	III.10 Abweitungstabelle Bildplan 6
26	III.11 Abweitungstabelle Bildplan 7
27	III.12 Abweitungstabellen Bildplan 8
28	III.13 Abweitungstabelle Mehrbildauswertung

Anhang I - Theoretische Fehlerberechnungen

Bei Fehlerbetrachtungen werden Schätzwerte für zu erwartende Obergrenzen bei einzelnen Messfehlern angenommen, die mit \hat{x} bezeichnet werden.

Dem entsprechend wird folgende Formeln für die näherungsweise Bestimmung der Standardabweichung verwendet:

$$s_x = \frac{1}{\sqrt{2}} f_x; \quad (\text{Gleichung 2})$$

Wenn sich die Messabweichung eines Systems aus mehreren verschiedenen systematischen Fehlern zusammensetzt, wird die Standardabweichungen des Systems (entsprechend dem Varianzfortpflanzungsgesetz) mit folgender Formeln berechnet:

$$s_{\text{Gesamt}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n s_i^2}; \quad (\text{Gleichung 3})$$

I.1 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Feldpantografen

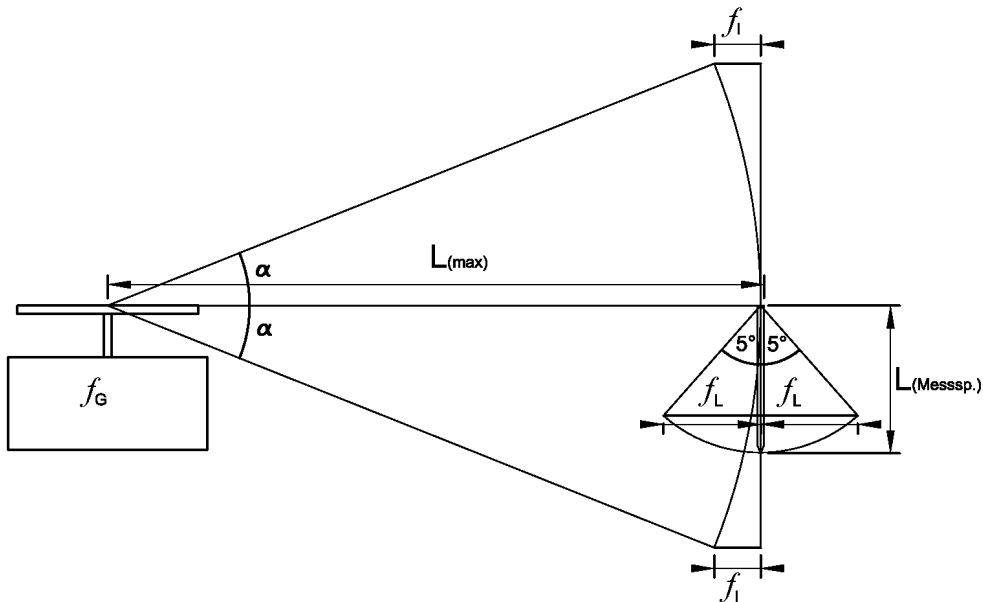


Abbildung A1: Fehlerskizze zur Pantografaufnahme

1.) Mechanischer Messfehler im Gerät f_G :

Herstellerangabe: $f_G \leq 0,2mm$;

$$s_G \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 0,20mm = 0,14mm ;$$

2.) Lotungsfehler an Messspitze f_L :

angenommen: maximaler Winkelfehler 5° ,
gegeben: Länge der Messspitze $200mm$;

$$f_{L(\max)} = \tan 5^\circ \cdot 200mm = 17,50mm ;$$

$$s_L = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \tan 5^\circ \cdot 200mm = 12,37mm ;$$

3.) Längsfehler durch Höhenabweichung (Fehlerdreieck) f_l :

Als Obergrenze der Höhenabweichung von der Zeichenebene (die der Horizontalebene der absolut waagrecht ausgezogenen Schnüre entspricht) werden 20 cm angenommen ($h_{\max} = 20cm = 200mm$).

gegeben: Reichweite $L_{\max} = 3m = 3000mm$;

$$f_l = L_{\max} - L_{\text{hor}} ;$$

$$\alpha = \frac{h_{\max}}{L_{\max}} \cdot \sin^{-1} = \frac{200mm}{3000mm} \cdot \sin^{-1} = 3,82^\circ ;$$

$$L_{\text{hor}} = \cos \alpha \cdot L_{\max} = \cos 3,82^\circ \cdot 3000mm = 2993,33mm ;$$

$$f_l = 3000mm - 2993,33mm = 6,67mm ;$$

$$s_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot f_l = 4,72mm ;$$

Summe bei Fehlerfortpflanzung:

$$s_{\text{Pantograf}} = \sqrt{s_G^2 + s_L^2 + s_l^2} = 13,24mm ;$$

I.2 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Tachymeter:

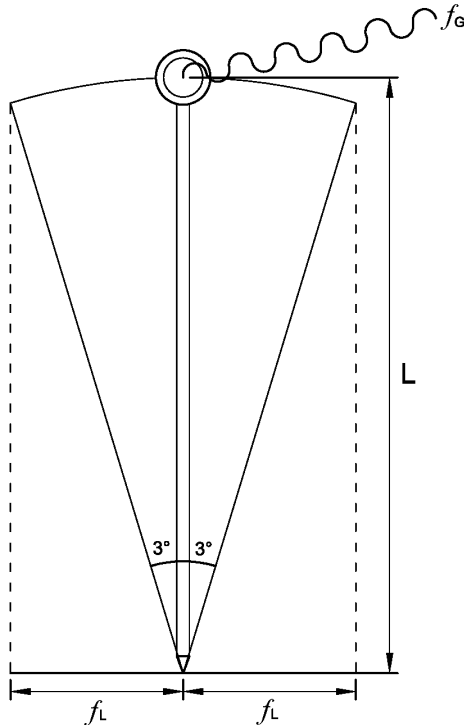


Abbildung A2: Fehlerskizze zur Tachymeteraufnahme

1.) Messgenauigkeit Gerät f_G :

Herstellerangaben:

Winkelmessung $s_w = 10''$ (entspricht 5mm bei 100m);

Distanzmessung $s_D = 5\text{mm} + 3\text{ppm}$;

Die Standardabweichung bei der Lagemessung bei einer Messentfernung von 20m entspricht demnach:

$$s_G = \sqrt{s_w^2 + s_D^2} = \sqrt{(1\text{mm})^2 + (5\text{mm})^2} = 5,09\text{mm};$$

2.) Lotungsfehler an Messspitze f_L :

Die Genauigkeit von Dosenlibellen liegt zwischen $10'$ und $60'$ ($0,17$ - $1,0^\circ$). Bei zügigem Arbeiten werden diese aber oft nicht eingehalten. Daher wird Fehlerabschätzung ein maximaler Winkelfehler von 3° angenommen.

Berechnet werden die Abweichungsparameter für die Reflektorhöhen von 100mm und 1200mm .

$$f_{L(100)} = \tan 3^\circ \cdot 100\text{mm} = 5,24\text{mm} ;$$

$$f_{L(1200)} = \tan 3^\circ \cdot 1200\text{mm} = 62,89\text{mm} ;$$

$$s_{L(100)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \tan 3^\circ \cdot 100\text{mm} = 3,71\text{mm} ;$$

$$s_{L(1200)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \tan 3^\circ \cdot 1200\text{mm} = 44,47\text{mm} ;$$

Summe bei Fehlerfortpflanzung beim Tachymeter:

$$s_{Tachymeter(100)} = \sqrt{s_G^2 + s_{Ll}^2} = 6,30\text{mm} ;$$

$$s_{Tachymeter(1200)} = \sqrt{s_G^2 + s_{Ll}^2} = 44,76\text{mm} ;$$

I.3 Berechnung des notwendigen Verhältnisses von Aufnahmehöhe zu Bildbreite für bestimmte Fehlergrenzen bei der Aufnahme von Bildplänen

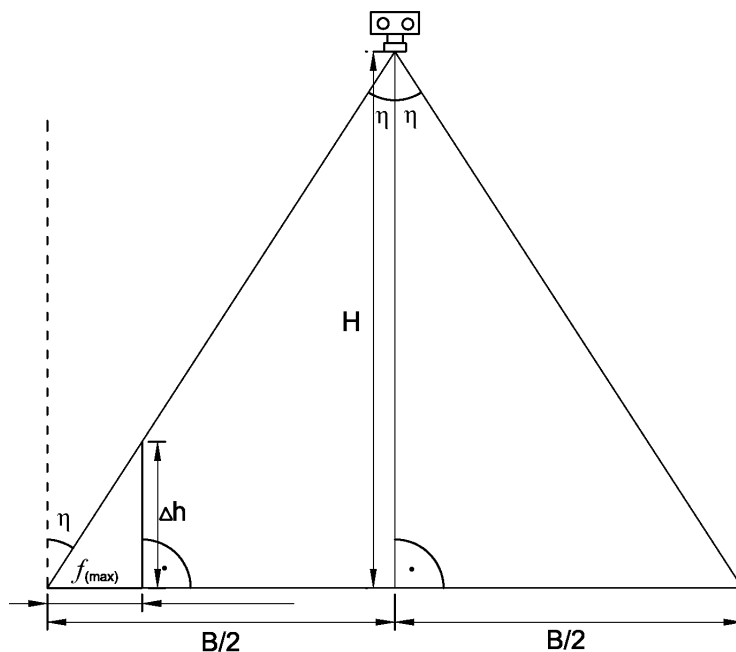


Abbildung A3: Fehlerskizze zum Lageversatz nicht ebener Punkte

Für die Höhenabweichung Δh der Messpunkte von der Entzerrungsebene wird - analog zu den Fehlerberechnungen beim Pantografen - eine Obergrenze von 200mm angenommen ($f_{\perp} = \Delta h = 200\text{mm}$). Als Grenzen für die tolerierbare Standardabweichungen werden 25mm und 10mm festgelegt.

gegeben:

$$\text{Bildbreite } B = 1;$$

$$s_{(25)} \leq 25\text{mm};$$

$$s_{(20)} \leq 10\text{mm};$$

$$f_{(25)} = \sqrt{2} \cdot s_{(25)} = 35,36\text{mm};$$

$$f_{(10)} = \sqrt{2} \cdot s_{(10)} = 14,14\text{mm};$$

$$\frac{H}{B/2} = \frac{2H}{B} = \frac{\Delta h}{f_{(\max)}};$$

$$H = \frac{B \cdot \Delta h}{2 \cdot f_{(\max)}};$$

$$H_{(25)} = \frac{200\text{mm}}{2 \cdot 35,36\text{mm}} = 2,83;$$

Für Orthoaufnahmen deren Standardabweichung unter 25mm liegen soll muss das Verhältnis von Bildbreite zu Aufnahmehöhe 1:2,83 entsprechen. Der resultierende Aufnahmewinkel bei einem 3:2 Bildformat entspricht dabei ungefähr einem 100mm -Teleobjektiv.

$$H_{(10)} = \frac{200\text{mm}}{2 \cdot 14,14\text{mm}} = 7,02;$$

Bei Orthoaufnahmen, die eine Standardabweichung von unter 10mm erreichen sollen, muss das Verhältnis von Bildbreite zu Aufnahmehöhe 1:7,02 entsprechen. Bei einem Bildformat von 3:2 entspricht dies ungefähr der Aufnahme mit einem 250mm -Teleobjektiv.

Aufgrund der hypothetischen Formel zur Berechnung der Standardabweichung (Gleichung 2) stellen diese Angaben natürlich nur einen Näherungswert dar. Allerdings wird dieser durch die empirischen Ergebnisse der Untersuchung bestätigt – siehe Anhang III.

I.4 Berechnung der theoretischen Abweichungen bei der Mehrbildauswertung

Für die theoretische Berechnung der Genauigkeitskriterien werden entsprechend der Untersuchung auf der Testfläche folgende Parameter als gegeben angesehen:

gegeben:

Bildbreite $b = 36\text{mm}$;

Genauigkeitsschranke bei der Bündelblockausgleichung $= 0,010\text{mm}$
- der Parameter bezieht sich Bildmessgenauigkeit f_b und wird als Einstellung empfohlen;

$$\text{Bildmessgenauigkeit } f_b = \frac{\text{Bildbreite}}{\text{Anzahl} \cdot \text{der} \cdot \text{Pixel}} = \frac{36\text{mm}}{2800};$$

(Gleichung 4)

Bildmaßstab (abhängig von der Aufnahmehöhe) m_b :

$$m_b = \frac{\text{Größe} \cdot \text{d.} \cdot \text{abgebild.} \cdot \text{Objektes}}{\text{Bildbreite}} = \frac{o}{b};$$

(Gleichung 5)

$$m_{b(5m)} = \frac{4300\text{mm}}{36\text{mm}} = 119,44;$$

$$m_{b(10m)} = \frac{8600\text{mm}}{36\text{mm}} = 238,98;$$

1.) Objektmessgenauigkeit f_{ob} :

$$f_{ob} = \frac{\text{Größe} \cdot \text{d.} \cdot \text{abgebild.} \cdot \text{Objektes}}{\text{Anzahl} \cdot \text{der} \cdot \text{Pixel}};$$

$$f_{ob(5m)} = \frac{4300\text{mm}}{2800} = 1,54\text{mm};$$

$$f_{ob(10m)} = \frac{8600\text{mm}}{2800} = 3,07\text{mm};$$

$$s_{ob(5m)} = \frac{1}{\sqrt{2}} f_{ob(5m)} = 1,09\text{mm};$$

$$s_{ob(10m)} = \frac{1}{\sqrt{2}} f_{ob(10m)} = 2,17\text{mm};$$

2.) Objektmessgenauigkeit abhängig von Genauigkeitsschranke f_{GS} :

$$f_{GS} = 0,010mm \cdot m_b;$$

$$f_{GS(5m)} = 1,19mm;$$

$$f_{GS(10m)} = \pm 2,39mm;$$

$$s_{GS(5m)} = 0,84mm;$$

$$s_{GS(10m)} = 1,69mm;$$

Summe bei Fehlerfortpflanzung:

$$s_{Mehrbild(5m)} = \sqrt{s_{ob(5m)}^2 + s_{GS(5m)}^2} = 1,38mm;$$

$$s_{Mehrbild(10m)} = \sqrt{s_{ob(10m)}^2 + s_{GS(10m)}^2} = 2,75mm;$$

I.5 Berechnung der theoretischen Abweichungen beim Laserscanner

1.) Messgenauigkeit Gerät f_G :

Herstellerangabe:

$$\text{standard deviation (averaged)} s_w = 6mm + 20ppm$$

bei ca. 15m maximaler Messreichweite ergeben sich damit:

$$s_G = 6,30mm;$$

2.) Objektmessgenauigkeit durch Scanauflösung f_{Aufl} :

Herstellerangabe der maximalen Auflösung:

$$\text{angular resolution vertical: } \alpha_v = 0,002^\circ$$

$$\text{angular resolution horizontal: } \alpha_h = 0,0025^\circ$$

daraus ergibt sich die maximale diagonale Auflösung: $\alpha_{(\max)} = 0,0032^\circ$

$$f_{Aufl(\max)} = \tan \alpha_{\max} \cdot 15000mm = 0,84mm;$$

$$t_{Aufl(\max)} = \pm 0,42mm;$$

$$s_{Aufl(\max)} = 0,59mm;$$

Bei dem triangulierten CAD-Modell der Testfläche beträgt der Messpunktstand:

$$f_{Aufl(\text{Modell})} \approx 30mm;$$

daraus folgt:

$$s_{\text{Aufl}(\text{Modell})} \approx 21\text{mm};$$

Summe bei Fehlerfortpflanzung:

$$s_{\text{Laserscanner}(\text{max})} = \sqrt{s_G^2 + s_{\text{Aufl}(\text{max})}^2} = 6,33\text{mm};$$

$$s_{\text{Laserscanner}(\text{Modell})} = \sqrt{s_G^2 + s_{\text{Aufl}(\text{Modell})}^2} = 21,9\text{mm};$$

Anhang II – Arbeitszeit der Messungen

II.1 Zeichenrahmenaufnahme und analoges Nivellement

Aufgrund der minimalen bearbeiteten Fläche von kommt die Hochrechnung der Arbeitszeit einer Schätzung gleich (deswegen sind die Daten mit einem hochgestellten „p“ gekennzeichnet). Für die Berechnung wurde eine Aufstellungszeit von $1,5\text{min}$ und eine reine Aufnahmezeit von $10\text{min}/2\text{m}^2$ angenommen. Die Arbeitszeiten für das analoge Nivellement stammen von der Pantografaufnahme (s.u.).

Tabelle A1: Arbeitszeit mit dem Zeichenrahmen für Aufnahme in Stufe 1

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
15 Aufstellungen	25 ^p
Aufnahme mit Zeichenrahmen	150 ^p
Geräteaufstellung Nivellier – 2 Pers.	5
Analoges Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	75
Insgesamt	255^p
Arbeitszeit pro Person	335^p

Tabelle A2: Arbeitszeit mit dem Zeichenrahmen für Aufnahme in Stufe 2

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
86 Aufstellungen	130 ^p
Aufnahme mit Zeichenrahmen	860 ^p
Geräteaufstellung Nivellier – 2 Pers.	5
Analoges Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	75
Insgesamt	1070^p
Arbeitszeit pro Person	1150^p

II.2 Pantografaufnahme und analoges Nivellement

Blatt 1 (21m^2)

Pantografaufnahme	75min	(3,6min/m ²)
Überarbeiten	330min	(15,7min/m ²)
Kolorieren	60min	(2,9min/m ²)
Nivellement (#52)	45min	(0,88min/Punkt)

Blatt 2 ($8,3\text{m}^2$)

Pantografaufnahme	30min	(3,6min/m ²)
Überarbeiten	45min	(5,4min/m ²)
Nivellement (#40)	10min	(0,4min/Punkt)

Blatt 3 nördlicher Bereich ($8,1\text{m}^2$)

Pantografaufnahme	60min	(7,4min/m ²)
Überarbeiten	60min	(7,4min/m ²)
Nivellement (#59)	12min	(0,2min/Punkt)

Blatt 4 ($7,6\text{m}^2$)

Pantografaufnahme	30min	(3,9min/m ²)
Überarbeiten	45min	(5,9min/m ²)

Nivellement (#43)	6min (0,14min/Punkt)
<hr/>	
Summe der Blätter 2, 3 und 4 (24,0m ²)	
Pantografaufnahme	120min (5,0min/m ²)
Überarbeiten	150min (6,25min/m ²)
Nivellement (#142)	28min (0,197min/Punkt)
Nivellier Einrichten	5min

Die Nivellements wurden vor der Messung auf transparente Deckblätter über den Pantografaufnahme-Blättern durch eine Ziffer markiert. Mit diesen Blättern in der wurden die Höhenpunkte auf der Fläche gesucht und gemessen. Dabei wurden nur die Lesewerte auf eigenen Nivellementblättern notiert. Die Berechnung der Höhenwerte erfolgte anschließend auf diesen Nivellementlisten.

Tabelle A3: Arbeitszeit mit dem Feldpantografen für Aufnahme in Stufe 1

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
5 Geräteaufstellungen – 2 Pers.	25
Aufnahme mit Pantograf	45
Überarbeiten der Zeichnungen	50
Geräteaufstellung Nivellier – 2 Pers.	5
Analoges Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	75
Insgesamt	200
Arbeitszeit pro Person	305

Tabelle A4: Arbeitszeit mit dem Feldpantografen für Aufnahme in Stufe 2

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
6 Geräteaufstellungen – 2 Pers.	30
Aufnahme mit Pantograf	380
Überarbeiten der Zeichnungen	470
Geräteaufstellung Nivellier – 2 Pers.	5
Analoges Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	75
Insgesamt	960
Arbeitszeit pro Person	1070

II.3 Trigomataufnahme

Aufstellung 1

Aufbau/Stationieren	30min
Messen Mauer (#1386)	66min
(7,4m ² => für 8,7m ² /#1630:	78min)
Messen FG-Punkte, GG und Passpunkte	20min

Aufstellung 2

Aufbau/Stationieren	30min
Messen Schutt	71min
(15,4m ² => für 67,5m ² :	311,2min)

Da der gemessene Schuttbereich vergleichsweise sehr wenig Messpunkte enthielt, wurde für die Berechnung der Aufnahme in Darstellungsversion 3 die Messzeit für die Maueraufnahme zugrunde gelegt: 0,046875min/Punkt (bei 9800 Punkten).

Tabelle A5: Arbeitszeit mit dem Trigomatsystem für Aufnahme in Stufe 1

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
2 Geräteaufstellungen – 2 Pers.	40
Aufnahme (1600 Punkte)	75
digitales Nivellement (200 Punkte)	40
Aufnahme GG(20 Punkten)	4
Nachbearbeitung	30
Plot	5
Insgesamt	194
Arbeitszeit vor Ort	159
Arbeitszeit am Rechner	35
Arbeitszeit pro Person	199

Tabelle A6: Arbeitszeit mit dem Trigomatsystem für Aufnahme in Stufe 2

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
2 Geräteaufstellungen – 2 Pers.	40
Aufnahme (9800 Punkte)	460
digitales Nivellement (200 Punkte)	40
Aufnahme GG(20 Punkten)	4
Nachbearbeitung	60
Plot	5
Insgesamt	609
Arbeitszeit vor Ort	544
Arbeitszeit am Rechner	65
Arbeitszeit pro Person	614

II.4 Tachymeteraufnahme

Aufstellung 1

Stationierung	10min
Messen 170 FG-Punkte (Messen 28 Fundpunkte)	110min 30min
Messen GG und Passp.	10min
Messen 50 Niv-Punkte	15min

Aufstellung 2 (Nachmessen)

Stationierung	10min
„Nachmessen“ und Kontur	50min
Einlesen und Layouten	20min
Nivellements händisch layouten	30min

Diese Messungen konnten nicht für die Schätzung einer zügigen „Punkt auf Punkt-Messung“ (4,5sec/Punkt) herangezogen werden, da hier die einzelnen Messpunkte sorgfältig ausgesucht und dann signalisiert werden mussten. Zudem musste sich auf der noch frisch geputzten Fläche sehr vorsichtig bewegt werden. Allenfalls die Messung der Nivellement-Punkte erfolgte recht zügig, mit 18sec/Punkt.

Tabelle A7: Arbeitszeit für mit dem Tachymeter in Stufe 1

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
Stationieren – 2 Pers.	10
Aufnahme (1600 Punkte) – 2 Pers.	120 ^P
digitales Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	60
Aufnahme GG (20 Punkte) – 2 Pers.	5
Einlesen CAD	10
Nachbearbeiten CAD	30 ^P
Plot	5
Insgesamt	240^P
Arbeitszeit vor Ort – 2 Pers.	195^P
Arbeitszeit am Rechner	45^P
Arbeitszeit pro Person	435^P

Tabelle A8: Arbeitszeit mit dem Tachymeter in Stufe 2

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
Stationieren – 2 Pers.	10
Aufnahme (9800 Punkte) – 2 Pers.	735 ^P
digitales Nivellement (200 Punkte) – 2 Pers.	60
Aufnahme GG (20 Punkte) – 2 Pers.	5
Einlesen CAD	10
Nachbearbeiten CAD	30 ^P
Plot	5
Insgesamt	855^P
Arbeitszeit vor Ort – 2 Pers.	810^P
Arbeitszeit am Rechner	45^P
Arbeitszeit pro Person	1665^P

II.5 Fotoaufnahmen

4 Drehleiteraufstellungen (10m):	60min (mit jeweils 10-20 Bildern)
5 Stehleiteraufstellungen (5m):	75min (mit jeweils 10-20 Bildern)
6 Stehleiteraufstellungen (5m):	60min (mit jeweils 5 Bildern)

Zu den reinen Fotoaufnahmen wurden jeweils noch das setzen der FG-Punkte und anteilig die tachymetrischen Messungen (s.o.) herangezogen.

II.5.1 Fotogrammetrische Einbildauswertung

Tabelle A9: Arbeitszeiten für die Erstellung der Bildpläne

Arbeitsschritt	Arbeitszeit Bildplan 1 (min)	Arbeitszeit Bildplan 2 (min)	Arbeitszeit Bildplan 3 (min)	Arbeitszeit Bildplan 4 (min)	Arbeitszeit Bildplan 5 (min)	Arbeitszeit Bildplan 6 (min)	Arbeitszeit Bildplan 7 (min)	Arbeitszeit Bildplan 8 (min)
Setzen FG-Punkte	2	5	15	8	15	5	15	75
Messen FG-Punkte – 2 Pers.	13	17	30	20	30	17	25	107
digitales Nivellement (200Punkte) – 2 Pers.	70	70	70	70	70	70	70	70
Aufnahmen – 2 Pers.	15	55	60	30	60	15	15	55
CAD-Bearbeitung- Tachydateien	20	20	20	20	20	20	20	20
Computerauswertung	11	75	113	80	117	62	67	112
CAD-Layout	4	40	42	40	59	4	4	40
Plot	5	5	5	5	5	5	5	5
Insgesamt	140	287	355	273	376	198	221	484
Arbeitszeit vor Ort	100	147	175	128	175	107	125	307
Arbeitszeit am Rechner	40	140	180	145	201	91	96	177
Arbeitszeit pro Person	238	429	515	393	536	300	331	716

II.5.2 Mehrbildauswertung

Tabelle A10: Arbeitszeit für die Mehrbildauswertung in Stufe 1

Arbeitsschritt	Aufnahmehöhe 5 m (24 Bilder) Arbeitszeit (min)	Aufnahmehöhe 10 m (6 Bilder) Arbeitszeit (min)
Setzen FG-Punkte	30	10
Messen FG-Punkte – 2 Pers.	30	17
Aufnahmen – 2 Pers.	125	55
Digitalisieren	25	5
Orientierungsberechnungen	455 ^p	115 ^p
Computerauswertung (1600 Punkte)	880 ^p	880 ^p
Nachbearbeitung CAD	5 ^p	5 ^p
Plot	5 ^p	5 ^p

Insgesamt	1555^P	1092^P
Arbeitszeit vor Ort	185	82
Arbeitszeit am Rechner	1370^P	1010^P
Arbeitszeit pro Person	1710^P	1164^P

II.6 Lasersscan

Tabelle A11: Arbeitszeit für den Scan und Auswertung der Testfläche

Arbeitsschritt	Arbeitszeit (min)
4 Geräteaufstellungen – 2 Pers.	60
Aufnahme (ca. 8 Mio. Punkte)	40
Orientierungsberechnungen	15
Segmentierung, Registrierung, Triangulation in QTS	300
manuelles Einfügen der Texturen in QTS (4 Aufnahmen)	160
optional: Nachbearbeiten CAD (dwg-Datei)	(270 ^P)
optional: 3D-Animation in 3D-Studio (avi-Datei)	(360 ^P)
Insgesamt: wrl-Datei (Oberflächenmodell)	575
Arbeitszeit vor Ort – 2 Pers.	100
Arbeitszeit am Rechner	475
Arbeitszeit pro Person	635
Insgesamt: dwg-Datei	845^P
Insgesamt: avi-Animation	935^P

Anhang III - Messgenauigkeit

III.1 Abweichungstabelle Zeichenrahmen

Tabelle A12: Abweichungstabelle Zeichenrahmen

$ \xi $ (mm)	ε^2 (mm ²)
1	1
3	9
23	529
30	900
35	1225
51	2601
t = ±23,8mm	$\sum \varepsilon_i^2 =$ 5265mm²
	s = 32,4mm

n = 6;

III.2 Abweichungstabellen Pantografaufnahme

Tabelle A13: Abweichungstabelle Pantografaufnahme Blatt 1

$ \xi $ (mm)	ε^2 (mm ²)
12	144
13	169
16	256
28	784
29	841
31	961
32	1024
34	1156
35	1225
37	1369
38	1444
39	1521
42	1764
43	1849
43	1849
44	1936
45	2025
45	2025
49	2401
50	2500
52	2704
53	2809
54	2916
58	3364
61	3721
61	3721
63	3969
64	4096
67	4489
68	4624
70	4900
75	5625
75	5625

75	5625
77	5929
77	5929
77	5929
83	6889
84	7056
86	7396
87	7569
107	11449
110	12100
148	21904
t = ±57,7mm	$\sum \varepsilon_i^2 =$ 177581mm²
	s = 64,3mm

n = 44;

Tabelle A14: Abweichungstabelle Pantografaufnahme Blatt 2

$ \xi $ (mm)	ε^2 (mm ²)
2	4
12	144
14	196
14	196
15	225
15	225
16	256
18	324
22	484
26	676
28	784
37	1369
37	1369
41	1681
41	1681
43	1849

50	2500
52	2704
52	2704
62	3844
62	3844
90	8100
108	11664
t = ±37,3mm	$\sum \varepsilon_i^2 =$ 46823mm²
	s = 46,1mm

n = 23;

Tabelle A15: Abweichungstabelle Pantografaufnahme Blatt 3

$ \xi $ (mm)	ε^2 (mm ²)
13	169
15	225
19	361
19	361
25	625
26	676
28	784
31	961
32	1024
34	1156
40	1600
42	1764
45	2025
46	2116
54	2916
54	2916
60	3600
68	4624
73	5329
79	6241

17	289
17	289
17	289
22	484

25	625
26	676
40	1600

$t = \pm 7,4\text{mm}$	$\sum \epsilon_i^2 =$
	8812mm ²
	$s = 9,4\text{mm}$

n =100;

III.4 Zusammenfassung der Genauigkeiten der Bildpläne

Tabelle A19: Genauigkeiten der erstellten Bildpläne

Messung	Transformationsart	Kontrollpunkte	Aufnahmeanzahl	Aufnahmhöhe (m)	Prüfungsmessungen n	Standardabweichung s (mm)
Bildplan 1	projektiv	je 4	1	13	142	58,4
Bildplan 2	projektiv	je 4	5	10-13	152	44,0
Bildplan 3	projektiv	je 4	10	10-13	131	28,6
Bildplan 4	projektiv	je 4	5	5	144	55,4
Bildplan 5	projektiv	je 4	10	5	129	53,8
Bildplan 6	polynom	10	1	13	150	58,0
Bildplan 7	polynom	23	1	13	148	38,3
Bildplan 8	polynom	je 20 bzw. 10	5	10-13	164	31,9

III.5 Abweichungstabelle Bildplan 1

Tabelle A20: Abweichungstabelle Bildplan 1

$ \epsilon $ (mm)	ϵ^2 (mm ²)
4	16
5	25
6	36
6	36
11	121
13	169
13	169
14	196
14	196
14	196
14	196
17	289
18	324
18	324
19	361
19	361
20	400
20	400
20	400
20	400
21	441
21	441
22	484
24	576
24	576

27	729
28	784
28	784
28	784
29	841
29	841
29	841
30	900
30	900
30	900
30	900
30	900
31	961
31	961
31	961
31	961
31	961
32	1024
32	1024
32	1024
34	1156
34	1156
37	1369
38	1444
39	1521
39	1521
40	1600
42	1764

42	1764
43	1849
43	1849
43	1849
43	1849
44	1936
44	1936
44	1936
45	2025
45	2025
46	2116
46	2116
46	2116
46	2116
47	2209
47	2209
48	2304
49	2401
50	2500
51	2601
51	2601
52	2704
52	2704
52	2704
53	2809
53	2809
53	2809
54	2916

54	2916
54	2916
54	2916
54	2916
55	3025
55	3025
56	3136
56	3136
56	3136
57	3249
59	3481
59	3481
60	3600
61	3721
61	3721
61	3721
62	3844
62	3844
62	3844
62	3844
63	3969
64	4096
66	4356

67	4489
67	4489
69	4761
70	4900
71	5041
71	5041
72	5184
72	5184
73	5329
74	5476
75	5625
75	5625
75	5625
76	5776
76	5776
76	5776
77	5929
77	5929
79	6241
79	6241
81	6561
82	6724
84	7056

86	7396
88	7744
89	7921
90	8100
91	8281
96	9216
97	9409
98	9604
99	9801
100	10000
102	10404
104	10816
114	12996
118	13924
119	14161
147	21609
t =	$\sum \epsilon_i^2 =$
±51,7mm	481224mm²
	s = 58,4mm

n = 142;

III.6 Abweichungstabellen Bildplan 2

Tabelle A21: Abweichungstabelle Bildplan 2 Bild 1

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
1	1
6	36
9	81
9	81
10	100
11	121
11	121
13	169
14	196
15	225
21	441
22	484
22	484
23	529
23	529
25	625
26	676
26	676
26	676
26	676
27	729
27	729
28	784
30	900
36	1296

37	1369
t =	$\sum \epsilon_i^2 =$
±20,2mm	12734
	mm²
	s = 22,6mm

n = 26;

Tabelle A22: Abweichungstabelle Bildplan 2 Bild 2

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
3	9
10	100
16	256
28	784
33	1089
33	1089
34	1156
34	1156
39	1521
39	1521
42	1764
46	2116
46	2116
46	2116
46	2116
47	2209
47	2209
47	2209

48	2304
49	2401
50	2500
53	2809
60	3600
63	3969
68	4624
76	5776
79	6241
82	6724
83	6889
91	8281
94	8836
120	14400
t =	$\sum \epsilon_i^2 =$
±51,6mm	104890
	mm²
	s = 58,2mm

n = 32;

Tabelle A23: Abweichungstabelle Bildplan 2 Bild 3

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
11	121
12	144
14	196
15	225

	s = 25,6mm
--	-------------------

n = 16;

Tabelle A28: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 2

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
3	9
4	16
7	49
9	81
11	121
13	169
14	196
14	196
15	225
20	400
23	529
23	529
t = ±13,0mm	$\Sigma \xi_i^2 = 2520\text{mm}^2$
	s = 15,1mm

n = 12;

Tabelle A29: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 3

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
19	361
28	784
29	841
30	900
31	961
32	1024
35	1225
35	1225
36	1296
36	1296
37	1369
37	1369
41	1681
42	1764
56	3136
56	3136
t = ±36,3mm	$\Sigma \xi_i^2 = 22368\text{mm}^2$
	s = 38,6mm

n = 16;

Tabelle A30: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 4

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
5	25
10	100
18	324
23	529
23	529

29	841
42	1764
46	2116
52	2704
62	3844
66	4356
71	5041
78	6084
t = ±40,4mm	$\Sigma \xi_i^2 = 28257\text{mm}^2$
	s = 48,5mm

n = 13;

Tabelle A31: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 5

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
16	256
16	256
20	400
29	841
32	1024
39	1521
40	1600
40	1600
40	1600
101	10201
t = ±37,3mm	$\Sigma \xi_i^2 = 19299\text{mm}^2$
	s = 46,3mm

n = 10;

Tabelle A32: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 6

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
9	81
10	100
11	121
12	144
16	256
19	361
24	576
25	625
26	676
31	961
t = ±18,3mm	$\Sigma \xi_i^2 = 3901\text{mm}^2$
	s = 20,8mm

n = 10;

Tabelle A33: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 7

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
6	36
7	49
8	64

13	169
13	169
15	225
15	225
16	256
17	289
19	361
19	361
22	484
22	484
26	676
28	784
30	900
34	1156
t = ±18,2mm	$\Sigma \xi_i^2 = 6688\text{mm}^2$
	s = 20,4mm

n = 17;

Tabelle A34: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 8

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
5	25
7	49
9	81
9	81
12	144
12	144
13	169
16	256
18	324
23	529
23	529
25	625
27	729
28	784
34	1156
t = ±17,4mm	$\Sigma \xi_i^2 = 5625\text{mm}^2$
	s = 20,0mm

n = 15;

Tabelle A35: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 9

 ξ (mm)	ξ^2 (mm²)
3	9
3	9
4	16
4	16
6	36
8	64
10	100
10	100
12	144
13	169
16	256
21	441
23	529

33	1089
39	1521
t = ±13,7mm	Σε_i² = 4499mm²
	s = 17,9mm

n = 15;

Tabelle A36: Abweichungstabelle Bildplan 3 Bild 10

 ε (mm)	ε² (mm²)
16	256
8	64
12	144
19	361

23	529
26	676
39	1521
t = ±20,4mm	Σε_i² = 3551mm²
	s = 24,3mm

n = 7;

Tabelle A37: Betrag der mittleren Standardabweichung bei Bildplan 3

Messung	s (mm)	n
Bild 1	25,6	16
Bild 2	15,1	12
Bild 3	38,64	16
Bild 4	48,5	13
Bild 5	46,3	10
Bild 6	20,8	10
Bild 7	20,4	17
Bild 8	20,0	15
Bild 9	17,9	15
Bild 10	24,3	7
gesamt	28,6	131

III.8 Abweichungstabellen Bildplan 4

Tabelle A38: Abweichungstabelle Bildplan 4 Bild 1

 ε (mm)	ε² (mm²)
3	9
16	256
18	324
22	484
22	484
24	576
25	625
32	1024
33	1089
35	1225
50	2500
52	2704
59	3481
61	3721
65	4225
73	5329
76	5776
87	7569
99	9801
t = ±44,8mm	Σε_i² = 51202,0 mm²
	s = 53,3mm

n = 19;

Tabelle A39: Abweichungs-

tabelle Bildplan 4 Bild 2

 ε (mm)	ε² (mm²)
7	49
13	169
15	225
18	324
22	484
25	625
33	1089
33	1089
35	1225
37	1369
39	1521
45	2025
46	2116
47	2209
48	2304
49	2401
51	2601
55	3025
56	3136
58	3364
59	3481
59	3481
63	3969
66	4356
66	4356
68	4624
69	4761

71	5041
75	5625
78	6084
80	6400
84	7056
86	7396
86	7396
89	7921
89	7921
96	9216
100	10000
105	11025
107	11449
t = ±58,2mm	Σε_i² = 162859 mm²
	s = 64,6mm

n = 40;

Tabelle A40: Abweichungstabelle Bildplan 4 Bild 3

 ε (mm)	ε² (mm²)
12	144
13	169
16	256
20	400
20	400
29	841
32	1024

32	1024
36	1296
37	1369
39	1521
45	2025
48	2304
57	3249
61	3721
61	3721
62	3844
64	4096
64	4096
64	4096
65	4225
67	4489
71	5041
75	5625
83	6889
88	7744
89	7921
94	8836
128	16384
t = ±54,2mm	Σε_i² = 106750 mm²
	s = 61,7mm

n = 29;

Tabelle A41: Abweichungstabelle Bildplan 4 Bild 4

 ε (mm)	ε² (mm²)
3	9
4	16

4	16
6	36
6	36
6	36
9	81
10	100
10	100
13	169
13	169
13	169
13	169
13	169
16	256
16	256
17	289
17	289
19	361
20	400
20	400
22	484
23	529
24	576
26	676
26	676
26	676
27	729
27	729
30	900
34	1156
34	1156
37	1369
37	1369
40	1600
41	1681

41	1681
47	2209
48	2304
49	2401
53	2809
59	3481
60	3600
64	4096
64	4096
73	5329
75	5625
77	5929
80	6400
83	6889
91	8281
97	9409
103	10609
106	11236
t = ±36,5mm	Σε_i² = 114216mm²
	s = 46,4mm

N = 54;

Tabelle A42: Abweichungstabelle Bildplan 4 Bild 5

 ε (mm)	ε² (mm²)
62	3844
14	196
t = ±38mm	Σε_i² = 4040 mm²
	s = 63,6mm

n = 2;

Tabelle A43: Betrag der mittleren Standard-abweichung bei Bildplan 4

Messung	s (mm)	n
Bild 1	53,3	19
Bild 2	64,6	40
Bild 3	61,7	29
Bild 4	46,4	54
Bild 5	63,6	2
gesamt	55,4	144

III.9 Abweichungstabellen Bildplan 5

Tabelle A44: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 1

 ε (mm)	ε² (mm²)
2	4
9	81
10	100
17	289
29	841
32	1024
32	1024
34	1156

35	1225
35	1225
36	1296
56	3136
64	4096
80	6400
t = ±33,6mm	Σε_i² = 21897 mm²
	s = 41,0mm

n = 14;

Tabelle A45: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 2

 ε (mm)	ε² (mm²)
6	36
12	144
12	144
12	144
26	676
28	784
34	1156
52	2704

67	4489
67	4489
71	5041
100	10000
t = ±40,6mm	Σε_i² = 29807 mm²
	s = 52,1mm

n = 12;

Tabelle A46: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 3

 ε (mm)	ε² (mm²)
40	1600
45	2025
53	2809
54	2916
55	3025
61	3721
74	5476
78	6084
79	6241
89	7921
95	9025
99	9801
103	10609
113	12769
113	12769
130	16900
t = ±80,1mm	Σε_i² = 104341 mm²
	s = 83,4mm

n = 16;

Tabelle A47: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 4

 ε (mm)	ε² (mm²)
15	225
16	256
17	289
17	289
19	361
28	784
30	900
34	1156
35	1225
37	1369
51	2601
53	2809
62	3844
t = ±31,8mm	Σε_i² = 15883 mm²
	s = 36,4mm

n = 13;

Tabelle A48: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 5

 ε (mm)	ε² (mm²)
17	289
24	576
26	676
32	1024
33	1089
40	1600
53	2809
57	3249
97	9409
t = ±42,1mm	Σε_i² = 20721 mm²
	s = 50,9mm

n = 9;

Tabelle A49: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 6

 ε (mm)	ε² (mm²)
4	16
8	64
11	121
17	289
17	289
24	576
28	784
37	1369
57	3249
62	3844
t = ±26,5mm	Σε_i² = 10601 mm²
	s = 34,3mm

n = 10;

Tabelle A50: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 7

 ε (mm)	ε² (mm²)
27	729
34	1156
40	1600
41	1681
43	1849
43	1849
43	1849
44	1936
45	2025
47	2209
49	2401
53	2809
57	3249
77	5929
80	6400
97	9409
107	11449
150	22500

t = ±59,8mm	Σε_i² = 81029 mm²
	s = 69,0mm

n = 18;

Tabelle A51: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 8

 ε (mm)	ε² (mm²)
8	64
12	144
14	196
16	256
17	289
19	361
21	441
25	625
27	729
30	900
36	1296
44	1936
63	3969
70	4900
78	6084
t = ±32,0mm	Σε_i² = 22190 mm²
	s = 39,8mm

n = 15;

Tabelle A52: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 9

 ε (mm)	ε² (mm²)
6	36
13	169
14	196
15	225
16	256
20	400
21	441
21	441
23	529
46	2116
47	2209
48	2304
49	2401
102	10404
128	16384
t = ±37,9mm	Σε_i² = 38511 mm²
	s = 52,4mm

n = 15;

Tabelle A53: Abweichungstabelle Bildplan 5 Bild 10

 ε (mm)	ε² (mm²)
17	289
21	441

36	1296
37	1369
39	1521
57	3249

87	7569
t =	$\sum \epsilon_i^2 =$
±42,0mm	15734mm²

s = 51,2mm
n = 7;

Tabelle A54: Betrag der mittleren Standardabweichung bei Bildplan 5

Messung	s (mm)	n
Bild 1	41,0	14
Bild 2	52,1	12
Bild 3	83,4	16
Bild 4	36,4	13
Bild 5	50,9	9
Bild 6	34,3	10
Bild 7	69,0	18
Bild 8	39,8	15
Bild 9	52,4	15
Bild 10	51,2	7
gesamt	53,8	129

III.10 Abweichungstabelle Bildplan 6

Tabelle A55: Abweichungstabelle Bildplan 6

$ \epsilon $ (mm)	ϵ^2 (mm ²)
0	0
5	25
6	36
7	49
7	49
8	64
8	64
8	64
9	81
10	100
10	100
10	100
11	121
13	169
14	196
15	225
16	256
16	256
17	289
18	324
18	324
20	400
22	484
22	484
23	529
24	576
26	676
27	729
28	784
29	841
30	900
31	961

31	961
31	961
32	1024
33	1089
33	1089
33	1089
33	1089
34	1156
34	1156
34	1156
35	1225
35	1225
35	1225
36	1296
36	1296
36	1296
37	1369
37	1369
37	1369
37	1369
38	1444
38	1444
38	1444
40	1600
40	1600
40	1600
41	1681
42	1764
42	1764
42	1764
43	1849
43	1849
44	1936
44	1936
45	2025

45	2025
45	2025
45	2025
45	2025
46	2116
46	2116
47	2209
47	2209
47	2209
47	2209
47	2209
47	2209
47	2209
47	2209
48	2304
49	2401
49	2401
51	2601
52	2704
52	2704
52	2704
52	2704
52	2704
53	2809
53	2809
54	2916
56	3136
56	3136
57	3249
57	3249
57	3249
57	3249
58	3364
59	3481
60	3600

60	3600
63	3969
63	3969
63	3969
64	4096
64	4096
65	4225
66	4356
67	4489
68	4624
68	4624
69	4761
70	4900
71	5041
72	5184
72	5184
73	5329

75	5625
75	5625
76	5776
77	5929
77	5929
78	6084
78	6084
79	6241
80	6400
80	6400
81	6561
81	6561
81	6561
82	6724
85	7225
87	7569
91	8281

91	8281
96	9216
99	9801
101	10201
104	10816
107	11449
118	13924
118	13924
121	14641
122	14884
122	14884
165	27225
t =	$\sum \varepsilon_i^2 =$
$\pm 50,4\text{mm}$	500628
	mm²
	s = 58,0mm

n = 150;

III.11 Abweichungstabelle Bildplan 7

Tabelle A56: Abweichungstabelle Bildplan 7

$ \varepsilon $ (mm)	ε^2 (mm ²)
4	16
4	16
5	25
6	36
6	36
7	49
7	49
7	49
7	49
7	49
7	49
8	64
8	64
9	81
9	81
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
11	121
11	121
11	121
11	121
11	121
12	144
12	144
12	144
13	169
13	169
13	169

13	169
13	169
13	169
13	169
13	169
13	169
14	196
14	196
14	196
15	225
15	225
15	225
15	225
15	225
15	225
15	225
15	225
16	256
17	289
17	289
17	289
17	289
17	289
17	289
17	289
17	289
17	289
18	324
18	324
18	324
18	324
18	324
18	324
18	324
18	324
19	361
19	361
19	361
20	400
21	441
21	441

21	441
21	441
22	484
22	484
22	484
22	484
22	484
22	484
22	484
23	529
23	529
23	529
23	529
23	529
23	529
24	576
24	576
25	625
26	676
26	676
26	676
26	676
27	729
27	729
27	729
27	729
27	729
27	729
27	729
28	784
29	841
29	841
29	841
30	900
30	900
31	961
33	1089
35	1225
36	1296
36	1296
37	1369

37	1369
38	1444
39	1521
39	1521
40	1600
41	1681
41	1681
45	2025
45	2025
47	2209
48	2304
49	2401
49	2401
49	2401
51	2601

52	2704
52	2704
53	2809
55	3025
57	3249
58	3364
62	3844
64	4096
64	4096
65	4225
67	4489
67	4489
72	5184
73	5329
77	5929

81	6561
82	6724
88	7744
90	8100
92	8464
93	8649
94	8836
99	9801
101	10201
108	11664
t =	$\Sigma \epsilon_i^2 =$
±29,9mm	215604
	mm ²
	s = 38,3mm

n = 148;

III.12 Abweichungstabellen Bildplan 8

Tabelle A57: Abweichungstabelle Bildplan 8 Bild 1

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
1	1
2	4
3	9
4	16
5	25
5	25
6	36
6	36
6	36
6	36
8	64
10	100
12	144
13	169
13	169
13	169
14	196
15	225
19	361
19	361
21	441
22	484
22	484
23	529
24	576
25	625
26	676
26	676
27	729
29	841
32	1024
32	1024
t =	$\Sigma \epsilon_i^2 =$
±15,3mm	10291mm ²
	s = 18,2mm

n = 32;

Tabelle A58: Abweichungstabelle Bildplan 8 Bild 2

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
2	4
4	16
4	16
6	36
7	49
8	64
8	64
10	100
12	144
12	144
13	169
13	169
14	196
14	196
15	225
16	256
18	324
20	400
20	400
22	484
22	484
23	529
24	576
25	625
25	625
27	729
35	1225
37	1369
37	1369
42	1764
54	2916
55	3025
65	4225
67	4489
84	7056

t =	$\Sigma \epsilon_i^2 =$
±24,6mm	34462mm ²
	s = 31,8mm

n = 35;

Tabelle A59: Abweichungstabelle Bildplan 8 Bild 3

 ϵ_i (mm)	ϵ^2 (mm²)
3	9
4	16
6	36
7	49
7	49
8	64
10	100
10	100
11	121
12	144
13	169
15	225
15	225
17	289
18	324
20	400
22	484
31	961
32	1024
35	1225
36	1296
38	1444
43	1849
47	2209
48	2304
49	2401
53	2809
54	2916
59	3481
62	3844
72	5184

90	8100
97	9409
97	9409
t = ±33,6mm	Σε_i²= 62669mm ²
	s=43,6mm

n = 34;

Tabelle A60: Abweichungstabelle Bildplan 8 Bild 4

 ε_i (mm)	ε² (mm²)
6	36
7	49
10	100
10	100
12	144
15	225
16	256
68	4624
82	6724
172	29584
t = ±39,8mm	Σε_i²= 41842mm ²
	s = 68,2mm

n = 10;

Tabelle A61: Abweichungstabelle Bildplan 8 Bild 5

 ε_i (mm)	ε² (mm²)
0	0
2	4
3	9
3	9
4	16
4	16
4	16
4	16
5	25
5	25
5	25
5	25
6	36
6	36
6	36
6	36
7	49
8	64
8	64
10	100
10	100
10	100
10	100
10	100
12	144
12	144
12	144
12	144
13	169
14	196
14	196
15	225

15	225
15	225
15	225
15	225
15	225
16	256
17	289
17	289
18	324
20	400
20	400
21	441
21	441
22	484
23	529
24	576
24	576
25	625
28	784
30	900
31	961
33	1089
35	1225
39	1521
39	1521
t = ±14,9mm	Σε_i²= 16840mm ²
	s = 18,0mm

n = 53;

Tabelle A62: Betrag der mittleren Standardabweichung bei Bildplan 8

Messung	s (mm)	n
Bild 1	18,2	32
Bild 2	31,8	35
Bild 3	43,6	34
Bild 4	68,2	10
Bild 5	18,0	53
gesamt	31,9	164

III.13 Abweichungstabelle Mehrbildauswertung

Tabelle A63: Abweichungstabelle Zweibildauswertung

 ε_i (mm)	ε² (mm²)
0	0
0	0
8	64
8	64
14	196
t = ±6,0mm	Σε_i²= 324mm ²
	s = 9,0mm

n = 10;