

Entwicklung eines Sensornetzes zur kontinuierlichen Magnetfeldüberwachung am KATRIN-Hauptspektrometer

Diplomarbeit von

Marco Antoni

An der Fakultät für Physik Institut für Experimentelle Kernphysik (IEKP)

Erstgutachter: Prof. Dr. Guido Drexlin Zweitgutachter: Prof. Dr. Ulrich Husemann

Betreuender Mitarbeiter: Dr. Jan Reich Zweiter betreuender Mitarbeiter: Dr. Ferenc Glück

Bearbeitungszeit: 2. Juli 2012 – 19. Juli 2013

Ich versichere wahrheitsgemäß, die Arbeit selbstständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde.
Karlsruhe, Juli 2013
$(\mathbf{Marco\ Antoni})$

Inhaltsverzeichnis

1.	Einle	eitung		1
	1.1.	Neutri	nos	1
		1.1.1.	Vom Postulat zum Nachweis	1
		1.1.2.	Das solare Neutrinoproblem	2
		1.1.3.	Neutrinoeigenschaften und -oszillationen	3
		1.1.4.	Mischungswinkel und Massendifferenzen	4
	1.2.	β -Zerfa	all	5
		1.2.1.		5
		1.2.2.	_	5
2.	KAT	RIN		7
	2.1.	Ziel		7
	2.2.		lick	8
	2.3		rinzip: MAC-E Filter	9
		_	u	9
	2.1.	2.4.1.	Gasförmige Quelle: WGTS	9
		2.4.2.	9 •	10
		2.4.3.	-	11
		2.4.4.	_	12
		2.4.5.	1 1	13
		_		13
3.	Mag	netfeld	lsensorsystem :	15
_			•	15
				16
		•		17
				 18
	3.3.		•	18
	3.4.	_		21
	0.1.			$\frac{1}{22}$
			0	$\frac{-}{22}$
		3.4.3.	9	$\frac{-}{25}$
	3.5.	0 0.	igung am Hauptspektrometer	
			versorgung und Ausleseelektronik	
4.	Posi	tions- ເ	und Orientierungsbestimmung mit 3 Lasern	29
			3	$\frac{-5}{29}$
		4.1.1.		29
		4.1.2.		31
		4.1.3.		32

iv Inhaltsverzeichnis

	4.2.	Transformation der Messwerte in das	
		KATRIN-Koordinatensystem	34
		4.2.1. Position	35
		4.2.2. Orientierung	35
	4.3.	Fehlerbetrachtung	35
		4.3.1. Spezialfälle: $L_1 = L_2 = L_3$ und $\varphi_{12} = \varphi_{13} = \varphi_{23} \dots \dots \dots \dots$	35
		4.3.2. In der Praxis relevante Fehler	36
	4.4.	Einmaliges Einmessen	40
		4.4.1. Bestimmung der Laserwinkel φ_{ij}	40
		4.4.2. Bestimmung des Messpunkts und der Messachsen im Lasersystem:	
		m_i und m_{ij}	40
		4.4.3. Bestimmung des lokalen Koordinatensystems der Zielplatten	42
5.	Dur	chführung und Auswertung der Messungen	45
	5.1.	Messaufbau	45
	5.2.	Bestimmung der Laserwinkel	50
	5.3.	Vermessen der südlichen Sensorinseln	51
6.	Zusa	ammenfassung und Ausblick	5 3
Lit	eratı	ırverzeichnis	57
Ar	hang		61
	Α.	Mathematik	61
		A.1. Kreiswinkelsatz	61
		A.2. Schnittpunkt P einer Geraden und einer Ebene in Normalenform	62
		A.3. Schnittgerade G_{12} zweier Ebenen in Normalenform	62
		A.4. Schnittpunkt P_{123} dreier Ebenen in Normalenform	63
	В.	Messprotokolle	63
	С.	Technische Zeichnungen	63
	D.	Messwerte	63
	E.	KLaPoS	75
		E.1. Quelltext	75
		E.2. xml-Format	75
	F.	Induktivitäten der Luftspulen	77

1. Einleitung

1.1. Neutrinos

1.1.1. Vom Postulat zum Nachweis

Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts waren Energiespektren von radioaktiven α -, β - und γ -Zerfällen experimentell bekannt. Die diskreten Linien der α - und γ -Zerfälle waren einfach zu verstehen, da nur zwei Teilchen – der Tochterkern und das beobachtete Strahlungsteilchen – entstehen und die Energien und Impulse daher durch die Erhaltungssätze kinematisch eindeutig festgelegt sind.

Beim β -Zerfall, den man damals ebenfalls für einen, durch 1.1 beschriebenen Zweikörperzerfall hielt, erwartete man ebenso ein Linienspektrum.

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + e^{-} + E_{0}$$
 (1.1)

Doch es wurde [1] ein kontinuierliches Spektrum beobachtet, im Widerspruch zur Energieund Impulserhaltung. Auch die Drehimpulserhaltung wäre nicht gegeben, da ein Teilchen mit Spin $\frac{1}{2}$ in zwei Teilchen mit Spin $\frac{1}{2}$ zerfiele.

Um die Erhaltungssätze von Energie, Impuls und Drehimpuls mit dem β -Zerfallsspektrum in Einklang zu bringen, postulierte Wolfgang Pauli 1930 als "verzweifelten Ausweg" [2] ein masseloses, ungeladenes und daher nur sehr schwer nachweisbares Spin- $\frac{1}{2}$ -Teilchen und nannte es "Neutron".

Enrico Fermi benannte dieses Neutron später in Neutrino ("kleines Neutron", kurz ν) um, um es von dem ebenfalls ungeladenen, aber massiven Kernbaustein zu unterscheiden. [3] Aufgrund der Leptonzahlerhaltung muss es sich beim β -Zerfall genaugenommen um ein Antineutrino handeln. 1.1 wird zu

$$_{Z}^{A}X \rightarrow _{Z+1}^{A}Y + e^{-} + \bar{\nu} + E_{0}$$
 (1.2)

wobei die Energie E_0 statistisch zwischen Elektron und Neutrino aufgeteilt wird.

Im Poltergeistexperiment [4] mit hohem Neutrinofluss aus dem Savannah River Kernreaktor gelang Clyde L. Cowan und Fred Reines 1956 erstmals der experimentelle Nachweis von Elektronantineutrinos durch indirekte Beobachtung der beim neutrinoinduzierten, inversen β -Zerfall entstehenden Neutronenstrahlung:

$$\bar{\nu} + {}_{1}^{1}p \rightarrow e^{+} + {}_{0}^{1}n$$

 $n + {}^{108}Cd \rightarrow {}^{109m}Cd \rightarrow {}^{109}Cd + \gamma$

1. Einleitung

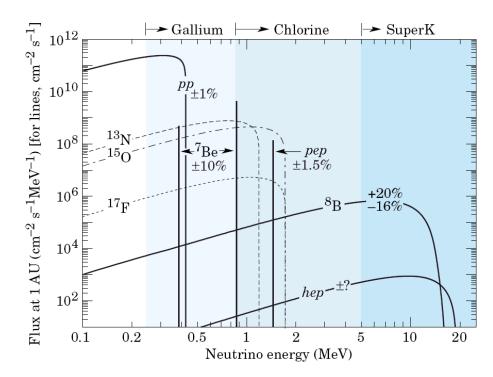


Abbildung 1.1.: Energiespektrum der Sonnenneutrinos in 1 AU Entfernung nach dem Sonnenstandardmodell [16].

1.1.2. Das solare Neutrinoproblem

Um die Frage zu klären, ob die Sonne ihre Energie tatsächlich aus Kernfusion bezieht und dabei eine große Zahl von Neutrinos emittiert,wurde von Raymond Davis Jr. in den 1960er Jahren das Homestake-Experiment in einer Goldmine in South Dakota durchgeführt [6]. Mit 615 t Tetrachlorethen wurde versucht, den neutrinoinduzierten inversen Betazerfall von Chlor zu Argon nachzuweisen

$$\nu_e + {}^{37}Cl + 814 \,\text{eV} \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$$

Der direkte Nachweis des Prozesses war zwar nicht möglich, doch das entstandene Argon, das mit 35 Tagen Halbwertszeit durch Elektroneneinfang unter Aussendung von Auger-Elektronen wieder in ^{37}Cl zerfällt, wurde alle paar Wochen mittels Helium extrahiert und in speziellen Zählern etwa ein Jahr lang auf Zerfälle untersucht.

Aus dem Wirkungsquerschnitt des Kernprozesses, der Anzahl der ^{37}Cl -Atome und der Rate, mit der Argon produziert wurde, konnte der solare Neutrinofluss - im betrachteten Energiebereich hauptsächlich 8B -Neutrinos - berechnet werden. Dieser betrug jedoch nur ungefähr ein Drittel der Vorhersage aus dem Sonnenstandardmodell!

Die ^{71}Ge -Experimente GALLEX (1991-1997) und SAGE (1989-heute) verwendeten ^{71}Ga als Target, das durch neutrinoinduzierten β -Zerfall in ^{71}Ge umgewandelt wird. [14] Dieses zerfällt mit 11,43 Tagen Halbwertszeit wieder in ^{71}Ga und ein nachweisbares Photon:

$$\nu_e + 233 \,\mathrm{keV} +^{71} Ga \rightarrow^{71} Ge + e^ e^- +^{71} Ge \rightarrow^{71} Ga + \nu_e + \gamma$$

Durch die niedrige Energieschwelle konnte der Gesamtfluss fast im kompletten Neutrinospektrum der Sonne gemessen und erstmals pp-Neutrinos aus der Sonne nachgewiesen werden. Das Ergebnis von lediglich 56,4% des erwarteten Flusses bestätigte jedoch das Defizit, ohne eine Erklärung dafür zu liefern.

1.1. Neutrinos 3

rabene 1:1 Termionen im Standardmoden						
				Elektrische		
Generation	1	2	3	Ladung		
Leptonen	$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \mu \\ \nu_{\mu} \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \tau \\ \nu_{ au} \end{pmatrix}$	-1 0		
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	$+\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$		

Tabelle 1.1.: Fermionen im Standardmodell

1.1.3. Neutrinoeigenschaften und -oszillationen

Im Standardmodell der Teilchenphysik existieren drei Generationen von Fermionen mit Spin $\frac{1}{2}$ und ihre entsprechenden Antiteilchen [6]. Die Fermionen mit Drittelladungen tragen auch Farbladung, die Ladung der starken Wechselwirkung, und werden Quarks genannt. Die Fermionen mit ganzzahliger Ladung werden als Leptonen bezeichnet und unterliegen lediglich der elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung. Sowohl Leptonen als auch Quarks fasst man in Dubletts zusammen, in denen die elektrische Ladungsdifferenz genau 1 beträgt. Je ein Lepton- und ein Quark-Dublett bilden eine von drei Generationen, in denen die Masse aller Teilchen größer ist als in der jeweiligen Vorgängergeneration.

Die Neutrinos wurden lange Zeit als masselos betrachtet. Mit massiven Neutrinos stehen den drei Flavoreigenzuständen, die an Prozessen der schwachen Wechselwirkung teilnehmen, drei Masseeigenzustände ν_1 , ν_2 , ν_3 gegenüber, die die wechselwirkungsfreie Ausbreitung beschreiben.

Beide Sets von Eigenzuständen stimmen nicht notwendigerweise überein, bilden aber je eine vollständige Basis des selben Zustandsraums und gehen durch eine unitäre Transformation mit der Maki-Nakagawa-Sakata-Matrix (MNS-Matrix) U ineinander über:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_{\mu} \\ \nu_{\tau} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Falls nun für mindestens zwei der Masseneigenzustände $m_i^2 \neq m_j^2$ gilt, oszillieren Neutrinos aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenz auf dem Weg zwischen Erzeugung und Nachweis durch die Flavoreigenzustände. Ein Neutrino, das in der Sonne als reines ν_e erzeugt wird, ist daher beim Nachweis auf der Erde eine Linearkombination aus ν_e , ν_μ und ν_τ und seine Wahrscheinlichkeit, als ν_e nachgewiesen zu werden, ist daher reduziert. Die genauen Mischungsverhältnisse hängen dabei von Entfernung, Energie, U und den Differenzen der Massequadrate $\Delta m_{ij}^2 = m_i^2 - m_j^2$ ab.

Die in Kapitel 1.1.2 erwähnten Experimente waren nur auf ν_e sensitiv und konnten daher nur einen Teil des solaren Neutrinoflusses messen. Die mit nicht-masselosen Neutrinos einhergehenden Neutrinoszillationen erklären sowohl das scheinbare Defizit als auch dessen unterschiedliche Ausprägung in verschiedenen Energiebereichen.

Das Sudbury Neutrino Observatory (SNO) weist Neutrinos im Energiebereich zwischen 1,42 MeV und 15 MeV mit verschiedenen Prozessen nach und kann daher zwischen ν -Gesamtfluss und ν_e -Fluss unterscheiden:

$$\begin{array}{ccc} \nu + e^- \rightarrow \nu + e^- & \text{(Elastische Streuung)} \\ \nu + \ ^2H \rightarrow n + p + \nu & \text{(Z^0-Austausch)} \\ \nu_e + \ ^2H \rightarrow p + p + e^- & \text{(W^\pm-Austausch)} \end{array}$$

4 1. Einleitung

Tabelle 1.2.: Experimentell bestimmte Werte der Mischungswinkel und Massendifferenzen

θ_{12}	$(33.7 \pm 0.9)^{\circ}$	SNO 2011 [9]	Δm^2_{21}	$(7.59^{+0.20}_{-0.21}) \cdot 10^{-5} \mathrm{eV^2}$	[11]
θ_{13}	$(8.8 \pm 1.0)^{\circ}$	Daya Bay 2012 [8]	$ \Delta m_{13}^2 $	$(2,43\pm0,13)\cdot10^{-3}\mathrm{eV}^2$	[11]
θ_{23}	$(38,5 \pm 2,5)^{\circ}$	MINOS 2013 [12]	$ \Delta m_{23}^2 $	$pprox \Delta m_{13}^2 $	

Am 20. April 2002 veröffentlichte Ergebnisse [7] bestätigen die Theorie der Neutrinooszillationen und das Homestake-Experiment: Der gemessene Fluss solarer Neutrinos besteht im betrachteten Energiebereich etwa zu einem Drittel aus ν_e , der Gesamtfluss aller drei Flavors ist in Übereinstimmung mit dem im Sonnnenstandardmodell berechneten ν_e -Fluss.

1.1.4. Mischungswinkel und Massendifferenzen

Die unitäre MNS-Matrix U, die die Flavor- und Masseneigenzustände aufeinander abbildet, hat sechs Freiheitsgrade. Mit den Abkürzungen $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$ und $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ kann sie wie folgt parametrisiert werden:

$$U = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha} & 0 \\ 0 & 0 & e^{i\beta} \end{pmatrix}$$

Dabei ist θ_{fi} der Mischungswinkel zwischen Flavorzustand f und Massenzustand i. Die "Dirac"- oder CP-verletzende Phase δ ist nur ungleich Null, falls Neutrinooszillationen die CP-Symmetrie verletzen.

Sollten Neutrinos bis auf die Helizität ihren Antiteilchen gleichen, so wirkt sich das in der MNS-Matrix über die Majorana-Phasen α und β aus. Ist das nicht der Fall, ist die Zahl der Freiheitsgrade auf vier reduziert, es gilt $\alpha = \beta = 0$.

Die genauen Massen und die Hierarchie der Massenzustände sind bis heute nicht bekannt, da die bisherigen (Oszillations-)Experimente lediglich auf die Differenzen der Massenquadrate Δm_{12}^2 , Δm_{13}^2 und $\Delta m_{23}^2 = \Delta m_{21}^2 + \Delta m_{13}^2$ sensitiv waren. Allerdings gibt es aus der Kosmologie eine obere Grenze für die Summe der Massen: Die Neutrinos bilden eine Form von heißer dunkler Materie (HDM, Hot Dark Matter), die die Strukturbildung im Universum verzögert, da sie überdichte Regionen ungebremst wieder verlassen kann. Aus einer Kombination von experimentellen Daten des Sloan Digital Sky Survey (SDSS) und der Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) wurde in [29] eine Obergrenze für die Summe der Neutrinomassen bestimmt:

$$\sum_{i} m_{\nu_i} < 1.7 \frac{\text{eV}}{c^2} \text{ (95\%C.L.)}$$

Diese Grenze ist leider vom verwendeten kosmologischen Modell abhängig.

Zur Bestimmung der Neutrinomasse unabhängig von Modellen wurde in verschiedenen Experimenten das Energiespektrum von beim β -Zerfall entstehenden Elektronen gemessen. Die so bestimmte effektive Masse des Elektronantineutrinos ist die inkohärente Summe der Masseneigenzustände:

$$m_{\nu_e}^{eff} = \sqrt{\sum_{i=1}^{3} |U_{ei}|^2 \cdot m_{\nu_i}^2}$$

Die Tritium-Experimente in Troitsk und Mainz haben mit $m_{\nu_e}^{eff} < 2,3 \frac{\text{eV}}{c^2}$ bzw. $m_{\nu_e}^{eff} < 2,05 \frac{\text{eV}}{c^2}$ die bis heute besten modellunabhängigen Obergrenzen für die effektive $\bar{\nu}_e$ -Masse bestimmt.

Aus verschiedenen Oszillationsexperimenten kennt man heute bis auf δ die Mischungswinkel und Massendifferenzen (Tabelle 1.2).

1.2. β -Zerfall 5

1.2. β -Zerfall

1.2.1. Zerfallsprozess

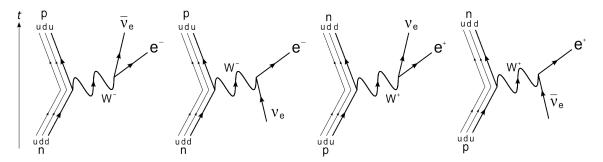


Abbildung 1.2.: "normaler", induzierter, inverser und induzierter inverser β -Zerfall.

 $http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Beta_Negative_Decay.svg$

Beim β^- -Zerfall wandelt sich in einem Atomkern mit Neutronenüberschuss ein Neutron unter Erzeugung eines virtuellen W^- -Bosons in ein Proton um. Das virtuelle W^- zerstrahlt in ein $\bar{\nu}_e$ und ein Elektron, wobei letzteres als β -Strahlung beobachtet werden kann.

$$n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$$

Kerne mit einem Neutronendefizit durchlaufen dagegen einen β^+ -Zerfall, falls die dadurch gewonnene Bindungsenergie größer als $(m_N + m_e - m_P)c^2$ ist.

$$p \to n + e^+ + \nu_e$$

Beide Prozesse können auch durch Einfang eines ausreichend energetischen Antineutrinos ausgelöst werden, man spricht dann vom induzierten (inversen) β -Zerfall.

$$n + \nu_e \rightarrow p + e^-$$

 $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$

Die dabei entstehenden geladenen Leptonen ermöglichen einen indirekten Nachweis für Neutrinoflüsse. Aufgrund des sehr kleinen Wirkungsquerschnitts ist für eine hinreichende Zählrate ein sehr großes Targetvolumen notwendig.

Auch durch Elektronen- oder Positroneneinfang ist die Umwandlung von Neutronen in Protonen oder umgekehrt möglich, man spricht dann aber nicht mehr von β -Zerfall, da die dabei freiwerdenden Neutrinos im Gegensatz zur β -Strahlung kaum nachweisbar sind.

Die entstehenden Elektronen und Neutrinos sind longitudinal polarisiert. Eine genauere Untersuchung des β -Zerfalls im Wu-Experiment 1956 [13] zeigte, dass fast alle Elektronen mit negativer Helizität entgegen des Spins des zerfallenden Kerns emittiert werden. Bei der schwachen Wechselwirkung ist die Raumspiegelungssymmetrie (P) daher maximal gebrochen. Stattdessen haben die schwachen Prozesse die kombinierte CP-Symmetrie. Durch Raumspiegelung (P) und Austausch aller Teilchen durch ihre Antiteilchen (C) erhält man den selben schwachen Prozess.

1.2.2. Energiespektrum

Beim normalen und inversen β -Zerfall eines bestimmten Atomkerns ${}_Z^AX$ stehen dem Elektron und dem Neutrino immer die gleiche kinetische Energie $Q=(m_{ZX}^A-m_{Z\pm 1}^AY-m_e)c^2$ zur Verfügung. Wären der Tochterkern und das Elektron die einzigen Produkte, wäre

6 1. Einleitung

die Elektronenenergie bei diesem Nuklid immer gleich $E_0 = Q - E_{\rm Korrektur}$, wobei in der Konstanten $E_{\rm Korrektur}$ der Rückstoß des Kerns und eine eventuelle Anregungsenergie des Tochterkerns berücksichtigt sind.

Die Energie verteilt sich statistisch auf Elektron und Neutrino, das Spektrum hat die Form [14]

$$N(E) = \frac{m_e |H_{fi}|^2}{2\pi^3 c^4 \hbar^7} E \cdot (E_0 - E)^2 \cdot \sqrt{E^2 - m_e^2 c^4}$$

Hat das bei diesem Zerfall enstehende Neutrino eine Masse ungleich Null, muss dafür $m_{\nu_e}^{eff}\cdot c^2$ aufgewendet werden. Die maximale Elektronenergie E^{\max} ist um diesen Wert reduziert, was sich im Spektrum nahe E_0 bemerkbar macht:

$$N(E) = \frac{m_e |H_{fi}|^2}{2\pi^3 c^4 \hbar^7} E \cdot (\underbrace{E_0 - m_{\nu}^{eff} c^2}_{E_{\text{max}}} - E)^2 \cdot \sqrt{E^2 - m_e^2 c^4 - m_{\nu}^{eff^2} c^4}$$

Beim β -Zerfall von Tritium wird $Q^{3H}=18.591(1)\,\mathrm{keV}$ [17] frei, die Halbwertszeit beträgt 12,33 Jahre.

2. KATRIN

2.1. Ziel

Das Ziel von KATRIN, dem Karlsruher Tritium Neutrinoexperiment, ist die modellunabhängige Bestimmung der effektiven Elektronantineutrinomasse $m_{\nu_e}^{eff} = \sum_{i=1}^{3} |U_{ei}|^2 \cdot m_{\nu_i}^2$ mit bisher unerreichter Genauigkeit [22]. Dazu wird im Endbereich des Tritium- β -Spektrums die Energie der Elektronen mit Hilfe eines MAC-E Filters auf 0,93 eV genau gemessen. Die Sensitivität auf m_{ν_e} wird gegenüber den Vorgängerexperimenten in Mainz und Troitsk um den Faktor 100 auf 200 meV (95% C.L.) verbessert. Dazu sind hohe Anforderungen an die Technik, Statistik und Untergrundreduktion unabdingbar.

Wegen $m_{\nu_e}^{eff}<2,05{\rm eV}/c^2$ liefern vor allem die letzten 2 eV des Elektronenspektrums Information über $m_{\nu_e}^{eff}$ (siehe Abbildung 2.1)

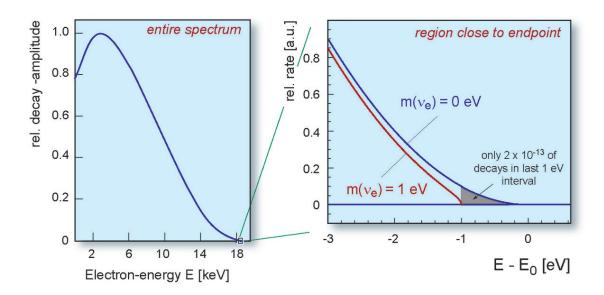


Abbildung 2.1.: Energiespektrum der Tritium- β -Elektronen für $m_{\nu_e} \in \{0,1\}$ eV $\frac{http://www.katrin.kit.edu/79.php}{}$

8 2. KATRIN

- Der Endpunkt ist nach $E_0 m_{\nu_e}^{eff} \cdot c^2$ verschoben.
- Die Zerfallsraten direkt unterhalb des Endpunkts sind kleiner als bei $m_{\nu_e}^{eff} = 0$.
- Das Spektrum fällt zum Endpunkt hin schneller ab als bei $m_{\nu_e}^{eff} = 0$.

Lediglich $O(10^{-13})$ aller beim Tritium- β -Zerfall entstehenden Elektronen haben eine derart hohe Energie, die verwendete Quelle muss also sehr stark sein und der Untergrund bestmöglich reduziert werden.

2.2. Überblick

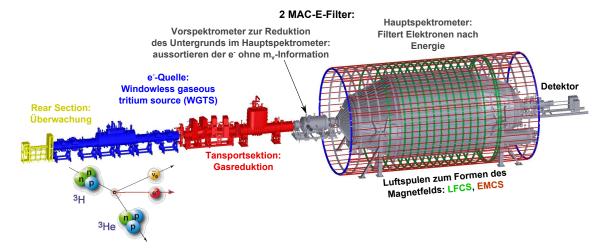


Abbildung 2.2.: Aufbau von KATRIN

Das KATRIN-Experiment wird derzeit auf dem Gelände des TLK am KIT Campus Nord aufgebaut. Das etwa 70m lange Experiment besteht von Süden nach Norden aus einer hinteren Sektion ("Rearsection") zur Überwachung der Quelle, einer in beide Richtungen fensterlosen, gasförmigen Tritiumquelle, einer Transportstrecke mit differentiellen und kryogenen Pumpen, einem 4m langen MAC-E Filter als Vorspektrometer, einem 25m langen MAC-E Filter als Hauptspektrometer und dem in Kreissegmente gleicher Fläche aufgeteilten Detektor.

Über die gesamte Länge von der Quelle zum Detektor wird mit supraleitenden Solenoiden ein Magnetfeld erzeugt, das die Elektronen auf kontrollierten Bahnen führt.

Desweiteren befindet sich das alte Mainzer Spektrometer – ebenfalls ein MAC-E Filter – parallel zur Beamline in einem Nachbargebäude und wird als Monitorspektrometer zur Überwachung experimenteller Parameter wie der Hochspannung benutzt.

Die Energie der beim β -Zerfall von Tritium in der Nähe des Endpunktes entstehenden Elektronen wird mit dem Hauptspektrometer bestimmt. Dabei fiel die Wahl aus folgenden Gründen auf Tritium:

- Die Halbwertszeit ist mit $t_{\frac{1}{2}}=12,33\,a$ nicht zu klein, als dass ständig Material neu eingebracht werden müsste. Verglichen mit dem ebenfalls als Quelle geeigneten $^{187}Re,$ dessen Halbwertszeit $t_{\frac{1}{2}}=4,35\cdot 10^{10}\,a$ beträgt, ist die Zerfallsaktivität von Tritium rund $4\cdot 10^8$ mal so groß.
- Die beim β -Zerfall freiwerdende Energie $Q_{\text{Tritium}} = 18,591 \text{ keV}$ ist die zweitniedrigste aller bekannten β -Strahler, nur das Spektrum von ^{187}Re hat mit 2,66 keV [17] einen niederenergetischeren Endpunkt. Dies erlaubt, bei der Messung relativ kleine Hochspannungen zu verwenden und schwächt die Anforderungen an die relative Präzision

ab. Auch für die Zählrate nahe des Endpunkts ist dies von Vorteil, denn diese ist proportional zu Q^{-3} .

- Die einfachen Elektronenkonfigurationen von 3H und dem Tochterkern 3He und durch sie verursachte Störungen sind wie auch das Kernmatrixelement $M^2=5,55$ genau berechenbar. Letzteres ist desweiteren energieunabhängig, da es sich um einen übererlaubten Zerfall handelt.
- Die mögliche gasförmige Quelle eliminiert störende Einflüsse von Festkörpereffekten und erlaubt, durch freie Wahl der Dichte, den bestmöglichen Kompromiss aus Zerfallsrate und inelastischer Streuung zu finden.

2.3. Messprinzip: MAC-E Filter

Das Messprinzip des Magnetischen Adiabatischen Kollimators¹ kombiniert mit einem Elektrostatischen Filter wurde erstmals in [23] vorgeschlagen und sowohl in Mainz als auch in Troitsk erfolgreich angewendet. Der grundlegende Aufbau eines MAC-E Filters besteht aus je einem supraleitenden Solenoiden am Ein- und Ausgang eines Vakuumtanks, die in diesem ein axialsymmetrisches, inhomogenes Magnetfeld erzeugen. Auf der Innenseite dieses Tanks sind Elektroden angebracht, die der Erzeugung eines Retardierungspotentials dienen, mit dem die Energie, ab derer die Elektronen transmittiert werden, eingestellt werden kann.

Das Hauptspektrometer ist ein solcher MAC-E Filter. Die Elektronen treten in einem starken Magnetfeld $B_{\rm in} \approx 4\,\mathrm{T}$ ein. Auf dem weiteren Weg wird durch das schwächer werdende B-Feld die Transversalenergie E_{\perp} , die in der Rotation um die Magnetfeldlinien steckt, in Longitudinalenergie E_{\parallel} umgewandelt, wobei das magnetische Moment

$$\mu = \frac{E_{\perp}}{B}$$

im adiabatischen, nichtrelativistischen Fall erhalten bleibt. Die Transversalenergie nimmt dann im gleichen Maße wie das Magnetfeld ab. Die Elektronen, die das elektrische Potential überwinden konnten, werden zum Detektor hin durch die im Pinch-Solenoiden bis auf $B_{\rm max}\approx 6\,{\rm T}$ anwachsende Feldstärke wieder gebündelt. Die relative Energieauflösung ist daher gegeben durch

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{B_{\min}}{B_{\max}}$$

Beim KATRIN-Hauptspektrometer ist dieses Verhältnis aufgrund äußerer Störfelder durch das minimale Magnetfeld $B_{\min} \approx 0.3 \,\mathrm{mT}$ limitiert und beträgt etwa $^{1}/_{20000}$.

Gleichzeitig können durch ein angelegtes Retardierungspotential -U, das als elektrostatischer Filter (-**E**) dient, nur Elektronen mit $E_{\parallel} \geq -e \cdot U$ das Spektrometer passieren.

Das Spektrum wird durch Variation von U im Bereich unter und um Q_{Tritium} integral gemessen. Aufgrund der magnetischen Kollimation tragen fast alle Elektronen, die in der Quelle mit einem Impuls in Richtung des Detektors emittiert werden, zum gemessenen Spektrum bei. Dadurch kann die Quelle bei gleicher Zählrate von weniger Gas durchströmt werden, Energieverluste durch inelastische Streuung an Gasmolekülen werden minimiert.

2.4. Aufbau

2.4.1. Gasförmige Quelle: WGTS

Die Quellen der Vorgängerexperimente in Troitsk und Mainz bestanden aus einer Metallscheibe mit adsorbiertem Tritium. Das Energiespektrum der Elektronen wurde daher durch Festkörpereffekte in der Größenordnung der KATRIN-Energieauflösung verfälscht.

¹engl.: Collimator

2. KATRIN

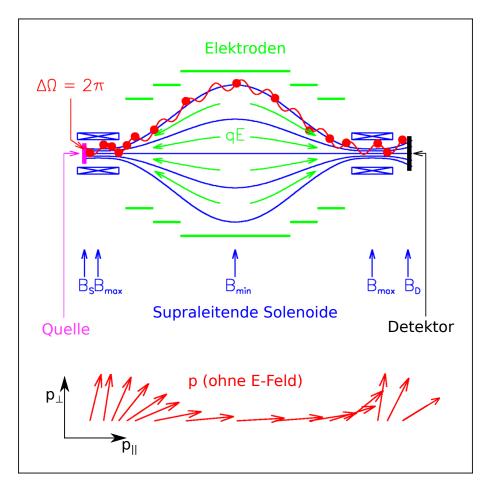


Abbildung 2.3.: Funktionsprinzip MAC-E Filter

http://www.katrin.kit.edu/79.php

KATRIN verwendet daher mit der WGTS 2 eine $10\,\mathrm{m}$ lange fensterlose Quelle, in deren Mitte kaltes (T=27 K), gasförmiges Tritium mit etwa 90% Reinheit einströmt.

An beiden Enden der Quelle wird das Tritium nach etwa 1 s Driftzeit wieder abgepumpt, während dieser Aufenthaltszeit in der Quelle zerfallen $\sim 1, 8\cdot 10^{-9}$ der Tritiumatome. Etwa $5\cdot 10^{19}~T_2$ -Moleküle werden pro Sekunde in die Quelle gepumpt, die gesamte Quellstärke beträgt daher etwa $9\cdot 10^{11}$ Zerfälle pro Sekunde. Die dabei enstehenden Elektronen werden mit einem von supraleitenden Solenoiden erzeugten, 3,6 T starken Magnetfeld adiabatisch, abhängig von der Emissionsrichtung je zur Hälfte in Richtung Rearsection oder Detektor geleitet. In der Differentiellen Pumpstrecke ist die Feldstärke größer, so dass etwa $^3/_5$ der ankommenden Elektronen magnetisch reflektiert werden. Insgesamt erreicht also von fünf in der Quelle erzeugten Elektronen eins die Transportsektion.

2.4.2. Transportsektion

Nach der WGTS folgt in Richtung des Detektors die Transportstrecke, in der die Elektronen weiterhin adiabatisch entlang von Magnetfeldlinien in Richtung des Detektors geführt werden. Gleichzeitig soll der Strom von Tritiummolekülen, die aus der Quelle zum Detektor driften und durch Zerfall im Hauptspektrometer den Untergrund erhöhen könnten, um den Faktor 10^{14} auf höchstens $10^{-14} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$ reduziert werden.

Die Transportsektion ist unterteilt in die Differentielle und die kryogene Pumpstrecke, die gemeinsam diese Reduktion erreichen.

²Windowless Gaseous Tritium Source

2.4. Aufbau 11

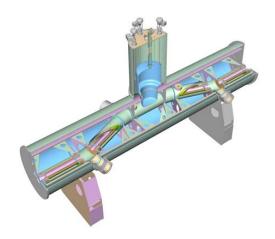


Abbildung 2.4.: Schematischer Aufbau der DPS2-F

http://www.katrin.kit.edu/84.php

In den differentiellen Pumpstrecken DPS2-F 3 und DPS1-R 4 , die sich direkt auf beiden Seiten der WGTS an diese anschließen, wird das Tritium mit Hilfe von Turbomolekularpumpen abgepumpt. Die DPS2-F ist desweiteren nicht gerade, sondern enthält vier 20° -Kurven (Abbildung 2.4), deren Passage für die elektrisch neutralen Gasmoleküle ohne Stöße unmöglich ist. Die Elektronen dagegen werden mit dem Magnetfeld verlustfrei um die Kurven geführt. In der differentiellen Pumpstrecke in Richtung des Detektors wird der Tritiumfluss dadurch auf weniger als 10^{-5} reduziert.

In Detektorrichtung schließt sich die kryogene Pumpstrecke (CPS⁵) an, in der eine weitere Reduktion des Tritiumflusses um 10^{-7} durch Kryosorption der Tritiummoleküle an der mit flüssigem Helium auf $T=3..5\,K$ gekühlten Strahlrohrwand erreicht wird. Zur Unterstützung dieses Prozesses wird die für Adsorption zur Verfügung stehende Oberfläche mit einer dünnen Schicht Argonschnee erhöht.

2.4.3. Vorspektrometer

Das Vorspektrometer ist ein MAC-E Filter. Es besteht aus einem zylindrischen, 3,38 m langen Edelstahltank mit Durchmesser 1,68 m und 1 cm Wandstärke. An der Innenseite des Tanks befindet sich ein Elektrodensystem, das auf ein negativeres Potential als der Tank selbst gelegt werden kann, um zu verhindern, dass niederenergetische Elektronen von außen in das innere Volumen eindringen.

Mittels je einer Tumbomolekularpumpe in zwei elektrisch isolierten Pumpstutzen und einer NEG⁶-Getterpumpe wird der Tank evakuiert und das Vakuum gehalten.

Das Vorspektrometer wurde mit keramischen Isolationselementen auf einer Edelstahltragevorrichtung montiert. Es kann daher mit bis zu $U=35\,\mathrm{keV}$ auf dem Tank selbst betrieben werden.

Am Vorspektrometer wurden die neuen Hauptspektrometer-Konzepte getestet. Das elektromagnetische Design, bei dem der gesamte Tank auf Hochspannung liegt und die inneren Elektroden mit einer anderen Spannung betrieben werden, das Vakuum sowie das Heizund Kühlsystem und dessen optimaler Einsatz, um das Vakuum zu optimieren, wurden daran überprüft.

 $^{^3}$ Differential Pumping Section - Front, führt Elektronen von der Quelle in Richtung Detektor

 $^{^4}$ **D**ifferential **P**umping **S**ection - **R**ear, führt Elektronen von der Quelle in Richtung RearSection

⁵Cryogen Pump Section

 $^{^6}$ Non-Evaporable Getter, bindet Gasmoleküle chemisch irreversibel

12 2. KATRIN

Die ursprünglich vorgesehene Hauptaufgabe des Vorspektrometers im Messbetrieb war, die niederenergetischen Elektronen, die ohnehin keine Information über die Neutrinomasse tragen, herauszufiltern, bevor sie das Hauptspektrometer erreichen, wodurch weniger Elektronen im Hauptspektrometer potentiell gespeichert und der davon herrührende Untergrund minimiert werden. Allerdings zeigten Simulationen in [19], dass dadurch eine Penningfalle zwischen Vor- und Hauptspektrometer entsteht und der Untergrund mit kleinerem Vorspektrometerpotential wesentlich verringert kann.

2.4.4. Hauptspektrometer

Das Hauptspektrometer ist wie das Vorspektrometer ein MAC-E Filter. Es ist ein 23 m langer Edelstahltank, der in der Mitte aus einem 10 m langen zylindrischen Teil mit 9,8 m Innendurchmesser besteht, an dessen beiden Enden sich jeweils ein 5 m langer, flacher konischer Teil und ein 1,5 m langer, steiler konischer Teil anschließen. Der zwischen Vorspektrometer und Hauptspektrometer befindliche "PreSpec"-Solenoid erzeugt in beiden Spektrometern ein Magnetfeld. Gegenüber befindet sich direkt am Hauptspektrometer der "Pinch"-Solenoid, der mit bis zu 6 T Feldstärke stärkste Elektromagnet des Experiments. Hinter diesem folgt der "Detektor"-Solenoid, der den Detektor beinhaltet. An den Spitzen der steilen konischen Teile befindet sich jeweils eine Öffnung, durch die die Elektronen in den Tank eintreten und ihn gegenüber wieder verlassen. Die Größe ist bestimmt durch den magnetischen Fluss von 191 Tcm² in der Quelle, der in der Analysierebene bei minimaler Feldstärke $B_{\min} = 0,3$ mT vollständig im Vakuum liegen soll.

Im Inneren des Hauptspektrometers wird mit einer Kombination aus NEG-Getter und Turbomolekularpumpen ein Ultrahochvakuum ($p \sim 10^{-11}\,\mathrm{mbar}$) erzeugt. Dabei wird ein möglichst kleiner Druck angestrebt, um die Untergrundeigenschaften zu optimieren. Das erreichbare Vakuum wird durch Ausheizen des Tanks bei etwa 300 °C erreicht. Dazu ist an der Außenseite des Stahltanks eine Ölheizung angebracht. Thermische Isolation in Form von 30 cm Glaswolle, umhüllt von Aluminiumblechen, die mit der Tankwand über Federn verbunden sind, erlaubt während des Ausheizens das "Arbeiten" am Spektrometer mit nur $\sim 30\,\mathrm{^{\circ}C}$ Außentemperatur.

Die magnetische Feldstärke in der Analysierebene $B_{\rm min}$ ist nur etwa 6 mal so groß wie das Erdmagnetfeld. Zur Kompensation dieses und anderer, schwächerer Störeinflüsse wie der Streufelder von magnetischen Materialien und das Magnetfeld des Monitorspektrometers wurde ein in [25] beschriebenes Luftspulensystem entwickelt und gebaut. Es besteht aus ringförmigen Spulen in 90 cm Abstand, die mit ihrem Innendurchmesser von 6,3 m das Hauptspektrometer in etwa einem Meter Abstand umgeben und als "Low Field Correction System" zur Feinformung des ansonsten hauptsächlich von "PreSpec"- und "Pinch"-Solenoiden erzeugten longitunalen Magnetfelds dienen. Parallel zur Strahlrichtung sind an den LFCS-Spulen zwei Cosinusspulen-Systeme "Earth Magnetic Field Correction System"-x und -y angebracht, mit denen Störfelder in transversaler Richtung – hauptsächlich das Erdmagnetfeld – ausgeglichen und das Magnetfeld feingeformt werden können [27]. Besonders wichtig ist die adiabatische Führung der Elektronen, die sich mit einem stetig, langsam ändernden Magnetfeld erreichen lässt.

Die Innenseite des Stahltanks ist wie beim Vorspektrometer mit in Modulen zusammengefassten Drahtelektroden bestückt, um das unerwünschte Eintreten von negativ geladenen Teilchen zu verhindern. Die Elektroden sind hier doppellagig ausgeführt, um das elektrische Feld im Inneren präzise formen zu können. In [26] ist das genaue Konzept ausführlich dargestellt. Die präzise Kenntnis der angelegten Hochspannung ist für KATRINs Energieauflösung kritisch, denn die Auflösung des Detektors beträgt nur etwa 1,4 keV.

Leider gab es bei der Ausheizphase Anfang 2013 einen Zwischenfall, durch den einige Elektrodenmodule innen mit ihren äußeren Gegenstücken kurzgeschlossen wurden. Der

2.4. Aufbau 13



Abbildung 2.5.: Der KATRIN-Detektor

http://www.katrin.kit.edu/84.php

Messbetrieb von KATRIN wird dadurch nicht verhindert, aber einige Techniken zur Untergrundreduktion und Feinformung des elektrischen Felds sind damit leider nicht mehr möglich.

2.4.5. Detektor

Ein monolithischer, 12,7 cm durchmessender, in 148 konzentrische Kreisteilsegmente gleicher Fläche unterteilter PIN-Dioden Detektor aus Silizium bildet das Endstück des Strahlengangs. Die Unterteilung ermöglicht, die Elektronen je nach Radius, unter dem sie die Analysierebene durchtreten haben, getrennt zu analysieren. Dadurch wird die Verschlechterung der Energieauflösung aufgrund der radialen Inhomogenitäten des elektrischen und magnetischen Felds verhindert.

Die Energieauflösung des Detektors reicht mit 1,4 keV nicht aus, um die Elektronenenergie genau zu messen, ist aber ausreichend, um hochenergetischen Untergrund zu diskriminieren.

2.4.6. Monitorspektrometer

Das alte Mainz-Experiment wurde in einem Nebengebäude parallel zum Haupspektrometer aufgebaut. Es wird mit der selben Hochspannung wie das Hauptspektrometer betrieben und ist Teil des Hochspannungsüberwachungssystems im laufenden Messbetrieb, mit dem Ziel, in drei Jahren Messzeit weniger als 60 mV Unsicherheit, entsprechend 3 ppm in der 18,6 kV-Hochspannungsversorgung zu erreichen. Dazu wird die Hochspannung mit einem eigens dafür gebauten hochpräzisen Spannungsteiler auf etwa 10 V reduziert und mit einem entsprechend präzisen Voltmeter überwacht. Ein dazu komplementäres Konzept verwendet das Monitorspektrometer [28].

3. Magnetfeldsensorsystem

3.1. Einführung

Damit KATRIN optimel messen kann, muss das Magnetfeld des Hauptspektrometers einige Anforderungen erfüllen. So sollte das Minimum des Magnetfelds mit dem Maximum des elektrischen Retardierungspotential räumlich zusammenfallen, um den Messfehler in der Elektronenenergie ΔE möglichst zu minimieren. Die minimale Feldstärke sollte auch so klein wie möglich sein, um die Energieauflösung weiter zu optimieren. Allerdings muss der gesamte, durch Querschnittsfläche und Feldstärke der Quelle definierte, magnetische Fluss $\Phi = 191\,\mathrm{Tcm^2}$ im Hauptspektrometer innerhalb der Fläche $A = \pi \cdot (4,9\mathrm{m})^2 = 75,43\mathrm{m^2}$ zwischen den Drahtelektroden liegen, so dass die transmittierten Elektronen das Hauptspektrometer – abgesehen von den Feldern – problemlos durchqueren können. Das minimal mögliche Feld in der Analysierebene beträgt daher etwa $B_{min} = \frac{\Phi}{A} = 0,3\,mT$.

Bei einem Feld dieser Stärke sind äußere Einflüsse nicht zu vernachlässigen, alleine die Feldstärke des Erdmagnetfelds beträgt in Karlsruhe mit 0,048 mT etwa ein Sechstel der minimalen Feldstärke und führt zu geometrischen Veränderungen des Flussschlauchs. Auch die in der Hauptspektrometerhalle verbauten magnetischen Materialien verursachen Störungen in der Größenordnung einiger Prozent [27].

Der hauptsächlich von PreSpec- und Pinch-Solenoid erzeugte Flussschlauch wird mit dem Luftspulensystem LFCS in die gewünschte Form gebracht, das Erdmagnetfeld durch EMCS ausgeglichen. Die Feldlinien dürfen die Elektroden oder gar die Tankwand nicht berühren. Auch die Transmissionseigenschaften des Hauptspektrometers werden mit LFCS optimiert, so dass der energetische Übergangsbereich zwischen nicht-Transmission und Transmission möglichst klein wird.

Die dafür notwendigen Ströme werden mit dem Programm KTrap aus dem Paket "Kasper"[20] per numerischer Optimierung bestimmt. Das Programm berechnet dazu aus der Geometrie, den Windungszahlen und den fließenden Strömen der Luftspulen, des PreSpec- und des Pinch-Solenoiden das Magnetfeld am und im Hauptspektrometer und bestimmt numerisch die optimalen LFCS-Ströme. Die Feldsimulationen sollen mit Hilfe von Sensoren überprüft werden, um die Feldberechnung entweder zu bestätigen oder zu verbessern. Um auch den Einfluss der in der Halle verbauten magnetischen Materialien zu sehen, soll das Feld mit 1% Genauigkeit gemessen werden, das entspricht bei perfekten Sensoren 0,57° Winkelgenauigkeit. Ausreichend präzise Sensoren wurden mit den Bartington Mag-03MSB1000 gefunden, die auch schon in [27] zur Vermessung des Störfelds der magnetischen Materialien verwendet wurden.

Das von den Sensoren gemessene Feld muss schließlich noch in das KATRIN-Koordinatensystem transformiert werden. Dazu soll die Orientierung der Sensoren auf höchstens 0,5° genau festgestellt werden. Die Position der Sensoren ist aufgrund der relativ langsamen räumlichen Änderung des Magnetfelds im zylindrischen Bereich weniger kritisch, die erforderliche Genauigkeit beträgt einige Zentimeter. Aufgrund des notwendigen Aufwands, um die geforderte Präzision zu erreichen, können nur wenige Sensoren verwendet werden, die sich möglichst nahe am interessanten Volumen befinden sollten. Ein Einsatz von Sensoren im Vakuum ist nicht möglich, da die Bartington-Sensoren nicht vakuumtauglich sind und die Innenseite des Hauptspektrometers vollständig mit Drahtelektroden ausgekleidet ist. Aus diesen Gründen werden die Sensoren auf der Außenseite des zylindrischen Teils angebracht, direkt auf den Aluminiumblechen der Wärmeisolation. Diese Aluminiumbleche sind allerdings nicht fest am Tank montiert und können, insbesondere wenn das Hauptspektrometer sich beim Ausheizen um bis zu 15cm ausdehnt und wieder zusammenzieht, verschoben und verdreht werden. Daher werden die Magnetfeldsensoren mit je einem Neigungssensor (Inklinometer) kombiniert, der Drehungen um zwei horizontale Achsen feststellen kann. Drehungen um die Gravitationsachse bleiben von diesen jedoch unbemerkt, weshalb das in Kapitel 4 vorgestellte System aus einer Box mit drei Lasern pro Sensor entwickelt wurde, mit dem die Position und Ausrichtung der Sensoren bei Bedarf in kurzer Zeit mit der erforderlichen Präzision nachgemessen werden kann.

Jeder Sensor wurde mit je einer für die Messposition individuell konstruierten Laserbox, einem Inklinometer und einer Plastikbox für die Elektronik auf einer 16 cm×37,5 cm großen Aluminiumplatte (technische Zeichnung in Abbildung C.3) zu einer "Sensorinsel" zusammengefasst. An den schmalen Enden jeder Platte sind auf der Unterseite abgerundete Füße aus Hart-PVC angebracht, die die Montage erleichtern. Oberhalb der PVC-Füße befindet sich jeweils eine Nut, in die zur Montage auf dem Spektrometer mit vier Schrauben und einem passenden Gegenstück aus Aluminiumblech ein dünnes Stahlseil eingeklemmt werden kann. Bei der Konstruktion der Sensorinseln wurde auf nichtmagnetische Materialien geachtet, um die Messwerte der Sensoren möglichst nicht zu verfälschen. Einzig die Edelstahlseile blieben mangels Alternativen als schwachmagnetisches Bauteil im finalen Design übrig. Sämtliche Schrauben bestehen aus Messing, die Laserbox wurde im 3D-Druck aus ABS-Kunststoff hergestellt und auch das Inklinometer kommt ohne magnetische Teile aus.

Zusätzlich zu den Sensorringen sind weitere Sensoren vorgesehen, die mit Aluminiumwinkeln auf den Tragesäulen des Hauptspektrometers montiert werden. Auf der Vorspektrometerseite sollen diese in Richtung Süden überstehen. Detektorseitig wäre aufgrund des starken Pinchmagnetfelds (siehe 3.4.1) nur eine Anbringung südlich der Tragesäulen möglich. Die Sensoren wären dann nur etwa einen Meter von den Sensorinseln NW11 bzw. NE41 entfernt und sind daher entbehrlich.

3.2. Messpositionen

Zur Beschreibung der Messpositionen wird das orthonormale KATRIN-Koordinatensystem, definiert über die Strahlrichtung und die Gravitation, verwendet:

- 1. Ursprung in der Mitte des Hauptspektrometers
- 2. \hat{z} : Strahlrichtung (ca. 15° gegen Norden verdreht)
- 3. \hat{y} : parallel zur Gravitation, zeigt nach oben
- 4. $\hat{x} = \hat{y} \times \hat{z}$

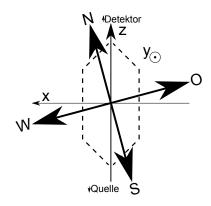


Abbildung 3.1.: Das KATRIN-Koordinatensystem

Die Sensoren werden an jeweils zwei Edelstahlseilen festgeklemmt, die den zylindrischen Teil des Hauptspektrometers ringförmig umgeben. Für diese Sensoren bietet es sich daher an, den Polarwinkel θ in der xy-Ebene einzuführen:

$$x = r \cdot \cos \theta$$
 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
 $y = r \cdot \sin \theta$ $\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$

3.2.1. Z-Positionen

An der Unterseite des Hauptspektrometers sind die beiden Enden jedes Seils mit einer Feder so gespannt, dass sie die Sensorinseln gegen die Schwerkraft an der Spektrometeroberfläche halten. Diese Federn dienen auch der Anpassung an die thermische Ausdehnung des Tanks beim Ausheizen. Um die Montage und die Einschätzung der korrekten Position währenddessen gegenüber einer willkürlichen Wahl der z-Koordinaten zu vereinfachen, werden die drei Sensorringe genau zwischen zwei LFCS-Ringen angebracht. Die möglichen Positionen in z-Richtung sind daher Vielfache von 90 cm.

Ein Ring wird in der Analysierebene bei $z=0\,\mathrm{m}$ angebracht und sollte möglichst viele Sensoren enthalten, um das Magnetfeld in der wichtigsten Region optimal überwachen zu können. Hier befinden sich bereits acht Hall-Sensoren die zwar mit Ausrichtungsungenauigkeiten im Gradbereich nicht so präzise wie die Fluxgate-Magnetometer des hier vorgestellten Sensornetzes messen, aber dennoch als Backup erhalten werden.

Zwei weitere Ringe, je einer nördlich und südlich davon, dienen hauptsächlich dazu, die Feldsimulationen zu überprüfen. Sie kommen mit weniger Sensoren aus – vier sollten es allerdings mindestens sein, damit die räumliche Auflösung der vermessenen Störfelder nicht zu sehr leidet. Die Positionen $z=\pm 0,9$ m und $z=\pm 1,8$ m befinden sich zu diesem Zweck zu nahe an der Analysierebene. Bei $z=\pm 2,7$ m hat der Vakuumtank zwei breite Stutzen und Plattformen, die die Montage der Sensoren sehr verkomplizieren würden. Bei $z=\pm 3,6$ m ist bereits, wie in der Analysierebene, jeweils ein Ring von Hallsensoren angebracht. Die Montage wäre möglich, aber unnötig erschwert verglichen mit $z=\pm 4,5$ m, wo sich keine Hindernisse befinden. Die Sensoranzahl und Position der drei Ringe ergeben sich daher wie folgt:

- 1. $z = +4,5 \,\mathrm{m}$: Nördlicher Ring mit 4 Sensoren
- 2. $z = \pm 0.0 \,\mathrm{m}$: Mittlerer Ring mit 6 Sensoren
- 3. $z = -4,5 \,\mathrm{m}$: Südlicher Ring mit 4 Sensoren

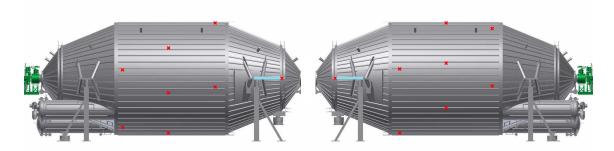


Abbildung 3.2.: Sensorpositionen (rot) auf dem Hauptspektrometer (grau) und den Aluminiumwinkeln (hellblau). Ansicht von Westen (links) bzw. Osten (rechts).

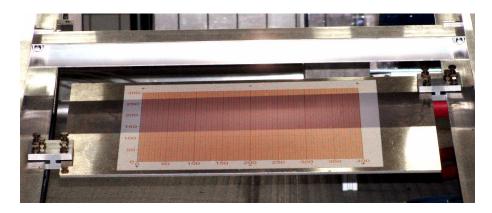


Abbildung 3.3.: Die montierte Zielplatte für Laser 1 von SE32.

3.2.2. Winkelpositionen

Innerhalb der Ringe werden die Sensorinseln regelmäßig angeordnet. Ist also eine Sensorposition θ_0^R in einem Ring R mit N Sensoren gewählt, sind die restlichen N-1 Positionen festgelegt:

$$\theta_i^R = \theta_0^R + i \cdot \frac{360^\circ}{N}$$

Die bereits vorhandenen acht Hall-Sensoren befinden sich in drei Ringen bei z=0 und $\pm 3,6\,\mathrm{m}$ an den Positionen $\theta\in\{0^\circ,45^\circ,90^\circ,\ldots\}$. Die neuen und alten Sensoren bilden die Ecken eines regelmäßigen Sechs- bzw. Achtecks in der Analysierebene. Zwei benachbarte Ecken aus jeweils einem der beiden Polygone haben maximalen Abstand, wenn diese um $(7,5+15n)^\circ$ $(n\in\mathbb{Z})$ zueinander verdreht sind. Für den mittleren Ring wurde daher die erste Sensorposition bei $\theta_0^M=-22,5^\circ$ gewählt.

Um die θ -Auflösung der Messungen am Tank zu erhöhen, werden die drei Ringe so am Spektrometer angebracht, dass keine zwei Sensoren - egal ob alt oder neu - das gleiche θ teilen:

$$\theta_0^N = +22,5^{\circ}, \quad \theta_0^S = -12,5^{\circ}$$

Alle geplanten Positionen sind in Abbildung 3.2 skizziert, die auf dem zylindrischen Teil in Tabelle 4.3 aufgeführt.

3.3. Zielpunkte

Die Zielpunkte für die Laser der Sensorinseln sollten so gewählt werden, dass die Positionsberechnung möglichst robust gegenüber Fehlern in den Laserwinkeln und der Ableseungenauigkeit der Laserpunkte ist (siehe Kapitel 4.3). Die Laserstrahlen sollten nur

3.3. Zielpunkte

Tabelle 3.1.: Die Winkelpositionen und Größe der EMCS-Winkelabstände aller möglichen Zielpunkte an den LFCS-Trägern.

Position (θ)	Größe	Position (θ)	Größe	Position (θ)	Größe
$\pm 0,00^{\circ}$	7,08°	±64,23°	7,16°	$\pm 129,96^{\circ}$	6,70°
$\pm 7{,}11^{\circ}$	$7{,}13^{\circ}$	$\pm 70,36^{\circ}$	$5{,}09^{\circ}$	$\pm 141,74^{\circ}$	$9{,}02^{\circ}$
$\pm 14,33^{\circ}$	$7,\!31^{\circ}$	±78,64°	$11,\!48^{\circ}$	$\pm 149,09^{\circ}$	$5{,}67^{\circ}$
$\pm 21,79^{\circ}$	$7,\!62^{\circ}$	±89,99°	$11{,}22^{\circ}$	$\pm 158,21^{\circ}$	$7{,}62^{\circ}$
$\pm 30,92^{\circ}$	$5,\!67^{\circ}$	±101,34°	$11,48^{\circ}$	$\pm 165,68^{\circ}$	$7,\!31^{\circ}$
$\pm 38,\!26^{\circ}$	$9,02^{\circ}$	$\pm 109,63^{\circ}$	$5{,}09^{\circ}$	$\pm 172,90^{\circ}$	$7{,}13^{\circ}$
$\pm 50,02^{\circ}$	$6,70^{\circ}$	$\pm 115,75^{\circ}$	$7{,}16^{\circ}$	±180,00°	$7{,}08^{\circ}$
±57,01°	$7,28^{\circ}$	$\pm 122,97^{\circ}$	$7,\!28^{\circ}$		

eine möglichst kurze Strecke zurücklegen, um die Blendgefahr und die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Strahlen durch Hindernisse blockiert werden, zu minimieren.

Zum einfachen Ablesen der Laserpunkte bietet es sich an, eine Zielplatte mit einem lokalen Koordinatensystem an jedem Zielpunkt anzubringen. Diese Zielplatten sollten ausreichend groß sein, so dass sie auch nach kleinen Anderungen in Position oder Orientierung der Sensorinseln vom jeweiligen Laser getroffen werden. Dann reicht ein einmaliges Einmessen des Zusammenhangs zwischen den lokalen und dem KATRIN-Koordinatensystem aus, um die Koordinaten der Laserpunkte in letzterem zu bestimmen. Da die Sensorinseln nach der Montage sicher nicht exakt die geplante Position einnehmen werden, sollten die Zielpunkte auch noch nach der Montage der Sensorinseln einigermaßen flexibel an die tatsächlichen Laserstrahlen angepasst werden können. Das Luftspulensystem ist ausreichend steif, um die Schirme zu halten. Da an der Innenseite der LFCS-I-Träger später die MOBs des Fuldaer Magnetfeldsensorsystems fahren werden, wurden als mögliche Zielpunkte die Zwischenräume zwischen benachbarten Außenkanten der LFCS-I-Träger und je zwei EMCS-Kabelkanälen gewählt. Als Nebenbedingung sollte der Abstand zwischen letzteren mindestens $55 \,\mathrm{cm} = \frac{2\pi R}{360^{\circ}} \cdot 5^{\circ}$ betragen, um ausreichend Spielraum in der Plattenposition zu haben. Diese Winkelpositionen, entnommen aus [24], sind für alle LFCS-Zwischenräume gleich und in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Die Zielplatten werden an den LFCS-Trägern mit I-förmigen Klemmen aus Aluminium und Messingschrauben befestigt (siehe Abbildung 3.3). Der Abstand zwischen zwei benachbarten Innenkanten der LFCS-Träger beträgt 70 cm, die Klemmung selbst nehmen davon je einen Zentimeter ein. Die Zielplatten sind daher 66 cm breit, so dass noch zwei Zentimeter Luft bleiben, die die Montage der geraden Platten an den runden LFCS-Trägern vereinfachen. Die Höhe der Zielplatten wurde mit 40 cm gewählt, um sie bei der Montage im EMCS-Zwischenraum an den genauen Laserstrahl anpassen zu können.

Der radiale Abstand zwischen der Außenkante der LFCS-Spulen und der Außenseite des Hauptspektrometers beträgt nur 1,1 m. Dieser Zwischenraum ist im laufenden Betrieb aufgrund der Potentialdifferenz zwischen dem Hauptspektrometer auf 18,6 kV und den geerdeten Luftspulen ohnehin freizuhalten. Dauerhafte Hindernisse im Laserstrahl sind daher nicht zu erwarten, auch die Blendgefahr bei eingeschalteten Lasern ist dadurch nach Montage der Zielplatten begrenzt.

Bei der Wahl der Zielpunkte ist zu berücksichtigen, dass von jeder Sensorinsel nur eine begrenzte Anzahl der möglicher Zielpunkte getroffen werden kann. In θ -Richtung ist der maximale Abstand zwischen Laserbox und Zielplatte durch das für Laserlicht undurchlässige Spektrometer beschränkt. In z-Richtung ist zu beachten, dass die Zielplatten an der Außenseite der 15 cm dicken LFCS-I-Träger angebracht werden. Der maximale z-Abstand zwischen Laserbox und Zielplatte ist dadurch beschränkt. Mit dem Außenradius des Haupt-

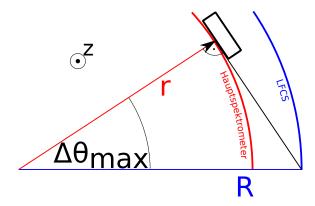


Abbildung 3.4.: Skizze zum maximalen Winkelabstand zwischen Sensorinsel und Zielplatte

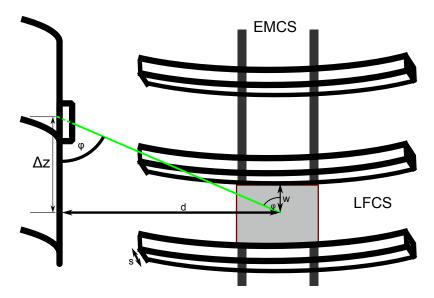


Abbildung 3.5.: Skizze zum maximalen Abstand von Sensorinsel und Zielplatte in z-Richtung

spektrometers $r=5.2\,\mathrm{m}$ und dem der Luftspulen $R=6.3\,\mathrm{m}$ kann in Abbildung 3.4 der maximale Winkelabstand bei gleicher z-Koordinate berechnet werden:

$$\Delta\theta_{\rm max} = \arccos\frac{r}{R} \approx 34,37^{\circ}$$
 (3.1)

Der maximal mögliche Abstand in z-Richtung bei gleicher Winkelposition lässt sich mit Abbildung 3.5 berechnen. Mit dem radialen Abstand d=1,1 m, dem Abstand $w=35\,\mathrm{cm}$ zwischen Laserpunkt und LFCS-Träger und der Dicke $s=15\,\mathrm{cm}$ des Trägers gilt

$$\tan \varphi_{\text{crit}} = \frac{s}{w}$$

$$\tan \varphi = \frac{d}{\Delta z} \stackrel{!}{=} \tan \varphi_{\text{crit}}$$

$$\Rightarrow \Delta z \stackrel{!}{\leq} \Delta z_{\text{crit}} = \frac{d \cdot w}{s} = 2,5\overline{6} \,\text{m}$$
(3.2)

Dieser Maximalabstand in z-Richtung gilt für $\theta_{\text{Sensorinsel}} = \theta_{Zielplatte}$. Für ungleiche Winkelpositionen wird diese Grenze etwas aufgeweicht, denn dadurch wird der Einfallswinkel des Lasers auf der Zielplatte vergrößert. Dennoch ist dieser Abstand in jedem Fall zu unterschreiten, damit auch die Laserstrahlen von falsch positionierten und verdrehten Sensorinseln nicht durch die LFCS-Träger unterbrochen werden. Der Abstand Δz ist aufgrund

3.4. Sensorinseln 21

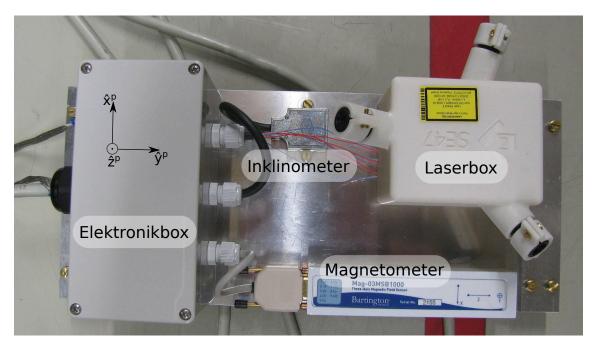


Abbildung 3.6.: Bauteile und lokales Koordinatensystem einer Sensorinsel.

der Positionierung der Inseln und Zielplatten genau zwischen zwei LFCS-Spulen auf ganzzahlige Vielfache von 90 cm beschränkt, für die endgültige Wahl der Zielpunkte gilt daher die Beschränkung $|\Delta z| \leq 1,8\,\mathrm{m}$. Die verbleibenden etwa 80 cm Spielraum, die durch verschiedene Winkelpositionen effektiv noch größer werden, stellen die maximale Bewegung der Sensorinseln entlang der z-Richtung dar, die mit dem Laserpositionierungssystem noch nachgewiesen werden kann. Auch beim Winkelabstand wird ein Puffer gelassen, nur Zielpunkte mit $\Delta\theta \leq 30^\circ$ werden gewählt.

Für jede Insel wurden mit den erlaubten Zielpunkten mehrere Zielpunktkonfigurationen erstellt und für jede die Fehleranfälligkeit der Positionsberechnung mittels numerischer Fehlerfortpflanzung ermittelt. Es wurde eine Konfiguration gefunden, die mit den zu erwartenden Fehlern maximal etwa 0,3° Ungenauigkeit erwarten lässt. Diese wurde auf alle Inselpositionen übertragen und an die erreichbaren Zielpunkte angepasst. Die Laserboxen der drei Ringe sind daher bis auf Spiegelungen und die Nummerierung der Laser sehr ähnlich. Die gewählten Zielpositionen sind in Tabelle 4.3 aufgeführt. An jeder Zielposition wird mit zwei Klemmungen aus Aluminium und jeweils 5 Messingschrauben eine Zielplatte wie in Abbildung 3.3 angebracht.

3.4. Sensorinseln

An jeder in 3.2 beschriebenen Position auf dem zylindrischen Teil des Hauptspektrometers wird eine Sensorinsel angebracht. Jede dieser Inseln besteht aus einer 16,5 cm×36 cm×5 mm messenden Aluminiumgrundplatte, auf die je ein Magnetometer, ein Inklinometer, eine Laserbox und eine Plastikbox für die Verkabelung und Elektronik mit nichtmagnetischen Messingschrauben befestigt werden. Um die Anbindung an die Ausleseelektronik in den HV-Schaltschränken unterhalb des südlichen konischen Teils des Hauptspektrometers mit einem einzigen, 16-adrigen Kabel zu ermöglichen, werden die Kabel sämtlicher Bauteile in der Elektronikbox mit diesem verbunden. Die Elektronik wird über eine 12 V- und eine 5 V-Leitung versorgt. Für die Laser, die mit 3 V betrieben werden, ist desweiteren in der Elektronikbox ein DC-DC-Wandler verbaut.



Abbildung 3.7.: Einer der verwendeten Sensoren vom Typ Bartington Mag-03MSB1000

3.4.1. Magnetometer

Die verwendeten Mag-03MSB1000 Sensoren des Herstellers Bartington messen die magnetische Feldstärke auf drei paarweise orthogonalen Achsen nach dem Fluxgate-Prinzip. Dabei sind für jede Messachse zwei parallele weichmagnetische Kerne vorhanden. Um beide Kerne ist je eine primäre Spule gleicher Windungszahl, aber entgegengesetzter Polarität gewickelt. Mit einem Wechselstrom durch beide Spulen werden die Kerne periodisch bis in die Sättigung magnetisiert. Liegt kein äußeres Feld an, heben sich aufgrund der entgegengesetzten Polaritäten der inneren Spulen die magnetischen Flüsse gerade auf. Eine sekundäre Spule ist um die beide Kerne samt Primärspulen gewickelt, in der ohne äußeres Feld daher keine Spannung induziert wird. Ein äußeres Magnetfeld bewirkt jedoch, dass einer der Kerne schneller und der andere langsamer die Sättigung erreicht. Das dadurch zustande kommende Magnetwechselfeld induziert in der sekundären Spule eine zum äußeren Feld proportionale Wechselspannung, die gemessen und als analoges Signal ausgegeben wird.

Die Sensoren benötigen eine Eingangsspannung U_0 zwischen 12 V und 17 V. Die Ausgangsspannung der einzelnen Kanäle ist proportional zum Feld, das an der zugehörigen Achse anliegt und positiv, wenn die Messachse vom Süd- zum Nordpol, zeigt. Bei der maximal messbaren Feldstärke 1 mT beträgt die Ausgangsspannung $\pm (|U_0|-1)$ V. Jede Achse misst die Feldstärkenkomponente parallel zu ihr auf etwa $0,1\,\mu$ T genau, der Orthogonalitätsfehler wird vom Hersteller mit $<0,1^\circ$ angegeben. Steigt die Feldstärke über 1 mT hinaus, bleibt die Ausgangsspannung konstant, Felder im Bereich ab einiger hundert mT können jedoch einen dauerhaften Offset des gemessenen Felds in der Größenordnung einiger nT verursachen und sind daher zu vermeiden. Das Handbuch zu den Sensoren ist in englischer Sprache unter [30] online verfügbar.

Die Sensoren sind mit zwei Messingschrauben in den Füßchen an der Grundplatte befestigt. Ein mitgelieferter, nichtmagnetischer Steckadapter wird für das Anschließen einzelner Kabeladern des Versorgungskabels an die neun Pole des seriellen Anschlusses verwendet.

Jedes Magnetometer hat eine eindeutige Nummer aufgedruckt und wurde vom Hersteller kalibriert und zertifiziert. In Tabelle 3.2 ist aufgeführt, welches Magnetometer auf welcher Insel verbaut wurde.

3.4.2. Entwicklung der Laserboxen

Als Laser zur Positions- und Orientierungsbestimmung werden DD532-1-3(16x60)-AP-C280 von Picotronic eingesetzt [31]. Die Klasse-2 Laser haben bei $3\,V/250\,\text{mA}$ elektri-

3.4. Sensorinseln 23

scher Versorgung 1 mW Ausgangsleistung in Form von grünem Licht der TEM00-Mode mit $532\,\mathrm{nm}$ Wellenlänge in einem etwa 5 mm durchmessenden Strahl. Sie sind zylinderförmig mit 16 mm Durchmesser und $60\,\mathrm{mm}$ Länge. Die Divergenz beträgt $0.5\,\mathrm{mrad}$, der konstante Strahlrichtungsfehler 0.1° . Letzterer ist aber aufgrund der ohnehin zu messenden Laserwinkel nicht von Interesse.

Die Boxen zur Aufnahme der Laser sollten leicht und stabil sein und wegen der Montage auf Hochspannungspotential weder scharfen Kanten oder Ecken aufweisen noch elektrischen Strom gut leiten. 3D-Druck aus ABS-Kunststoff erfüllt all diese Eigenschaften. Um die Boxen zu drucken, mussten sie zunächst als CAD-Modell entworfen werden. Dabei sind die Winkel zwischen den Lasern alleine nicht ausreichend, um die endgültigen Formen festzulegen. Diese hängen von der Position und den Zielpunkten, genauer den Richtungsvektoren der Laser im Sensorinselkoordinatensystem ab.

Um 14 verschiedene Laserboxen zu entwerfen, die sich lediglich in den Laserwinkeln unterscheiden, wurde von Julian Becker ein parametrisiertes CAD-Modell entworfen, das durch verändern geeigneter Parameter jede der gewünschten Formen annehmen kann. Die Box ist nach diesem Entwurf nach unten offen und kann mit drei M5-Schrauben auf der Insel befestigt werden.

Dazu wurde zunächst auf der Sensorinselplatte ein lokales Koordinatensystem wie in Abbildung 3.6 dargestellt definiert:

- \hat{z}^p zeigt von der Platte in Richtung der Box und nach der Montage am Spektrometer radial nach außen.
- \hat{y}^p zeigt parallel zur langen Seite der Platte. Nach der Montage gilt $\hat{y}^p \approx \hat{z}$.
- Das System ist rechtshändig: $\hat{x}^p = \hat{y}^p \times \hat{z}^p$.

Ein Vektor \vec{s} im KATRIN-System wird über eine Verschiebung und anschließende Drehung in das System der Platte bei (θ_p, z_p) transformiert:

$$\vec{s}_p = \begin{pmatrix} \sin \theta_p & -\cos \theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \cos \theta_p & \sin \theta_p & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vec{s} - \begin{pmatrix} r\cos \theta_p \\ r\sin \theta_p \\ z_p \end{pmatrix} \end{bmatrix}$$

Der umgekehrte Weg vom Platten- ins KATRIN-System folgt analog:

$$\vec{l} = \begin{pmatrix} \sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \\ -\cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \vec{l}_p + \begin{pmatrix} r\cos \theta_p \\ r\sin \theta_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

Bei der Transformation reiner Richtungsvektoren (z.B. Basisvektoren) fällt die Verschiebung $\pm (r\cos\theta_p,\ r\sin\theta_p,\ z_p)^T$ weg.

Die drei Stutzen zur Montage von je einem Laser sind in die Box eingelassen und zeigen standardmäßig alle in die \hat{x}^p -Richtung. Sie können im CAD-Modell über die Parameter φ^p_y und φ^p_z zunächst um die \hat{z}^p , dann um die neue \hat{y}^p -Achse gedreht werden. Das entspricht einer EULER-Winkel Transformation mit einem dritten Winkel $\psi=0$, die zugehörige Rotationsmatrix im Plattensystem ist

$$R^{p}(\varphi_{y}, \varphi_{z}) = \begin{pmatrix} \cos \varphi_{z} & -\sin \varphi_{z} & 0\\ \sin \varphi_{z} & \cos \varphi_{z} & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{p} \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi_{y} & 0 & \sin \varphi_{y}\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin \varphi_{y} & 0 & \cos \varphi_{y} \end{pmatrix}_{p}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \varphi_{y} \cos \varphi_{z} & -\sin \varphi_{z} & \sin \varphi_{y} \cos \varphi_{z}\\ \cos \varphi_{y} \sin \varphi_{z} & \cos \varphi_{z} & \sin \varphi_{y} \sin \varphi_{z}\\ -\sin \varphi_{y} & 0 & \cos \varphi_{y} \end{pmatrix}_{p}$$

$$(3.3)$$

Der Laserstutzen zeigt nach dieser Transformation im Platten-Koordinatensystem nach:

$$\hat{l}_p(\varphi_y, \varphi_z) = R^p(\varphi_y, \varphi_z) \cdot \hat{x}^p = \begin{pmatrix} \cos \varphi_y \cos \varphi_z \\ \cos \varphi_y \sin \varphi_z \\ -\sin \varphi_y \end{pmatrix}_p$$

Im KATRIN-System entspricht das, abhängig von der Position der Insel, dem Richtungsvektor

$$\hat{l}(\theta_p, \varphi_y, \varphi_z) = \begin{pmatrix} \sin \theta_p \cos \varphi_y \cos \varphi_z - \cos \theta_p \sin \varphi_y \\ -\cos \theta_p \cos \varphi_y \cos \varphi_z - \sin \theta_p \sin \varphi_y \\ \cos \varphi_y \sin \varphi_z \end{pmatrix}$$
(3.4)

Die bekannte Richtung von der Inselposition \vec{L} zum gewünschten Zielpunkt \vec{P} sei \hat{s} und muss im Plattensystem mit \hat{l}_p übereinstimmen:

$$\hat{s} = \frac{\vec{P} - \vec{L}}{\left| \vec{P} - \vec{L} \right|} =: \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix}$$

$$\hat{s}_p = \begin{pmatrix} s_1 \sin \theta_p - s_2 \cos \theta_p \\ s_3 \\ s_1 \cos \theta_p + s_2 \sin \theta_p \end{pmatrix} \stackrel{!}{\underset{p}{=}} \begin{pmatrix} \cos \varphi_y \cos \varphi_z \\ \cos \varphi_y \sin \varphi_z \\ -\sin \varphi_y \end{pmatrix}_p = \hat{l}_p$$

Damit können die gesuchten Winkel φ_y, φ_z berechnet werden:

$$\varphi_y = -\arcsin(s_1 \cos \theta_p + s_2 \sin \theta_p)$$

$$\varphi_z = \begin{cases} \arctan \frac{s_3}{s_1 \sin \theta_p - s_2 \cos \theta_p} \\ \arctan \frac{s_3}{s_1 \sin \theta_p - s_2 \cos \theta_p} \pm 180^{\circ} \end{cases}$$

Der Grund für die Nichteindeutigkeit von φ_z ist die Tangensfunktion, die jeden Wert bei einer vollen Drehung zweimal annimmt.

Um zu überprüfen, ob $\pm 180^\circ$ tatsächlich zu φ_z addiert werden muss, kann aus φ_y und φ_z mit Hilfe von Gleichung 3.4 der Richtungsvektor berechnet und mit dem gewünschten verglichen werden. Stimmen die Vektoren nicht überein, muss φ_z um 180° verschoben werden.

Diese Berechnungen wurden für die geplanten Positionen und Zielpunkte durchgeführt, die Ergebnisse sind in Tabelle 4.4 aufgeführt. Musste φ_z dabei um $\pm 180^{\circ}$ verschoben werden, wurde das Vorzeichen stets so gewählt, dass $|\varphi_z| \leq 180^{\circ}$ gilt. Die Winkel sind in der Tabelle mit einem Index versehen, der für den jeweiligen Laser steht, wobei die Laser so nummeriert wurden, dass sie ein rechtshändiges System¹ bilden. Diese Indizes finden sich auch auf den gedruckten Laserboxen neben jedem Laserstutzen wieder.

Die eingeprägten Namen der Laserboxen beginnen mit "N" für den nördlichen, "M" für den mittleren und "S" für den südlichen Ring. Beim mittleren Ring kommt noch ein zweiter Buchstabe hinzu, der angibt, durch welchen senkrechten Kabelkanal das angeschlossene Kabel nach der ersten, mittlerweile überholten Planung, geführt werden sollte. Der zweite Buchstaben bei den mittleren Laserboxen hat daher keine Bedeutung. Der zweite Buchstabe im nördlichen und südlichen Ring sowie der dritte Buchstabe im mittleren Ring ist "W" für Sensorinseln auf der Westseite und "E" für solche auf der Ostseite. Die Zahl im Namen der Insel steht für die ungefähre Minutenzahl der Position der Sensorinsel, wenn man vom Detektor aus entgegen der Strahlrichtung blickt und ein Ziffernblatt auf das Hauptspektrometer projiziert.

¹Rechtshändig: $(\hat{l}_1 \times \hat{l}_2) \cdot \hat{l}_3 > 0$

3.4.3. Inklinometer

Auf jeder Sensorinsel wird ein Inklinometer vom Typ SCA121TD05 des Herstellers Murata Electronics Oy (Handbuch unter [32] online verfügbar) montiert. Die Gehäuse dieser Sensoren bestehen aus Zink und stellen daher keine Quelle für magnetische Störfelder dar. Die Neigungssensoren sind in der Lage, in jeder Ausrichtung die Neigungswinkel senkrecht zur Gravitation auf 1° genau zu messen. Sie werden mit $V_{in} = 5 \text{ V}$ betrieben und liefern ein ratiometrisches Ausgangssignal V_{out} . Bei waagerechter Lage wird $V_0 = \frac{1}{2}V_{in}$ ausgegeben. Die Empfindlichkeit beträgt $S = 70 \text{ mV/}^{\circ}$, das Ausgangssignal jedes Kanals lässt sich damit in den Neigungswinkel umrechnen:

$$\alpha_{x,y} = \arcsin\left(\frac{V_{out}^{x,y} - V_0}{S}\right)$$

Aufgrund der Montageposition auf der Sensorinselplatte misst die x-Achse der Inklinometer Rotationen um die \hat{x}^p - und \hat{z}^p -Achse und die y-Achse entsprechend um die \hat{y}^p - und \hat{z}^p -Achse. Die Empfindlichkeit auf Drehungen um die \hat{x}^p - und \hat{z}^p -Achse hängt von der Neigung der Platte und damit der Position der Insel ab. Steht die Platte genau senkrecht, ist \hat{x}^p parallel zur Gravitation und \hat{z}^p senkrecht zu ihr. Das Inklinometer misst in diesem Fall auf dem x-Kanal also nur Drehungen um \hat{z}^p . Liegt die Platte dagegen genau waagerecht, ist \hat{z}^p parallel zur Gravitation und die beiden Kanäle entsprechen den Drehungen um die gleichnamigen Plattenachsen².

Da eine Rotation um die Gravitationsachse von den Neigungssensoren unbemerkt bleibt, wurde das Laserpositionierungssystem entwickelt und in Kapitel 4 beschrieben. Obwohl mit diesem das Inklinometer bei der Orientierungsbestimmung und -überwachung prinzipiell vollständig ersetzt werden kann, müssten für letztere die Laserpunkte regelmäßig abgelesen werden. Das dauert allerdings einige Stunden, was die Überwachung der Sensororientierung mit den Lasern unpraktikabel macht. Die Inklinometer haben hier den großen Vorteil, dass sie kontinuierlich ausgelesen werden können. Sie dienen daher als Indikator, dafür, ob mit Hilfe der Laser die Sensoren neu vermessen werden müssen. Desweitern bieten sie Redundanz, um das Ergebnis des Laserpositionierungssystems zu überprüfen oder, sollte ein Laserpunkt nicht ablesbar sein, dennoch die Position und Orientierung bestimmen zu können.

3.5. Befestigung am Hauptspektrometer

Die Befestigung der Sensorinseln muss folgende Anforderungen erfüllen:

- 1. Die Inseln auf der unteren Hälfte des Spektrometers müssen gegen die Schwerkraft festgehalten, die oberen gegen wegrutschen gesichert werden.
- 2. Es muss möglich sein, die Sensorinseln zu montieren, ohne jede einzelne Position direkt erreichen zu können.
- 3. Die Aluminiumbleche, die die thermische Isolation umschließen, weisen an ihren Rändern eine etwa 5 mm hohe und 10 mm breite halbzylinderförmige Erhöhung auf, mit der benachbarte Platten ineinander gehakt wurden. Die Befestigung und die Montage dürfen dadurch nicht verhindern werden.
- 4. Die Inseln müssen mit dem Hauptspektrometer elektrisch leitend verbunden sein.
- 5. Die thermische Ausdehnung beim Ausheizen des Vakuumtanks darf sich nicht negativ auswirken.

 $^{^2}$ In diesen Beispielen wurde perfekte Montage mit $\hat{y}^p = -\hat{z}$ angenommen

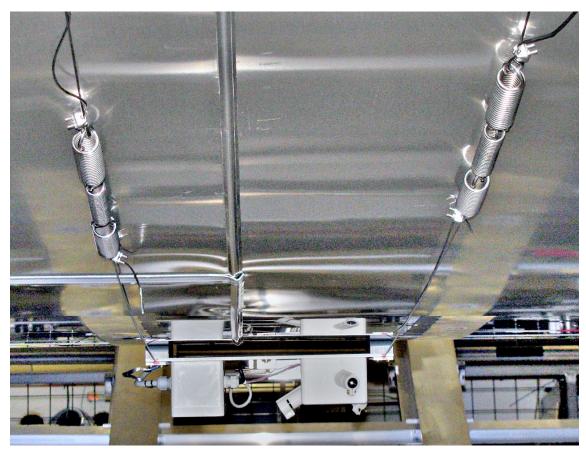


Abbildung 3.8.: Montierte Sensorinsel SE32 und Ringschlussfedern des südlichen Rings. Blickrichtung ist von West nach Ost. Montage aus zwei Bildern, um beides scharf abzubilden.

Bei den bereits vorhandenen Hall-Sensoren wurden für die Kabelführung Ringe aus Edelstahlseilen mit Federn um den zylindrischen Teil des Hauptspektrometers gespannt. Solche Stahlseilringe können alle Anforderungen an die Befestigung erfüllen:

Durch die Vorspannung mit den Federn werden die unteren Sensorinseln entgegen der Schwerkraft an die Wärmeisolation gedrückt. Die Haftreibung zwischen den PVC-Füßen und den Aluminiumblechen verhindert, dass der Sensorring verdreht wird.

Die kurzen Kanten an der Unterseite der PVC-Füße sind abgerundet. Die Sensorinseln können deshalb mit Hilfe eines an den Stahlseilen befestigten Seils o.Ä. von einer Seite her über das Spektrometer gezogen werden, ohne dass die Unebenheiten in den Aluminiumblechen ein Hindernis darstellten oder jede einzelne Position direkt erreichbar sein müsste. Die Aluminiumbleche sind so nachgiebig, dass die Verformung durch die Vorspannung ausreicht, die PVC-Füße der Inseln wackelfrei aufliegen zu lassen.

Die Stahlseile werden direkt auf den Grundplatten der Inseln festgeklemmt, sämtliche Inseln eines Rings liegen also auf dem gleichen elektrischen Potential. Auf der Oberseite des Spektrometers bei den Hall-Sensoren sind Bohrungen angebracht, an denen sich das Tankpotential abgreifen lässt. Daher wird die oberste Insel jedes Rings über ein Kabel mit dem Tankpotential verbunden.

Die Edelstahlringe und Federn des hier vorgestellten Systems sind baugleich mit denen der Hallsensoren. Bei vorherigen Ausheizvorgängen hat sich gezeigt, dass die thermische Ausdehnung des Hauptspektrometers zu keinen Problemen führt.

3.6. Stromversorgung und Ausleseelektronik

Die Kabel der Sensorinseln werden je nach Position auf verschiedenen Routen verlegt. Ziel jedes einzelnen Kabels ist der HV-Schrank auf der gleichen Seite unter dem südlichen konischen Teil des Hauptspektrometers. Die Kabel laufen vom HV-Schrank senkrecht nach oben zu einem der diagonalen Kabelkanäle darüber. Diesem folgen sie zum nächstgelegenen horizontalen Kabelkanal am zylindrischen Teil bei etwa -50° im Westen und -130° im Osten. Von hier aus folgen sie entweder einem der senkrechten Kabelkanäle bei $z_N=3,1\,\mathrm{m}$ oder $z_S=-2,1\,\mathrm{m}$ zu einer der Sensorinseln, die höher als der obere Ausgang des Kabelkanals liegen oder einem Stahlseil zu einer seitlichen oder unteren Insel. Die Kabel von SW02 und MNE59 werden durch den jeweiligen südlichen Kabelkanal und das von NE56 durch den nordöstlichen geführt. Alle anderen Kabel folgen einem Stahlseil zum nächstgelegenen horizontalen Kabelkanal. Die für diese Routen berechneten Kabellängen sind für die geplanten Positionen in Tabelle 3.2 aufgeführt.

Die beiden Schränke, die auf dem gleichen HV-Potential wie das Hauptspektrometer liegen, beinhalten die Ausleseelektronik für die Sensorinseln, die aus verschiedenen ADC-Modulen besteht: sechs Compact AI-112 und zwei AI-110 FieldPoints von National Instruments. Jeweils die Hälfte befindet sich im östlichen bzw. westlichen Schrank. Insgesamt stehen damit 110 Eingänge für analoge Signale zur Verfügung. Zur Rauschunterdrückung in den analogen Signalen durch die Kabellänge von bis zu 25 m bei NE56 ist ein kapazitativer Filter vor die Eingänge der FieldPoints geschaltet. Desweiteren ist in jedem Schrank ein Relais RLY-421, ebenfalls von National Instruments, vorhanden, das die Inseln mit 5 V Spannung versorgt, die dort mit einem DC-DC Spannungswandler zum Betrieb der Laser mit 3 V verwendet wird.

Die FieldPoints wandeln die gemessenen Analogwerte in digitale um, die in ADEI unter "443 Precise Magnetometer" verfügbar sind. Die Laserrelais können über die grafische Oberfläche der Luftspulenkontrolle oder via ORCA-Skript im DAQ-System geschaltet werden.

Kabellänge (m) Nummer Name 19,3 2151 8,7 21567,8 215411,0 215517,7 12,3

Tabelle 3.2.: Details zu den Sensorinseln

Magnetometer-

Berechnete

4. Positions- und Orientierungsbestimmung mit 3 Lasern

Beim Ausheizen des KATRIN-Hauptspektrometers auf bis zu $300\,^{\circ}\mathrm{C}$ treten durch thermische Ausdehnung Verschiebungen von bis zu $15\,\mathrm{cm}$ auf. Außerhalb der Stahlwand des Spektrometers befinden sich ca. $30\,\mathrm{cm}$ Glaswolle zur thermischen Isolation. Auf dieser Glaswolle liegen $0.9\,\mathrm{m}\times3\,\mathrm{m}$ große Aluminiumbleche auf, die mit Federn durch die Glaswolle hindurch mit der Stahlwand verbunden sind. Die Sensoren wiederum sind auf diesen Aluminiumplatten nicht festgeschraubt, sondern mit um den Tank gespannten Stahlseilen befestigt, es gibt also keinen Grund zu der Annahme, dass die Sensoren insbesondere beim Ausheizen ihre Positon und die Ausrichtung nicht verändern.

Mit dem Laserpositionierungssystem wurde eine Möglichkeit geschaffen, durch Ablesen dreier Laserpunkte P_1, P_2 und P_3 sowohl die Position L als auch die Orientierung aller Sensoren in wenigen Stunden zu bestimmen. Dazu ist ein einmaliges Einmessen der eingesetzten Laserboxen und Sensorinseln notwendig. Im Gegensatz zu GPS, das ebenfalls (mindestens) drei bekannte Referenzpunkte sowie die Signallaufzeiten zu diesen verwendet, sind bei dem hier vorgestellten System die Winkel zwischen den Lasern konstant und bekannt. Sind wie bei GPS die Abstände zu den bekannten Punkten bekannt, schneidet man Kugeloberflächen um diese Punkte mit dem jeweiligen Abstand als Radius. Da die Schnittmenge zweier Kugeloberflächen im Allgemeinen eine Kreislinie ist, sind mindestens drei Punkte und Abstände zur Positionsbestimmung notwendig. Sind statt der Abstände die Winkel bekannt, bilden je zwei Punkte und der dazugehörige Winkel eine torusförmige Lösungsmenge. Die drei möglichen Torioberflächen schneiden sich an dem Punkt, an dem die Laserstrahlen zusammentreffen.

4.1. Berechnung des Laserursprungs

4.1.1. Anschaulich: Schneiden von Tori

Gegeben seien zwei Punkte A, B mit Abstand d und ein Winkel $\gamma \neq 0$. Gesucht ist der Punkt C, für den $\angle ACB = \gamma$ gilt, zunächst in einer beliebig gewählten Ebene, die A und B beinhaltet. Ein Kreis mit Mittelpunkt M und Radius $r \geq \frac{d}{2}$ werde so gezeichnet, dass A und B auf dem Kreisbogen liegen. M hat den gleichen Abstand zu A und B und liegt daher auf der Mittelsenkrechten der Strecke \overline{AB} .

Dann folgt aus dem Kreiswinkelsatz (siehe Abbildung 4.2 und Anhang A.1), dass der Winkel $\mu := \angle AMB$ für jeden Punkt C auf dem Kreisbogen immer genau doppelt so groß

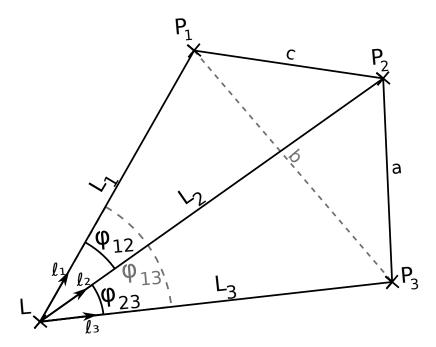


Abbildung 4.1.: Skizze zur Positionsbestimmung. φ_{ij} sind die bekannten Winkel zwischen den Lasern, P_i die Laserendpunkte, L der gesuchte Punkt und die ℓ_i die Laserrichtungsvektoren.

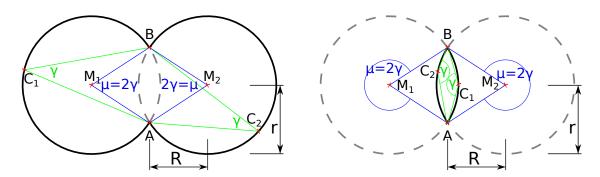


Abbildung 4.2.: Kreiswinkelsatz für $\gamma < \frac{\pi}{2}$ (links) und $\gamma > \frac{\pi}{2}$ (rechts).

ist wie der Winkel $\angle ACB$. Für $r=\frac{d}{2}$ gilt $\mu=\pi$. μ wird als innerer Winkel mit größer werdendem Abstand R zwischen M und \overline{AB} streng monoton kleiner, als außenliegender Winkel streng monoton größer. Für $\gamma \leq \frac{\pi}{2}$ wählt man den inneren Winkel, für $\gamma > \frac{\pi}{2}$ den äußeren Winkel als μ . Es gibt dann genau einen Abstand R, bei dem $\mu=2\gamma$ gilt.

Im Fall $\gamma < \frac{\pi}{2}$ liegen alle Punkte C, die $\angle ACB = \gamma$ erfüllen, auf dem Teil des Kreisbogens um M, der auf der gleichen Seite von \overline{AB} liegt wie M. Für $\gamma > \frac{\pi}{2}$ bildet der Teil des Kreisbogens, der M gegenüber liegt und für $\gamma = \frac{\pi}{2}$ der komplette Kreisbogen ohne die Punkte A und B die Lösungsmenge. Da Abstände nicht vorzeichenbehaftet sind, gibt es für $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$ zwei mögliche Mittelpunkte, die durch Spiegelung an \overline{AB} ineinander übergehen.

Nimmt man nun die dritte Raumdimension hinzu, ist das Problem symmetrisch bezüglich Rotation um die Achse \overline{AB} . Es ergeben sich aus dem geforderten Abstand R nicht zwei Mittelpunkte, sondern ein Kreis mit Radius R um $\frac{A+B}{2}$, der M_1 und M_2 beinhaltet. Jeder Punkt auf diesem Kreis dient als Mittelpunkt für einen Kreis mit Radius r, der durch die beiden Punkte A und B verläuft. Für $\gamma < \frac{\pi}{2}$ ergibt sich als Lösungsmenge des Punkts C in drei Dimensionen die äußere, für $\gamma > \frac{\pi}{2}$ die innere Oberfläche eines Spindeltorus, charakterisiert durch die Strecke \overline{AB} und die beiden Radien R und r. Für $\gamma = \frac{\pi}{2}$ ist die Lösungsmenge eine Kugeloberfläche, die als Torus mit R = 0 aufgefasst werden kann. In

Abbildung 4.2 sind die Torusradien eingezeichnetet. Es gilt

$$R = \frac{d}{2\tan\gamma} \qquad \qquad r = \frac{d}{2\sin\gamma} \tag{4.1}$$

Sind nun nicht zwei Punkte und ein Winkel, sondern durch die Laser drei Punkte P_1, P_2, P_3 und drei Winkel $\varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{23}$ gegeben (Abbildung 4.1), lassen sich aus je zwei Punkten und einem Winkel insgesamt drei verschiedene Tori konstruieren, die drei Lösungsmengen für den Punkt L darstellen. Der gesuchte Punkt L ist dann gerade der, der gleichzeitig auf allen Torusoberflächen liegt.

Schon hier ist anhand der Symmetrien der Tori zu erkennen, dass zu jeder Lösung L auch der an der Ebene durch P_1, P_2, P_3 gespiegelte Punkt L' eine weitere Lösung darstellt. Eine der beiden Lösungen ist rechtshändig, die andere linkshändig, wobei die Händigkeit wie folgt definiert wird:

rechtshändig
$$\Leftrightarrow 0 < \left[(\vec{P}_1 - \vec{L}) \times (\vec{P}_2 - \vec{L}) \right] \cdot (\vec{P}_3 - \vec{L})$$
 linkshändig $\Leftrightarrow 0 > \left[(\vec{P}_1 - \vec{L}') \times (\vec{P}_2 - \vec{L}') \right] \cdot (\vec{P}_3 - \vec{L}')$

Um diese Doppeldeutigkeit zu vermeiden, werden im Folgenden ausschließlich rechtshändige Lösungen betrachtet. Bei der praktischen Umsetzung muss später darauf geachtet werden, die Laser so zu nummerieren, dass sie ein rechtshändiges System bilden.

In dem Sonderfall, dass alle vier Punkte in einer Ebene liegen, also $\left[(\vec{P}_1 - \vec{L}_0) \times (\vec{P}_2 - \vec{L}_0) \right] \cdot (\vec{P}_3 - \vec{L}_0) = 0$ gilt, ist die Lösung zwar eindeutig, doch dieser Fall ist in der Praxis leider nicht sinnvoll verwendbar. Denn kleine Fehler in den Laserrichtungen und beim Ablesen der Punkte lassen sich nicht vermeiden und durch die unklare Händigkeit und die räumliche Nähe der so entstehenden zwei potentiellen Lösungen wäre die Fehleranfälligkeit groß.

Das Bild mit den Tori ist sehr nützlich, um sich die Problemstellung zu veranschaulichen. Doch das Gleichungssystem, das das Schneiden von Torusoberflächen beschreibt, ist wesentlich komplizierter als ein direkter analytischer Ansatz, wie er im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

4.1.2. Versuch einer analytischen Berechnung

Als ein direkter Ansatz zum Finden des Punkts L wurde der Cosinussatz benutzt. Für die Dreiecke LP_iP_j in Abbildung 4.1 gilt:

$$\cos \varphi_{12} = \frac{(\vec{P}_1 - \vec{L}) \cdot (\vec{P}_2 - \vec{L})}{|\vec{P}_1 - \vec{L}||\vec{P}_2 - \vec{L}|}$$
(4.2)

$$\cos \varphi_{13} = \frac{(\vec{P}_1 - \vec{L}) \cdot (\vec{P}_3 - \vec{L})}{|\vec{P}_1 - \vec{L}||\vec{P}_3 - \vec{L}|}$$
(4.3)

$$\cos \varphi_{23} = \frac{(\vec{P}_2 - \vec{L}) \cdot (\vec{P}_3 - \vec{L})}{|\vec{P}_2 - \vec{L}||\vec{P}_3 - \vec{L}|}$$
(4.4)

Diese drei Gleichungen mit den drei Unbekannten Komponenten L_i von \vec{L} sind ein prinzipiell lösbares Gleichungssystem. Durch die in \vec{L} quadratischen Terme ist es jedoch nicht gelungen, \vec{L} analytisch zu berechnen.

Selbst falls eine analytische Lösung existieren sollte, stellt sich die Frage, ob diese bei sicherlich auftretenden Messfehlern in \vec{P}_i und φ_{ij} wohldefiniert bleibt. Auch deswegen wurde letztendlich der numerischen Methode der Vorzug gegeben.

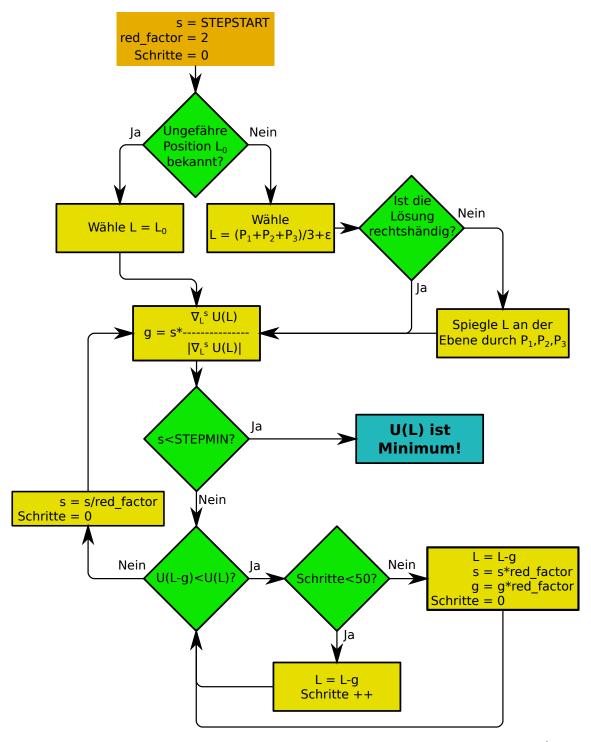


Abbildung 4.3.: Algorithmus zur numerischen Berechnung eines Minimums von $U(\vec{L})$ per Gradientenabstieg.

4.1.3. Numerische Berechnung

Zur numerischen Berechnung des Laserursprungs wird die Position \vec{L} zunächst als Variable betrachtet und eine Bewertungsfunktion $U(\vec{L})$ als "Differenz zwischen Sollwinkeln φ_{ik} und Istwinkeln $\angle P_i L P_k$ " definiert:

$$U(\vec{L}) = \sum_{i=1}^{2} \sum_{k=i+1}^{3} [\varphi_{ik} - \angle P_i L P_k]^2$$

 $U(\vec{L})$ ist größer Null, wenn mindestens einer der Winkel $\varphi_{ik} = \angle P_i L P_k$ nicht erfüllt und genau dann Null und minimal, wenn alle Winkel den gewünschten bzw. bekannten Wert haben. Für die gesuchte tatsächliche Position \vec{L}_0 gilt daher $U(\vec{L}_0) = 0$. Um sie durch numerische Minimierung von $U(\vec{L})$ zu finden wurde das Programm KLaPoS (Katrin Lasers Positioning System, siehe Kapitel E.1) entwickelt.

KLaPoS bietet zwei Modi:

- Manuelle Eingabe von drei Punkten und drei Winkeln, daraus wird eine rechtshändige Lösung berechnet.
- Rudimentäre Verarbeitung von 3N Punkten und Winkeln in einer xml-Datei im E.2 beschriebenen Format. Die Ausgabe erfolgt im Textfeld des Programms.

KLaPoS berechnet das Minimum von $U(\vec{L})$ in der Funktion "find_best_L()" per numerischem Gradientenabstieg (Abbildung 4.3), indem es zunächst einen geeigneten Startwert \vec{L}_1 wählt. Im manuellen Modus ist das standardmäßig die Mitte der gegebenen Punkte plus eine kleine Verschiebung, so dass eine rechtshändige Lösung entsteht oder das im Programmfenster angezeigte \vec{L} , falls der Haken bei "Assume small changes" gesetzt ist. Im automatisierten Modus wird, falls in der xml-Datei bereits das zuletzt berechnete \vec{L} angegeben ist, dieses als Startwert verwendet. Falls nicht, wählt der Algorithmus den Startpunkt wie im manuellen Modus.

Alle Berechnungen werden programmintern ohne Längeneinheiten durchgeführt. Der Anwender sollte daher eine Standardeinheit wählen, in der konsequent alle räumlichen Koordinaten interpretiert werden. Die grafische Oberfläche verwendet für die Winkel das Gradmaß, intern werden aber sämtliche Winkel in radian umgerechnet.

Die initiale Schrittweite kann in der Datei "mmu.h" als Konstante STEPSTART angepasst werden. Als Standardwert wurde mit 0,1 ein Zehntel der Standardeinheit festgelegt. Eine Änderung sollte nicht notwendig sein, durch eine zu große Wahl der initialen Schrittweite wird die Minimumsfindung verlangsamt, da sich der Algorithmus damit gleich zu Beginn in wenigen Schritten vom Minimum wegbewegen kann. Ein zu kleiner Wert stellt dagegen kein Problem dar, da die Schrittweite nach 50 sukzessiven Schritten in einer Richtung, die alle $U(\vec{L})$ verkleinern, vergrößert wird.

Analog ist in "mmu.h" eine minimale Schrittweite STEPMIN definiert, bei deren Unterschreitung der Algorithmus terminiert und die dazu genutzt werden kann, die gewünschte Genauigkeit festzulegen. Der Standardwert 10^{-12} liefert selbst bei der Wahl von Kilometern als Standardeinheit mit 1 nm einen weit kleineren Fehler als alle anderen Fehler in der Berechnung von \vec{L} . Diese scheinbar unnötig hohe Präzision verlangsamt erfahrungsgemäß die Minimumfindung nur unwesentlich, falls ein solches existiert, da nur die letzten wenigen Schritte mit dieser geringen Schrittweite vorgenommen werden. Es scheint aber in einigen Fällen schmale "Canyons" in der Bewertungsfunktion zu geben, die mit dieser kleinen Schrittweite durchquert werden können, um dahinter das eigentliche globale Minimum zu finden. Eine zu große minimale Schrittweite hätte in diesem Fall als Ergebnis ein nicht gewünschtes lokales Minmum geliefert.

Am gewählten Startpunkt \vec{L}_1 werden mit der Schrittweite s = STEPSTART nun $U(\vec{L}_1)$ und

$$\vec{g}(\vec{L}_1) = s \cdot \frac{\vec{\nabla}_{\vec{L}_1}^{(s)} U(\vec{L}_1)}{|\vec{\nabla}_{\vec{L}_1}^{(s)} U(\vec{L}_1)|}$$

¹Magnetic Measurement Unit

berechnet. Dabei steht $\nabla^{(s)}$ für den numerischen Gradienten mit Schrittweite s:

$$\nabla_{\vec{L}}^{(s)}U(\vec{L}) = \frac{1}{s} \begin{pmatrix} U(\vec{L} + \frac{s}{2} \cdot \hat{x}) - U(\vec{L} - \frac{s}{2} \cdot \hat{x}) \\ U(\vec{L} + \frac{s}{2} \cdot \hat{y}) - U(\vec{L} - \frac{s}{2} \cdot \hat{y}) \\ U(\vec{L} + \frac{s}{2} \cdot \hat{z}) - U(\vec{L} - \frac{s}{2} \cdot \hat{z}) \end{pmatrix}$$

Ausgehend von $\vec{L} = \vec{L}_1$ subtrahiert der Algorithmus immer wieder \vec{g} von \vec{L} , solange die Bewertungsfunktion dadurch kleiner wird: $U(\vec{L} - \vec{g}) < U(\vec{L})$. Die Berechnung des Gradienten mit der selben Schrittweite verhindert das "Festhängen" in kleinen oder flachen lokalen Minima. Eine testweise Verwendung des analytischen Gradienten mit effektiver Schrittweite Null verbesserte zwar die Geschwindigkeit enorm, lieferte allerdings bei jedem Durchlauf ein nicht verwendbares lokales Minimum mit $U(\vec{L}) \gg 0$.

Nach jedem Schritt wird geprüft, ob die aktuelle Position ein rechtshändiges Lasersystem darstellt. Falls nicht, wird die Position an der Ebene durch P_1, P_2, P_3 gespiegelt. Sollte dadurch immer noch kein rechtshändiges System zustande kommen, liegt \vec{L} innerhalb dieser Ebene und wird nacheinander in kleinen Schritten in x,y und z-Richtung verschoben, bis es außerhalb der Ebene liegt und ein rechtshändiges Lasersystem darstellt.

Sollte die Bewertungsfunktion 50 Schritte lang nur besser werden, ist die aktuelle Schrittweite vermutlich zu klein gewählt und führt zu unnötig vielen Schritten. Daher werden die Schritte in stepcount gezählt und im Fall stepcount = 50 die Schrittweite verdoppelt² und stepcount wieder auf Null gesetzt. Der Gradient wird danach nicht neu berechnet.

Würde die Bewertungsfunktion nach dem nächsten Schritt anwachsen, wird die Schrittweite s halbiert³ und \vec{g} neu berechnet. Sollte jetzt s < STEPMIN sein, ist die aktuelle Position \vec{L} mit der gewünschten Genauigkeit ein Minimum von U und wird zurückgegeben. Falls nicht, startet der Algorithmus von vorne mit dem aktuellen \vec{L} als Startpunkt.

Die Terminierung von $find_best_L()$ ist für $red_factor > 1$ garantiert, da in jedem Schritt $U(\vec{L})$ echt kleiner werden muss. Wegen $|U(\vec{L})| \ge 0$ wird entweder ein Minimum erreicht und aufgrund $U(\vec{L}-\vec{g}) > U(\vec{L}) \ \forall \vec{g}$ die Schrittweite immer wieder um red_factor verkleinert oder die Schrittweite wird bei der Annäherung an ein Minimum beliebig verkleinert. In jedem Fall gilt nach endlich vielen Schritten und Verkleinerungen s < STEPMIN, die Abbruchbedingung für die Schleife, die in der Funktion den Algorithmus ausführt.

4.2. Transformation der Messwerte in das KATRIN-Koordinatensystem

Um die Messwerte der Magnetometer sinnvoll nutzen zu können, müssen sie zunächst vom Sensorinsel- bzw. Magnetometersystem in das KATRIN-Koordinatensystem transformiert werden. Dazu bietet sich das durch die Laser definierte Koordinatensystem als Zwischenschritt an:

- 1. Der Schnittpunkt \vec{L} der Laser in der Mitte der Laserbox ist der Ursprung
- 2. Die Richtung $\hat{l}_i=\frac{\vec{P}_i-\vec{L}}{|\vec{P}_i-\vec{L}|}$ des i-ten Lasers ist der i-te Basisvektor.
- 3. Das Laserkoordinatensystem ist normal, aber nicht orthogonal!

²Genauer: mit red_factor, einem Argument der Funktion find_best_L() mit Standardwert 2, multipliziert.

³Genauer: durch red_factor dividiert.

4.2.1. Position

Die Messposition \vec{M}_L des Magnetometers ist im Lasersystem konstant, solange nichts an der Sensorplatte verändert wird. Der Zusammenhang $\vec{M}_L = \sum_{i=1}^3 m_i \hat{l}_i$ sei bekannt. Das Magnetometer misst also im KATRIN-System an der Position

$$\vec{M} = \vec{L} + \sum_{i=1}^{3} m_i \hat{l}_i$$

4.2.2. Orientierung

Auch die Richtungen \hat{m}_i der Magnetometerachsen seien im Lasersystem bekannt:

$$\hat{m}_i = \sum_{j=1}^3 m_{ij} \hat{l}_j$$

Die Komponenten der einzelnen Magnetometerachsen \hat{m}_i seien mit b_i bezeichnet. Dann ist das gemessene Feld $\vec{B} = \sum_{i=1}^{3} b_i \hat{m}_i$. Setzt man für die \hat{m}_i die bereits bekannte Form ein, so messen die Magnetometer das Feld \vec{B} im Punkt \vec{M} :

$$\vec{B}\left(\vec{M}\right) = \sum_{i,j=1}^{3} b_i m_{ij} \hat{l}_j$$

Für jede Sensorinsel sind einmalig die Koeffizienten m_i und m_{ij} wie in Kapitel 4.4 beschrieben zu bestimmen.

4.3. Fehlerbetrachtung

Aufgrund der numerischen Berechnung der Position ist die Fehlerfortpflanzung nicht direkt berechenbar. Stattdessen können Fehler abgeschätzt werden, indem man die Parameter φ_{ij}, \vec{P}_i einzeln variiert, für jede Variation die Position erneut berechnet und mit der korrekten vergleicht. Die Größe der Variation sollte sich dabei an den zu erwartenden realen Fehlern orientieren. Drei Fehlerquellen tragen jeweils zum Positions- und Ausrichtungsfehler bei:

- 1. Positionsfehler ΔL_n durch numerische Ungenauigkeit⁴ der Minimumsuche
- 2. Ausrichtungsfehler $\Delta \psi_n$ durch numerische Ungenauigkeit der Minimumsuche
- 3. Positions
fehler ΔL_p durch Positionsungenauigkeiten ΔP
- 4. Ausrichtungsfehler $\Delta \psi_p$ durch Positionsungenauigkeiten ΔP
- 5. Positionsfehler ΔL_{φ} durch Fehler in der Winkelmessung $\Delta \varphi$
- 6. Ausrichtungsfehler $\Delta \psi_{\varphi}$ durch Fehler in der Winkelmessung $\Delta \varphi$

4.3.1. Spezialfälle: $L_1 = L_2 = L_3$ und $\varphi_{12} = \varphi_{13} = \varphi_{23}$

Für Winkelkombinationen von 15° bis 75° in 15°-Schritten wurde für gleiche Abstände $L \in \{1 \text{ m}, 3 \text{ m}, 10 \text{ m}\}$ simuliert, wie sich die Winkelfehler $\Delta \varphi \in \{0,005^\circ;0,01^\circ;0,1^\circ\}$ und die Ablesefehler $\Delta P \in \{5 \text{ mm}, 1 \text{ cm}, 10 \text{ cm}\}$ auf die berechnete Position und Ausrichtung der Laser auswirken. Die Abstände wurden dabei in der Größenordnung der beim fertigen

 $^{^4}$ Die Genauigkeit ist durch die minimale Schrittweite STEPMIN begrenzt

System auftretenden Abstände gewählt und die Winkelungenauigkeiten orientieren sich an der gewünschten Winkelgenauigkeit bei der Magnetfeldmessung.

Der Laserursprung wurde im Koordinatenursprung und $\vec{P}_1 = (L, 0, 0)^T$ gewählt. Ein dazu passend konstruierter Punkt $\vec{P}_2 = L(\cos \varphi_{12}, \sin \varphi_{12}, 0)^T$ liegt in der xy-Ebene. \vec{P}_3 muss dann folgende Gleichungen erfüllen:

$$\cos \varphi_{13} = \frac{\vec{P}_1 \cdot \vec{P}_3}{|\vec{P}_1 \cdot \vec{P}_3|} \qquad \cos \varphi_{23} = \frac{\vec{P}_2 \cdot \vec{P}_3}{|\vec{P}_2 \cdot \vec{P}_3|} \qquad |\vec{P}_3| = L \qquad (4.5)$$

Mit dem Ansatz $\vec{P}_3 = \alpha \vec{P}_1 + \beta \vec{P}_2 + \gamma \vec{P}_1 \times \vec{P}_2$ folgt aus 4.5:

$$\alpha = \frac{\cos \varphi_{13} - \cos \varphi_{12} \cos \varphi_{23}}{\sin^2 \varphi_{12}}$$

$$\beta = \frac{\cos \varphi_{23} - \cos \varphi_{12} \cos \varphi_{13}}{\sin^2 \varphi_{12}}$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{1 - \alpha^2 - \beta^2 - 2\alpha\beta \cos \varphi_{12}}}{L \cdot \sin \varphi_{12}}$$

Die gesuchte Position mit diesen drei Punkten und den zugehörigen Winkeln ist der Ursprung, jegliche Positionsfehler können direkt als Ergebnis der Positionsbestimmung abgelesen werden. Die Laserrichtungen sind auch bekannt: $\hat{l}_i = \frac{\vec{P}_i}{|\vec{P}_i|}$.

Um die Fehlerfortpflanzung in der Position und Ausrichtung zu berechnen, wurde für jeden Winkel zuerst der Winkelfehler vom bekannten Sollwert subtrahiert, danach zu diesem addiert. Analog wurde jeder bekannte Punkt vom bekannten Wert aus in jeder Raumrichtung einmal um den Positionsfehler vor und zurück verschoben. Für jede einzelne Fehlermöglichkeit wurde dann der Laserursprung \vec{L} berechnet. Desweiteren wurden die fehlerbehaftet berechneten Lasereinheitsvektoren $\hat{l}'_i = \frac{\vec{P}_i - \vec{L}}{|\vec{P}_i - \vec{L}|}$ und der gegenüber den bekannten Laserrichtungen größte Ausrichtungsfehler $\Delta \psi = \max \left| \arccos(\hat{l}_i \cdot \hat{l}'_i) \right|$ bestimmt. Dieser wurde je einmal durch den Winkel- und Ablesefehler dividiert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.1 dargestellt. Es hat sich gezeigt, dass der Einfluss der Ableseungenauigkeit mit steigendem Abstand und mit steigendem harmonischem Mittel der Laserwinkel $\langle \varphi \rangle_h = 3 \left(\varphi_{12}^{-1} + \varphi_{13}^{-1} + \varphi_{23}^{-1} \right)^{-1}$ geringer wird. Der Einfluss der Winkelungenauigkeit sinkt ebenfalls mit steigendem $\langle \varphi \rangle_h$, ist aber unabhängig vom Abstand.

Diese Simulationen wurden für ungleiche Abstände L_1, L_2, L_3 zwischen Ursprung und den Laserpunkten wiederholt. Der Trend, dass die Fehlerfortpflanzung bei festgehaltenen Abständen mit steigendem $\langle \varphi \rangle_h$ günstiger wird, hat sich auch dabei gezeigt. Aber die Abhängigkeit des Ausrichtungsfehlers von den Abständen ist höchst chaotisch. Aus diesen Simulationen konnten daher keine sinnvollen Werte gewonnen werden, aber die Erkenntnis, dass für jede Laserbox mit ihrer Position aus allen möglichen Endpunkten die Kombination gewählt werden muss, die die Positionsberechnung möglichst robust macht.

4.3.2. In der Praxis relevante Fehler

Bei den Testmessungen in Kapitel 4.4.3 wurde die Ableseungenauigkeit unter optimalen Lichtbedingungen zu <0,1 mm bestimmt. In der Praxis werden die Zielplatten schwieriger abzulesen sein daher wird die Positionsungenauigkeit beim Ablesen der 5 mm durchmessenden Laserpunkte großzügig mit $\Delta P=1$ mm abgeschätzt. Dazu kommt die Ungenauigkeit, mit der das lokale Koordinatensystem der Zielplatte relativ zum KATRIN-System eingemessen wird. Für die gesamte Positionsungenaugkeit wurde im Folgenden $\Delta P=1$ cm

75,75,75

75,0

Konfiguratio	nen von W	/inkeln u	nd Abstande	en.
Winkel (°)	$\langle \varphi \rangle_h \ (^\circ)$	L (m)	$\langle \Delta \psi / \Delta \varphi \rangle$	$\langle \Delta \psi / \Delta P \rangle$ (°/cm)
15,15,15	15,0	1	34,8	8,6
$15,\!15,\!15$	15,0	3	34,8	4,1
$15,\!15,\!15$	15,0	10	34,8	1,2
30,30,30	30,0	1	8,2	2,9
30,30,30	30,0	3	8,2	1,1
30,30,30	30,0	10	8,2	0,3
30,30,45	33,8	1	7,0	2,2
$30,\!30,\!45$	33,8	3	7,0	0,8
$30,\!30,\!45$	33,8	10	7,0	0,2
30,45,60	41,5	1	4,6	1,5
$30,\!45,\!60$	41,5	3	4,6	0,5
$30,\!45,\!60$	41,5	10	4,6	0,1
45,45,45	45,0	1	3,5	1,5
$45,\!45,\!45$	45,0	3	$3,\!5$	0,4
$45,\!45,\!45$	45,0	10	$3,\!5$	0,1
30,60,60	45,0	1	3,4	1,3
$30,\!60,\!60$	45,0	3	$3,\!4$	0,4
$30,\!60,\!60$	45,0	10	$3,\!4$	0,1
45,60,60	54,0	1	2,3	0,9
$45,\!60,\!60$	54,0	3	2,3	0,3
$45,\!60,\!60$	54,0	10	2,3	0,1
60,60,60	60,0	1	1,8	0,7
60,60,60	60,0	3	1,8	0,2
60,60,60	60,0	10	1,8	0,1
75,75,75	75,0	1	1,1	0,4
$75,\!75,\!75$	75,0	3	1,1	0,1
	l == 0	1.0		0.0

Tabelle 4.1.: Maximaler Winkelfehler der berechneten Laserrichtungen für verschiedene Konfigurationen von Winkeln und Abständen.

angenommen. Für die verwendeten Laserboxen (Tabelle 4.3) bedeutet das mit bis zu 0,23° den Großteil der Ausrichtungsungenauigkeit (Tabelle 4.2).

1,1

0,0

10

Auch die Ungenauigkeit, mit der die Laserwinkel gemessen werden können, kann abgeschätzt werden. Der Präzisionsmesstisch ist etwa quadratisch mit Seitenlänge 1,5 m. Da sowohl die Diodenlaser als auch die Zielplatte zum Messen von Laserpunkten (siehe Abbildung 5.6 – nicht zu verwechseln mit den Zielplatten zwischen den Luftspulen) auf diesem angebracht werden, können im Laserstrahl zwei bis zu einem Meter voneinander entfernten Punkte gemessen werden. Die Winkelungenauigkeit kann dann aus dem Abstand und der Messungenauigkeit abgeschätzt werden. Der Hersteller des FaroArms gibt die Messungenauigkeit für Punkte mit < 0,05 mm an. Die Genauigkeit, mit der die Zielbohrung in der Zielplatte im Laserstrahl zentriert wird, sollte in der gleichen Größenordnung wie die Ableseungenauigkeit auf den Luftspulen-Zielplatten liegen und ist mit 1 mm wesentlich größer als die FaroArm-Ungenauigkeit. Die erwartete maximale Winkelungenauigkeit beträgt daher für einen einzelnen Laser etwa $\Delta\lambda = \arcsin\left(\frac{2\,\mathrm{mm}}{1\,\mathrm{m}}\right) \approx 0,05^\circ$ und für den Winkel zwischen zwei Lasern $\Delta\varphi = 2\Delta\lambda = 0,1^\circ$.

Eine Analyse mit den Sollpositionen der Sensoren und Zielplatten sowie den geschätzten Ungenauigkeiten mit Hilfe von KLaPoS ergab, dass die numerischen Fehler der 1. und 2. Art mit $<0.2\,\mathrm{mm}$ bzw. $<0.01^\circ$ gegenüber den anderen Ungenauigkeiten vernachlässigbar sind. Die Positionsungenauigkeit, also die Summe der Fehler der Art 1, 3 und 5 ist mit

Laserbox	$\Delta\psi(\Delta\varphi=0,1^\circ)$	$\Delta\psi(\Delta P = 1\mathrm{cm})$	$\Sigma\Delta\psi$
SE32	$0,065^{\circ}$	$0,\!230^{\circ}$	$0,295^{\circ}$
SW17	$0,064^{\circ}$	$0,\!226^{\circ}$	$0,\!290^{\circ}$
SW02	$0{,}065^{\circ}$	$0,\!230^{\circ}$	$0,\!295^{\circ}$
SE47	$0,064^{\circ}$	$0,\!226^{\circ}$	$0,\!290^{\circ}$
MNE39	0,060°	0,205°	$0,265^{\circ}$
MSW29	0.058°	$0,\!200^{\circ}$	$0,\!258^{\circ}$
MNW19	$0,\!059^{\circ}$	$0,\!210^{\circ}$	$0,\!269^{\circ}$
MSW09	$0,060^{\circ}$	$0,\!205^{\circ}$	$0,\!265^{\circ}$
MNE59	0.058°	$0,\!200^{\circ}$	$0,\!258^{\circ}$
MSE49	$0,\!059^{\circ}$	$0,\!210^{\circ}$	$0,\!269^{\circ}$
NE41	$0,057^{\circ}$	$0,\!228^{\circ}$	0,284°
NW26	0.057°	$0,\!228^{\circ}$	$0,\!284^{\circ}$
NW11	0.057°	$0,\!228^{\circ}$	$0,284^{\circ}$
NE56	0.057°	$0,\!228^{\circ}$	$0,\!284^{\circ}$

Tabelle 4.2.: Numerische Größtfehlerabschätzung für den Ausrichtungsfehler $\Delta \psi$

 $\approx 1\,\mathrm{cm}$ von der selben Größenordnung wie die Strecke, über die die Messachsen eines Magnetometers verteilt sind. Das Ziel, die gesamte Positionsungenauigkeit gegenüber der des Magnetometers selbst nicht wesentlich zu vergrößern, ist damit erfüllt.

Die kritischen Fehler sind die Ausrichtungsfehler 4. und 6. Art, die direkt in der Transformation des gemessenen B-Feldes einen gleich großen Winkelfehler verursachen. Sie wurden für alle Laserboxen berechnet. Da es sich um einen Winkelfehler handelt, ist der größte Wert von $\Delta\psi$ gleichzeitig auch der Winkel, um den eine Sensorachse maximal verdreht sein kann. Daher wurde für jede Fehlerquelle nur der größte Fehler in Tabelle 4.2 festgehalten. Beim Design der Laserboxen konnte der zu erwartende gesamte Ausrichtungsfehler, der größtenteils aus der Positionsungenauigkeit beim Messen der Laserpunkte stammt, auf weniger als 0.3° reduziert werden.

Tabelle 4.3.: Geplante Positionen, Laserendpunkte und -winkel der Sensorinseln auf dem zylindrischen Teil des Hauptspektrometers

$95,\!324$	116,858	$102,\!451$	(-4,94; 3,90;-5,40)	(-6,10; 1,56;-2,70)	(-6,30; 0,00; -5,40)	(-5,08; 1,13; -4,50)	167,5	$\mathrm{SE}47$
104,335	118,822	$95,\!619$	(-4,05;-4,83;-5,40)	(-1,23;-6,18;-2,70)	(0,00; -6,30; -5,40)	(-1,13; -5,08; -4,50)	-102,5	SE32
95,324	116,858	$102,\!451$	(4,94;-3,90;-5,40)	(6,10;-1,56;-2,70)	(6,30;0,00;-5,40)	(5,08; -1,13; -4,50)	-12,5	SW17
104,335	118,822	$95,\!619$	(4.05; 4.83; -5.40)	(1,23;6,18;-2,70)	(0,00;6,30;-5,40)	(1,13;5,08;-4,50)	77,5	SW02
118,240	118,382	93,497	(-2,74; 5,67; 0,90)	(0,00;6,30;-1,80)	(2,11;5,93;1,80)	(-0.68; 5.16; 0.00)	97,5	MNE59
100,365	107,637		(-4.94; 3.90; -0.90)	(-5.85; 2.34; 1.80)	(-6,30; 0,00; -1,80)	(-4,80; 1,99; 0,00)	157,5	MSE49
110,931	113,505		(-2,74;-5,67;1,80)	(-4,94;-3,90;-1,80)	(-5.85; -2.34; 0.90)	(-4,13; -3,17; 0,00)	-142,5	MNE39
$118,\!240$	118,382		(2,74;-5,67;0,90)	(0,00;-6,30;-1,80)	(-2,11; -5,93; 1,80)	(0.68; -5.16; 0.00)	-82,5	MSW29
100,365	107,637		(4,94;-3,90;-0,90)	(5.85;-2.34;1.80)	(6,30;0,00;-1,80)	(4.80; -1.99; 0.00)	-22,5	MNW19
110,931	113,505	$100,\!802$	(2,74;5,67;1,80)	(4,94;3,90;-1,80)	(5,85;2,34;0,90)	(4,13;3,17;0,00)	37,5	MSW09
106,246	123,001	91,664	(-4,05; 4,83; 5,40)	(-2,11;5,93;2,70)	(0,00;6,30;5,40)	(-1,99; 4,80; 4,50)	112,5	NE56
100,365	119,736	97,611	(-4,94;-3,90;5,40)	(-5,85;-2,34;2,70)	(-6,30; 0,00; 5,40)	(-4.80; -1.99; 4.50)	-157,5	NE41
$106,\!246$	123,001	$91,\!664$	(4,05;-4,83;5,40)	(2,11;-5,93;2,70)	(0,00; -6,30; 5,40)	(1,99; -4,80; 4,50)	-67,5	NW26
100,365	119,736	97,611	(4,94;3,90;5,40)	(5.85; 2.34; 2.70)	(6,30;0,00;5,40)	(4,80;1,99;4,50)	22,5	NW11
φ_{23} (°) $\langle \varphi \rangle_h$ (°)	φ_{13} (°)	φ_{12} (°)	P_3 (m)	P_2 (m)	P_1 (m)	Position (m)	<i>H</i> (~)	Name

SW17 SE32 SE47	MSE49 MNE59	MSW29 MNE39	MSW09	NE56	NW26	NW11	Name	tabelle 4.
-30,038 -30,038 -30,038	- 11,717 -6,727	-6,727 -24,017	-24,017 -11,717	-13,628 -13,628	-13,628	-13,628	$\varphi_{y1}(^{\circ})$	1.: Die zu
-146,645 -146,645 -146,645 -146,645	-143,273 32,125	32,125 $27,820$	27,820 $-143,273$	20,458 $20,458$	20,458	$20,\!458$	$\varphi_{z1}(^{\circ})$	labelle 4.4.: Die zu Tabelle 4.3 passenden winkei für das CAD-Modell
-31,017 -31,250 -31,250 -31,017	-31,498 -27,754	-27,754 $-31,099$	-31,099 -31,498	-31,498 -30,798	-30,798	-31,498	$\varphi_{y2}(^{\circ})$	passengen
94,462 83,690 94,462 83,690	92,496 -65,430	- 65,430 - 92,737	-92,737 92,496	-87,504 -79,871	-79,871	-87,504	$arphi_{z2}(^{\circ})$. Winkei n
-7,269 -9,133 -7,269 -9,133	-23,988 -19,633	-19,633 $-7,124$	-7,124 $-23,988$	-23,988 -21,283	-21,283	-23,988	$\varphi_{y3}(^{\circ})$	ir das CA
-17,214 -18,217 -17,214 -18,217	-27,744 155,510	155,510 147,538	147,538 $-27,744$	152,256 $154,557$	154,557	152,256	$\varphi_{z3}(^{\circ})$	D-Modell

4.4. Einmaliges Einmessen

4.4.1. Bestimmung der Laserwinkel φ_{ij}

Um einen Laserwinkel zu bestimmen, werden in beiden zugehörigen Laserstrahlen mehrere Punkte gemessen und eine Gerade eingefittet. Für jeden Winkel müssen die zugehörigen Laser an je mindestens zwei Punkten gemessen werden, ohne dass währenddessen die Ausrichtung der Box verändert wird. Die praktische Umsetzung ist in Kapitel 5 beschrieben.

4.4.2. Bestimmung des Messpunkts und der Messachsen im Lasersystem: m_i und m_{ij}

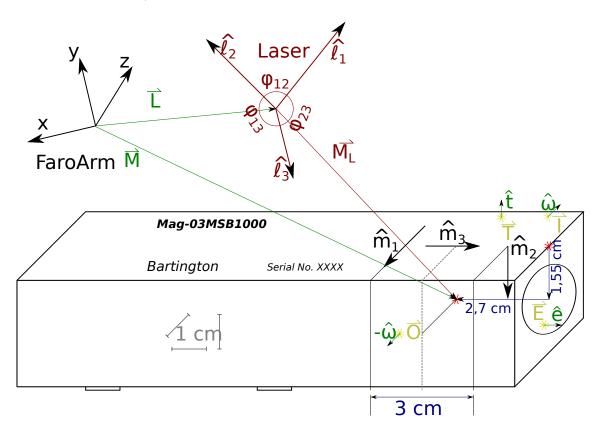


Abbildung 4.4.: Bestimmung des Messpunkts und der Messachsen aus den Ebenen E, I, O und T und Transformation in das Laserkoordinatensystem

Zur Bestimmung der Messposition und der Messachsen im Lasersystem muss zunächst das Lasersystem bekannt sein. Dazu wird, wenn die Laserwinkel bekannt sind, in jedem Laser ein Punkt gemessen. Daraus werden der Ursprung \vec{L} , wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben und das Lasersystem, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, berechnet.

Ohne die zu vermessende Insel zu verändern, werden dann die Ebenen des Magnetometers im Bereich der Messfühler eingemessen, deren Normalenvektoren laut Bartington den Messachsen auf $< 0.1^{\circ}$ genau entsprechen:

- 1. Der äußere Rand der Oberseite (Top)
- 2. Die Seite zur Laserbox hin (Inside)
- 3. Die Seite von der Laserbox weg (Outside)
- 4. Die kreisförmige innere Ebene am Ende (End)

Die praktische Umsetzung ist in Kapitel 5 beschrieben. Für jede der gemessenen Ebenen ist nach der Messung ein Aufpunkt \vec{X} und ein Normalenvektor \hat{x} bekannt. Die Aufpunkte und Normalenvektoren der Ebenen I und O werden gemittelt zur in der Mitte des Magnetometers liegenden Ebene Ω , so dass $\hat{\omega} \parallel \hat{i}$.

Mit Gleichung 6.7 erhält man wie in Abbildung 4.4 dargestellt, aus den Ebenen Ω, T und E den Punkt auf der Kante zwischen T und E, der genau in der Mitte von I und O liegt. Um vom diesem zum Mittelpunkt der Messachsen \vec{M} zu gelangen, geht man 1,55 cm entgegen der \hat{t} -Achse und 2,7 cm entgegen der \hat{e} -Achse:

$$\vec{M} = \vec{\Omega} + \frac{(\vec{T} - \vec{\Omega}) \cdot \hat{t}}{|\hat{\omega} \times \hat{t}|^2} (\hat{t} - (\hat{\omega} \cdot \hat{t})\hat{\omega}) + \frac{\left(\vec{E} - \vec{\Omega} - \frac{(\vec{T} - \vec{\Omega}) \cdot \hat{t}}{|\hat{\omega} \times \hat{t}|^2} (\hat{t} - (\hat{\omega} \cdot \hat{t})\hat{\omega})\right) \cdot \hat{e}}{(\hat{\omega} \times \hat{t}) \cdot \hat{e}} (\hat{\omega} \times \hat{t}) - 1,55 \text{ cm} \cdot \hat{t} - 2,7 \text{ cm} \cdot \hat{e}$$

Die Verschiebungen um 1,55 cm und 2,7 cm wurden durch Vermessen eines Magnetometers mit einem Geodreieck bestimmt. Die Messungenauigkeit von etwa einem Millimeter ist gegenüber der Ausdehnung des Messbereichs von zwei Zentimetern vernachlässigbar. Streng genommen müsste für jede Messachse die Position berechnet werden, doch die Ungenauigkeit der Positionsbestimmung ist in der Größenordnung der Ausdehnung des Messbereichs, eine genauere Angabe daher kaum sinnvoll.

Für die Messachsen gilt, wie in Abbildung 4.4 skizziert:

$$\hat{x} = \hat{m}_1 = -\hat{\omega} \qquad \qquad \hat{y} = \hat{m}_2 = -\hat{t} \qquad \qquad \hat{z} = \hat{m}_3 = \hat{e}$$

Gesucht sind die – solange an der Sensorinsel nichts verändert wird – konstanten Koeffizienten m_i und m_{ij} , die Messposition \vec{M} und Messachsen $\hat{m}_{1,2,3}$ im nichtorthogonalen Laserkoordinatensystem beschreiben. Dazu werden mit dem berechneten Laserursprung \vec{L} die Laserrichtungen \hat{l}_i berechnet und sowohl die Messposition \vec{M}_L als auch die Messachsen in diesen entwickelt:

$$\hat{l}_i = \frac{\vec{P}_i - \vec{L}}{|\vec{P}_i - \vec{L}|}$$

$$\vec{M}_L := \vec{M} - \vec{L} = \sum_{i=1}^3 m_i \hat{l}_i$$

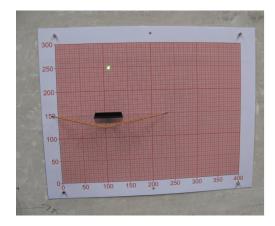
$$\hat{m}_i = \sum_{j=1}^3 m_{ij} \hat{l}_j$$

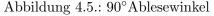
Die Basisvektoren \hat{l}_i sind nicht orthogonal zueinander. Um die Koeffizienten zu berechnen, wird zunächst geprüft, ob der jeweilige Vektor \vec{x} parallel zu einer der Laserrichtungen \hat{l}_i ist. Falls ja, ist der zugehörige Koeffizient gleich $\vec{x} \cdot \hat{l}_i$, die anderen beiden Null. Falls nicht, wird eine Ebene E_x durch den Laserursprung definiert, die senkrecht auf \vec{x} steht. Die Laserrichtungsvektoren \hat{l}_i werden auf diese Ebene projiziert:

$$E_x: \left\{ \vec{e} \mid 0 = \left(\vec{e} - \vec{L} \right) \cdot \frac{\vec{x}}{|\vec{x}|} \right\}$$
$$\vec{l}_i' = \hat{l}_i - \left(\hat{l}_i \cdot \vec{x} \right) \frac{\vec{x}}{|\vec{x}|^2}$$

Findet man nun eine nichttriviale Linearkombination von projizierten Laservektoren

$$\vec{m}' = \alpha_1 \vec{l}_1' + \alpha_2 \vec{l}_2' + \alpha_3 \vec{l}_3' \tag{4.6}$$





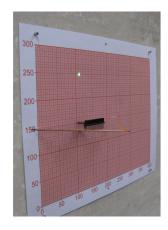


Abbildung 4.6.: 45°Ablesewinkel

die gleich dem Nullvektor ist, so verschwinden die Komponenten senkrecht zu \vec{x} der analogen Linearkombination aus nicht-projizierten Laservektoren:

$$\vec{m}' = \vec{0} \iff \vec{m} := \sum_{i=1}^{3} \alpha_i \hat{l}_i \parallel \pm \vec{x}$$

$$(4.7)$$

Da es sich hier um ein zweidimensionales Problem handelt, kann einer der Freiheitsgrade α_i frei gewählt werden, im Folgenden sei daher $\alpha_3 = -1$. Die beiden verbleibenden Koeffizienten $\alpha_{1,2}$ erhält man, indem in Gleichung 4.6 $\vec{m}' = \vec{0}$ gesetzt und die x- und y-Komponenten von \hat{l}_3 durch die von \vec{l}_1' und \vec{l}_2' ausgedrückt werden:

$$\begin{pmatrix} l'_{31} \\ l'_{32} \\ l'_{33} \end{pmatrix} = \alpha_1 \begin{pmatrix} l'_{11} \\ l'_{12} \\ l'_{13} \end{pmatrix} + \alpha_2 \begin{pmatrix} l'_{21} \\ l'_{22} \\ l'_{23} \end{pmatrix}$$

$$\alpha_1 = \frac{l'_{22}l'_{31} - l'_{21}l'_{32}}{l'_{11}l'_{22} - l'_{12}l'_{21}}$$

$$\alpha_2 = \frac{l'_{11}l'_{32} - l'_{12}l'_{31}}{l'_{11}l'_{22} - l'_{12}l'_{21}}$$

$$\alpha_3 = -1$$

Sollte einer der Nenner Null sein, können α_1 und α_2 stattdessen aus zwei anderen Komponenten der Gleichung berechnet werden. Die so bestimmten α_i erfüllen $\vec{m}' = \vec{0}$ und nach Gleichung 4.7 auch $\vec{m} \parallel \pm \vec{x}$. Um die Koeffizienten x_i von \vec{x} im Lasersystem zu erhalten, müssen diese Koeffizienten nur noch skaliert werden:

$$\vec{x} = \sum_{i=1}^{3} \underbrace{\vec{x} \cdot \vec{m}}_{i} \underbrace{\alpha_{i}}_{i} \hat{l_{i}}$$

4.4.3. Bestimmung des lokalen Koordinatensystems der Zielplatten

Zum manuellen Ablesen der Laserpunkte auf den Zielplatten muss auf diesen ein lokales Koordinatensystem angebracht werden. Die dafür vorgeschlagene Prozedur ist, die Zielplatten zunächst mit einer Kamera zu fotografieren und am Computer die Koordinaten des Punkts auszulesen. Dazu wird in einem Vektorzeichenprogramm das Raster im Bereich des Laserpunkts nachgezeichnet und eine Ellipse in den Laserpunkt gefittet. Der Mittelpunkt der Ellipse wird am nachgezeichneten Raster ausgelesen. Um zu wissen, welcher Punkt zu

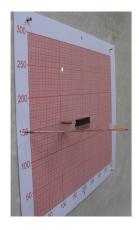


Abbildung 4.7.: 30°Ablesewinkel



Abbildung 4.8.: 15° Ablesewinkel



Abbildung 4.9.: 10°Ablesewinkel

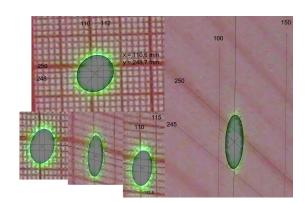


Abbildung 4.10.: Ablesefits der fünf Bilder

Tabelle 4.5.: Abgelesener Laserpunkt unter verschiedenen Winkeln

						Stan	idardabweichung
Ablesewinkel (°)	90	45	30	15	10	ohne	mit 10° -Messung
x-Position (mm)	110,6	110,5	110,5	110,6	111,6	0,06	0,47
y-Position (mm)	248,7	248,7	248,6	248,6	248,6	0,06	$0,\!05$

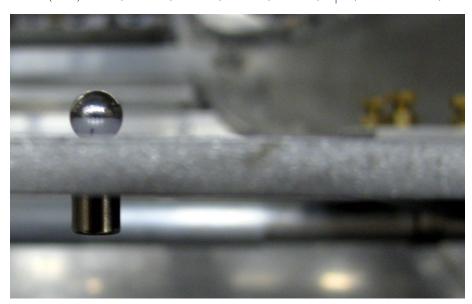


Abbildung 4.11.: Befestigung einer Zielkugel mit einem Magneten an der Zielplatte aus Abbildung 3.3. Die Kugel liegt stabil in einem Bohrloch.

welchem Laser gehört, werden die Zielplatten beschriftet mit dem Namen der Laserbox und der Lasernummer, wie für den Laser 1 von SE32 in Abbildung 3.3 zu sehen.

Das Koordinatensystem muss mit dieser Prozedur ein Ablesen mit etwa 1 mm Genauigkeit erlauben und unter den Bedingungen der KATRIN-Halle stabil mit der Zielplatte verbunden sein. Dazu wird das Koordinatensystem auf Papier gedruckt, in Folie laminiert und auf die Zielplatten aufgeklebt. Aufgrund der stabilen Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in der KATRIN-Halle ist nicht zu erwarten, dass das Koordinatensystem sich von der Platte ablöst. Um zu überprüfen, ob die Ablesegenauigkeit mit üblichem Millimeterpapier möglich ist, wurde ein Laserpunkt auf einlaminiertem Papier mit rotem Millimeterraster unter verschiedenen Blickwinkeln fotografiert (Abbildungen 4.5 bis 4.9) und abgelesen, wobei bei perfekter Messung immer die gleichen Koordinaten erwartet werden und die Abweichungen ein Abschätzen der Fehler erlauben. Die x-Achse des Papiers zeigt dabei nach rechts und die y-Achse nach oben. Um das auf den Bildern eventuell verwaschene Raster möglichst gut vom Laserpunkt unterscheiden zu können, hat das Raster die Komplementärfarbe des grünen Lasers. Desweiteren sind ganzzahlige Vielfache von 5 mm, 1 cm und 5 cm durch stärkere Striche dargestellt. Die in Inkscape erstellten, manuellen Ablesefits sind in Abbildung 4.10 dargestellt, die zugehörigen Messwerte in Tabelle 4.5 aufgeführt. Der Blickwinkel wurde im Bild an einem senkrecht unterhalb des Laserpunkts befestigtem Geodreieck abgelesen, die Genauigkeit hierfür beträgt etwa 5°. Mit Ausnahme der Messung unter dem kleinsten Winkel von 10° wurde viermal praktisch der selbe Punkt bestimmt, die Standardabweichung für diese "erfolgreichen" Messungen ist mit für beide Achsen gleichermaßen 0,06 mm wesentlich kleiner als die gewünschte Genauigkeit. Nimmt man den Wert bei 10° dazu, steigt die Unsicherheit der Koordinate entlang der durch den flachen Blickwinkel gestauchten x-Achse auf einen halben Millimeter, die Unsicherheit senkrecht dazu bleibt nahezu unverändert. Beim Ablesen der Laserpunkte ist daher darauf zu achten, die Zielplatten möglichst senkrecht zu fotografieren, so dass im Bild das mm-Raster bestmöglich sichtbar wird. Dann ist die gewünschte Ablesegenauigkeit mit üblichem Millimeterpapier möglich.

An den Punkten mit $x \in \{0\,\mathrm{mm},\ 200\,\mathrm{mm},\ 400\,\mathrm{mm}\}$ und $y \in \{-20\,\mathrm{mm},\ +320\,\mathrm{mm}\}$ des Millimeterpapiers sind 4 mm durchmessende Löcher angezeichnet und durch die Zielplatte gebohrt. Sie dienen zum temporären Anbringen von bis zu sechs reflektierenden, ferromagnetischen Kugeln mit kleinen Magneten wie in Abbildung 4.11. Durch die Bohrung nimmt eine Kugel gleichen Durchmessers immer die gleiche Position ein. Mit diesen Kugeln können die Zielplatten nach der Montage zwischen den Luftspulen im KATRIN-Koordinatensystem mit einem Lasertracker eingemessen werden. Dann ist die Transformation der Koordinaten eines auf der Zielplatte abgelesenen Punkts in das KATRIN-System einfach. Der Positionsfehler in den abgelesenen Punkten ist die Summe aus der Ableseund Einmessungenauigkeit, wobei letztere vermutlich dominieren wird.

5. Durchführung und Auswertung der Messungen

5.1. Messaufbau

Zum Messen der Laserwinkel und der Koeffizienten m_i und m_{ij} wurde ein vorhandener Messtisch, bestehend aus einer Granitplatte und Unterbau, verwendet. Der Aufbau zum Messen der tatsächlichen Laserwinkel jeder Laserbox und dem Zusammenhang zwischen den Magnetometerachsen und dem Laserkoordinatensystem ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Mit Schraubzwingen wurde für die Laserwinkel eine Laserbox mit einem weiteren, in Abbildung 5.2 dargestellten, Bauteil und für die m_i und m_{ij} eine Sensorinsel mit mindestens einer Laserbox und einem Magnetometer am Messtisch befestigt. Dann wurden die Laser eingeschaltet, indem am Netzteil die Spannung und Stromstärke langsam erhöht wurden, bis die Strahlen stabil waren. Die Laser wurden mit 2,8 V mit der kleinsten Spannung betrieben, die zum Laserbetrieb ausreicht. Dadurch waren die Laserstrahlen möglichst dünn und konnten so präzise wie möglich eingemessen werden.

Um Punkte im Laserstrahl zu messen, wurde in eine Aluminiumplatte ein Loch mit 5 mm Durchmesser gebohrt, etwa so groß wie der Laserstrahl. Wird das Bohrloch so in den Laserstrahl gebracht, dass dieser rundherum im gleichen Maße übersteht, kann mit der 6 mm durchmessenden Messkugel des FaroArms dieser Punkt im Laserstrahl präzise und reproduzierbar gemessen werden. Zwei weitere Löcher in der selben Platte dienen der Befestigung an einem etwa 50 cm langen Bosch Rexroth-Profil aus Aluminium, an dem die Zielplatte senkrecht verschiebbar und bei Benutzung nur einer Schraube auch drehbar befestigt werden kann. Das senkrechte Profil ist mit einem Winkelstück drehbar auf einem etwa 150 cm langen, waagerechten Rexroth-Profil montiert, das wiederum mit je einem Winkelstück auf gegenüberliegenden Seiten des Präzisionsmesstischs, parallel zur Tischkante, festgeschraubt werden kann. Damit kann die Zielplatte flexibel oberhalb der Tischebene jede Position einnehmen und aufgrund der Länge des waagerechten Profils sogar seitlich "schweben".

Um einen Punkt in einem Laserstrahl zu messen, wurde zunächst der ungefähre Abstand zwischen Messpunkt und Laserbox durch Positionieren des waagerechten Profils festgelegt (Abbildung 5.3). Das senkrechte Profil wurde dann auf diesem passend positioniert und gedreht, so dass der Laserstrahl möglichst senkrecht auf die Zielplatte einfiel (Abbildung 5.4). Dadurch nahm der Laserpunkt eine möglichst runde Form an. Die Zielplatte wurde dann so am senkrechten Profil festgeschraubt, dass der Laserstrahl – nach Augenmaß –



Abbildung 5.1.: Der Messaufbau. Unten der Präzisionsmesstisch, links die Aluminiumprofile mit der Zielplatte. Am rechten Rand ist der untere Teil des FaroArms zu sehen, links daneben eine Laserbox auf dem Kugelkopf.



Abbildung 5.2.: Der Kugelkopf, mit dem die von oben zu montierende Laserbox ausgerichtet wird.

5.1. Messaufbau 47



Abbildung 5.3.: Erster Schritt: Wahl des Abstands zwischen Laserbox und zu messendem Punkt.

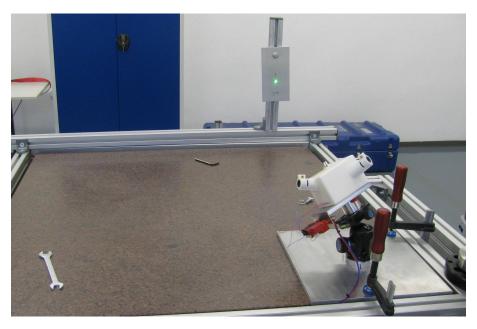


Abbildung 5.4.: Zweiter Schritt: Mit dem vertikalen Profil die Zielplatte in den Laserstrahl bringen und sie so drehen, dass er senkrecht auftrifft.

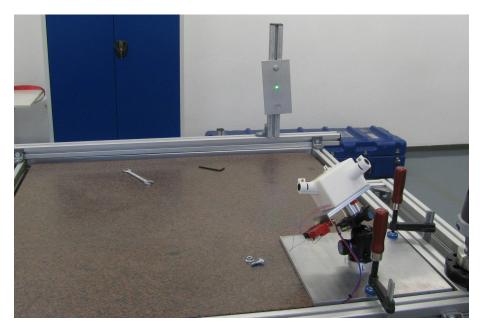


Abbildung 5.5.: Dritter Schritt: Die Zielplatte so drehen und positionieren, dass der Laserstrahl genau die Bohrung trifft.

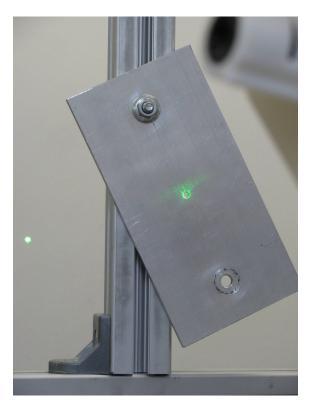


Abbildung 5.6.: Dritter Schritt im Detail: der Laser trifft mittig auf die Zielbohrung, erscheint aber aufgrund der Perspektive links etwas heller.

5.1. Messaufbau 49



Abbildung 5.7.: Vierter Schritt: Die Bohrung mit dem FaroArm einmessen

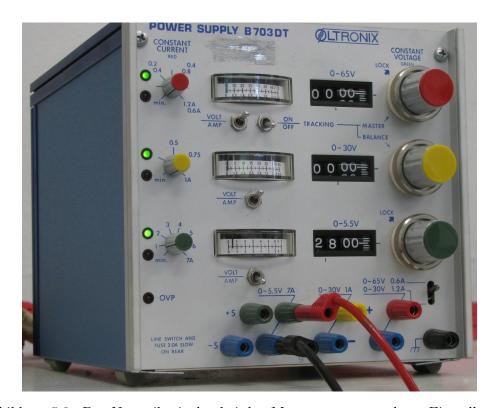


Abbildung 5.8.: Das Netzteil mit den bei den Messungen verwendeten Einstellungen.

zentral die Zielbohrung traf (Abbildungen 5.2 und 5.6). Mit dem FaroArm wurde wie in Abbildung 5.7 der Mittelpunkt der in die Zielbohrung passend eingefügten Zielkugel als Punkt gemessen. Dabei wurde der vordere Knopf der Messpistole für jeden Punkt mindestens drei mal betätigt und die Ausrichtung der Messkugel in der Bohrung zwischen den Einzelmessungen leicht verändert. War die vom Messprogramm angezeigte maximale Abweichung größer als 0,030 mm, wurde die Messung wiederholt. Es hat sich gezeigt, dass der größte Fehlereinfluss die Kraft, mit der die Messpistole in die Zielbohrung gedrückt wird, ist. Bis zu 1 mm Abweichung war bei bewusst hohem Kraftaufwand möglich. Sämtliche Punkte eines Lasers wurden daher mit der ungefähr gleichen Kraft und Ausrichtung der Messpistole gegenüber der Zielplatte gemessen, um den durch Positionsfehler entstehenden Winkelfehler zu minimieren.

5.2. Bestimmung der Laserwinkel

Zur Bestimmung der Laserwinkel wurde für jeden die Richtung der beiden Laser gemessen, ohne die Laserbox währenddessen zu bewegen. Die Präzision wird mit steigendem Abstand zwischen den entlang eines Lasers gemessenen Punkten besser. Daher wird die Laserbox in einer Ecke des Präzisionsmesstischs befestigt. Die Box ist auf einer mit passenden Bohrungen versehenen Aluminiumplatte festgeschraubt, die wiederum auf einem SI-RUI KX-K-40X Kugelkopf mit der zugehörigen Halterungsplatte TY-70-2 montiert wurde. An der Aluminiumplatte sind sechs Kabelklemmen angebracht, mit denen die Laserkabel über die festgelöteten, etwa 50 cm langen Bananensteckerkabel, mit der Stromversorgung (Abbildung 5.8) verbunden werden. Der Kugelkopf ist an einer etwa $40\,\mathrm{cm} \times 40\,\mathrm{cm}$ Aluminiumplatte festgeschraubt und kann mit dieser wie in Abbildung am Messtisch befestigt werden.

Mit dem Kugelkopf kann die Laserbox frei um die Gravitationsachse und eingeschränkt um horizontale Achsen gedreht werden. Die Laser des zu vermessenden Winkels wurden zunächst möglichst horizontal ausgerichtet, um den Laserpunkt auf der Zielplatte nicht zu verzerren. Dann wurden sie so gedreht, dass beide in Richtung einer gegenüberliegenden Ecke strahlten, also innerhalb des mit der Zielplatte erreichbaren Volumens einen möglichst großen Weg zurücklegten. Schließlich wurde der Kugelkopf mit der seitlich angebrachten Handschraube festgeklemmt.

Die Messwerte und Fits der Laserwinkelbestimmung sind in der Reihenfolge, in der die Messungen vorgenommen wurden, in den Tabellen D.3 bis D.9 aufgeführt. Zu Beginn wurde jeder Laserstrahl noch an drei Punkten gemessen und die Messpunkte bis maximal 0,050 mm Ungenauigkeit akzeptiert. Zur Vereinfachung der realistischen Fehlerabschätzung wurden beim Winkel φ_{13} der Laserbox NW26 testweise in jedem Laser sechs Punkte gemessen, in Gruppen von je zwei nahe beieinander liegenden. Mit den von der Laserbox weiter entfernten und den weniger weit entfernten Punkte jeder Gruppe wurde je ein Fit für den Laser erstellt. Der Laser selbst wurde mit dem Gesamtfit durch alle sechs Punkte dargestellt und der maximale Winkel zwischen dem Gesamtfit und einem der Teilfits als Winkelungenauigkeit in der Messung der Richtung dieses Laserstrahls angenommen. Der Winkelfehler im zwischen zwei Lasern bestimmten Laserwinkel wurde mittels Größtfehlerabschätzung als Summe der Winkelungenauigkeiten der einzelnen Laser berechnet. Die letzten acht Laserboxen wurden vollständig mit sechs Punkten pro Laser eingemessen. Die größte Laserwinkelungenauigkeit wurde mit 0.052° in φ_{13} bei MNW19 gefunden. Unter der Annahme, dass der Winkelfehler umgekehrt proportional zur Wurzel der Anzahl der gemessenen Punkte pro Laser und proportional zur Wurzel der räumlichen Messungenauigkeit dieser Punkte ist, kann der maximale Fehler der Dreipunktmessungen mit $< 0.095^{\circ}$ abgeschätzt werden. Die gewünschte Genauigkeit $< 0.100^{\circ}$ konnte damit also auch bei den Dreipunktmessungen im pessimistischsten Szenario knapp erreicht werden. Lediglich bei

Laserbox	$arphi_{12}$ (°)	φ_{13} (°)	$\varphi_{23}~(^\circ)$
SW02	$95,548\pm0,095$	$118,656\pm0,095$	$104,252\pm0,095$
SW17	$102,069\pm0,095$	$116,528\pm0,095$	$95,395\pm0,095$
SE32	$95,\!449\pm0,\!095$	$118,931\pm0,095$	$104,531\pm0,095$
SE47	$102,\!517\pm0,\!095$	$116,628\pm0,095$	$95,319\pm0,095$
MSW09	$100,504\pm0,095$	$113,379\pm0,095$	$110,900\pm0,042$
MNW19	$111,131\pm0,025$	$107,624\pm0,052$	$100,112\pm0,049$
MSW29	$93,377\pm0,020$	$118,132\pm0,028$	$117,696\pm0,035$
MNE39	$100,519\pm0,038$	$113,\!376\pm0,\!021$	$110,940\pm0,042$
MSE49	$111,132\pm0,026$	$107,\!476\!\pm\!0,\!020$	$100,162\pm0,018$
MME59	$93,067\pm0,038$	$118,604\pm0,031$	$118,045\pm0,012$
NW11	$97,499\pm0,095$	$119,651\pm0,095$	$100,\!176\pm0,\!095$
NW26	$91,759\pm0,095$	$123,184\pm0,012$	$105,645\pm0,095$
NE41	$97,\!431 \!\pm\! 0,\!095$	$119,726\pm0,095$	$99,824 \pm 0,095$
NE56	$91,396\pm0,016$	$123,058\pm0,031$	$106,077\pm0,029$

Tabelle 5.1.: Gemessene Laserwinkel



Abbildung 5.9.: Befestigung der Sensorinsel SW02 auf dem Messtisch.

SE47, der zuerst gemessenen Box, wurde bei den Winkeln φ_{12} und φ_{23} noch nicht auf die Messungenauigkeit einzelner Punkte geachtet. Dennoch ist dort die Genauigkeit der Fits aus diesen Punkten vergleichbar mit denen der anderen Dreipunktmessungen.

5.3. Vermessen der südlichen Sensorinseln

Das Vermessen der Sensorinseln dient der Bestimmung der m_i und m_{ij} (siehe Kapitel 4.2). Die Sensorplatten wurden wie in Abbildung 5.9 mit den Schraubzwingen so auf dem Präzisionstisch befestigt, dass von jedem Laser mindestens ein Punkt gemessen werden konnte. Nach dem Messen eines Punkts P_i in jedem Laserstrahl i wurden mit dem FaroArm die in Kapitel 4.4.2 beschriebenen vier Ebenen T, I, O und E des Magnetometers im Bereich der Messachsen mit je mindestens fünf Punkten eingemessen. Aus den gemessenen Punkten P_i und den aus vorherigen Messungen bekannten Laserwinkeln wurde mit KLaPoS der Laserursprung berechnet. Die Koeffizienten m_i und m_{ij} , die die Messposition und -achsen im Lasersystem beschreiben, wurden wie in Kapitel 4.4.2 beschrieben berechnet. Die so

Tabelle 5.2.: Ergebnisse der Vermessungen der südlichen Inseln.

_				
Sensorinsel: SW02	(φ_{12} : 95,548°	φ_{13} : 118,656°	φ_{23} : 104,252°
	Messpositie	on (mm)		
$m_1: 452,997$	m_2 : 3	244,695	m_3 :	277,890
	Messac	chsen		
$m_{11}: 0,429$	$m_{12}:$ -	-0,026	$m_{13}:$	-0,724
$m_{21}: 1{,}066$	$m_{22}: 0$	0,533	$m_{23}:$	0,962
$m_{31}: 0.249$	$m_{32}:$ -	-0,930	$m_{33}:$	0,093
Sensorinsel: SW17		φ_{12} : 102,069°	φ_{13} : 116,528°	φ_{23} : 95,395°
	Messpositie	on (mm)		
$m_1: 405{,}738$	m_2 :	192,263	m_3 :	175,335
	Messac	chsen		
$m_{11}: 0,306$	$m_{12}:$ -	-0,122	$m_{13}:$	-0,819
$m_{21}: 1{,}110$	$m_{22}: 0$	0,486	$m_{23}:$	0,766
$m_{31}: 0.172$	m_{32} : -	<u>'</u>	$m_{33}:$	
Sensorinsel: SE32		φ_{12} : 95,449°	φ_{13} : 118,931°	φ_{23} : 104,531°
	Messpositie	on (mm)		
$m_1: 401,474$	m_2 :	197,485	m_3 :	213,140
	Messac	chsen		
$m_{11}: 0,321$	$m_{12}:$ -	-0,115	$m_{13}:$	-0,818
$m_{21}: 1{,}119$	$m_{22}: 0$	0,492		0,894
$m_{31}: 0,205$	m_{32} : -	,	$m_{33}:$	
Sensorinsel: SE47			φ_{13} : 116,628°	φ_{23} : 95,319°
	Messpositie	on (mm)		
$m_1: 439,931$	$m_2: 2$	230,276	m_3 :	204,049
	Messac			
$m_{11}: 0,340$	$m_{12}:$ -		$m_{13}:$	-0,795
$m_{21}: 1{,}090$	$m_{22}: 0$	$0,\!559$	$m_{23}:$	0,776
$m_{31}: 0.242$	m_{32} : -	-0,885	$m_{33}:$	0,283

bestimmten Koeffizienten sind in der Tabelle 5.2, die Messwerte und Zwischenergebnisse in den Tabellen D.10 bis D.13 aufgeführt.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Seit Paulis Neutrinopostulat 1930 hat sich die Neutrinophysik als neuer Zweig der Physik etabliert. Dem ersten Nachweis folgte eine intensive Weiterentwicklung, die Entdeckung und Lösung des solaren Neutrinodefizits. Die Neutrinooszillationen als etablierte Erklärung dafür bedingen, dass Neutrinos eine Ruhemasse haben müssen und initiierten eine Reihe weiterer Experimente zu den Oszillationsparametern, den Massendifferenzen und Mischungswinkeln. Auch die Kosmologie hat mit Neutrinos einen interessanten Kandidaten für heiße dunkle Materie gefunden. Die absolute Massenskala der Neutrinos kann aber mit Oszillationsexperimenten nicht bestimmt werden. Eine Auswertung von SDSS- und WMAP-Daten lieferte die bisher beste Obergrenze $\sum_i m_{\nu_i} < 1.7 \frac{\text{eV}}{\text{c}^2}$ für die Neutrinomassenskala, die jedoch von den verwendeten kosmologischen Parametern abhängt. Durch die Untersuchung des β -Spektrums von Tritium wurde in den Experimenten von Mainz und Troitsk eine modellunabhängige Obergrenze $\sum_i m_{\nu_i} 2.05 \frac{\text{eV}}{\text{c}^2}$ gefunden.

Um die Größenordnung der Neutrinomassen zu ermitteln oder die dafür bekannte Obergrenze zu verbessern, wird das Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN) durchgeführt. Es untersucht wie die Experimente in Mainz und Troitsk das Energiespektrum der beim β -Zerfall von Tritium entstehenden Elektronen, um mit 200 meV Sensitivität die effektive Masse des Elektronantineutrinos zu messen. Dazu werden die Elektronen im Hauptspektrometer, einem MAC-E Filter, adiabatisch geführt und elektrostatisch nach ihrer Energie gefiltert. Der Form des Magnetfelds kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Daher wird das Erdmagnetfeld senkrecht zur Strahlrichtung kompensiert und das longitudinale Feld mit Luftspulen feingeformt. Zur Überprüfung des berechneten resultierenden Felds wurde ein Sensorsystem entwickelt, das aus 16 Sensoren besteht. 14 der Sensoren werden, aufgeteilt auf einen nördlichen und südlichen Ring mit je vier und einen mittleren Ring mit sechs Sensoren, auf der Außenseite des Hauptspektrometers angebracht. Um Positionsund Ausrichtungsveränderungen dieser Sensoren feststellen zu können, sind sie mit einem Neigungsmesser und einem Ortungssystem mit je drei Lasern kombiniert.

In dieser Arbeit wurden die Grundlagen geschaffen, diese Laser zur Positionsbestimmung einzusetzen und Messungen der Winkel zwischen den Lasern vorgenommen, um aus der Position die Orientierung der Sensoren berechnen zu können. Die gewünschte Präzision beim Messen der Winkel konnte erreicht und bei den meisten sogar deutlich übertroffen werden. Zur numerischen Positionsberechnung wurde mit KLaPoS ein Programm mit grafischer Oberfläche erstellt. Ein xml-Format zur Speicherung sämtlicher geometrischer Daten des Sensorsystems in einer Datei wurde entwickelt und grundlegend implementiert. Ein weiterer Teil des Positionierungssystems sind die Zielplatten, die noch angebracht und

eingemessen werden müssen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden sie entwickelt und hergestellt sowie die Grundlagen für das Anbringen und Einmessen geschaffen.

Um die Positions- und Orientierungsbestimmung zu erleichtern, werden die Zielplatten beschriftet und bei eingeschalteten Lasern fotografiert. Das manuelle Auslesen der Punktkoordinaten in einem Vektorgrafikprogramm dauert pro Platte etwa 10 Minuten, für das gesamte System also rund sieben Stunden. Es könnte in Zukunft eine Möglichkeit geschaffen werden, die Bilder automatisch zu verarbeiten um diese Arbeitszeit einzusparen. Auch die Ablesegenauigkeit würde gegenüber eines manuellen Ellipsenfits im Laserpunkt verbessert.

Der südliche Sensorring wurde montiert. Dabei wurden die Inseln zunächst an den Stahlseilen der Befestigung angebracht, doch die Versorgungskabel und die Stahlseile verknoteten sich. Daher wurden die Positionen der Inseln an den Stahlseilen markiert und die Verbindung wieder gelöst. Die Stahlseile wurden dann über das Spektrometer gezogen und dabei die Inseln einzeln nacheinander an ihren markierten Stellen wieder angebracht. Würde man an jeder Insel ein nur wenige Meter langes Kabel anbringen, das mit einem Stecker an das restliche Kabel angeschlossen werden kann, wäre die Montage der weiteren Ringe wesentlich einfacher. Die unterste Insel, SE32, wurde erst an den Stahlseilen befestigt, nachdem diese mit Federn zu Ringen geschlossen wurden. Der Ringschluss wurde dadurch vereinfacht und die Ringspannung konnte auf einfache Weise erhöht werden. Dieses Vorgehen eliminiert auch die Gefahr, dass die unterste Insel vor dem Schließen der Ringe herunterfällt und Schaden nimmt und wird daher für die Montage der beiden anderen Ringe empfohlen.

Danksagung

Abschließend möchte mich bei allen Bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinen Eltern für die Möglichkeit, zu studieren.

Meinen Physiklehrern Raquet, Sprau und Stauß für das Wecken meines Interesse an der Physik.

Prof. Guido Drexlin für das Wecken meines Interesses an Astroteilchen- und Neutrinophysik im Speziellen und die Möglichkeit, an KATRIN mit zu arbeiten

Jan Reich und Ferenc Glück für die Unterstützung und Betreuung.

Klaus Schlösser für den Hinweis, dass sogar Excel numerische Minimerung in wenigen Sekunden kann.

Armen Beglarian für das Lösen von Elektronikproblemen, an denen ich verzweifelt wäre.

Manfred Juretzko und Christoph Naab vom geodätischen Institut für interessante Diskussionen und Einblicke in das praktische Vorgehen beim Einmessen von Punkten im Raum.

Holger Krause und Monika Kaiser für die Hilfe auf dem Weg zum finalen Design der Sensorinseln und der Befestigung.

Julian Becker und Judith Bast für die Erstellung des parametrisierten Laserbox-CAD-Modells und dem Entwurf der endgültigen Boxen damit.

Siegfried Horn, Klaus Mehret und ihrer Werkstatt für die Herstellung der Laserboxen, die Hilfe bei der Konstruktion des Messaufbaus, Vereinfachung meiner komplizierten Ideen auf das Wesentliche und die Montage des südlichen Rings.

Klaus Müller für die Unterstützung mit und am FaroArm.

Der gesamten KATRIN-Arbeitsgruppe für die Arbeitsatmosphäre und viele interessante Diskussionen.

Allen nicht namentlich genannten, die mich bei dieser Arbeit auf jede nur erdenkliche Weise unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Chadwick, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 16, 383 1914
- [2] W. Pauli, Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauvereins-Tagung zu Tübingen
- [3] E. Fermi, Versuch einer Theorie der β-Strahlen. Z. d. Phys Bd. 88, 1934
- [4] C. L. Cowan et al. Detection of the Free Neutrino: a Confirmation, Science Vol. 124, Num. 3212, 1956
- [5] C. Sutton, Spaceship Neutrino Cambridge University Press, 1992
- [6] D. J. Griffiths, Introduction to elementary particles, 2nd rev. ed. Wiley-VCH, 2008
- [7] SNO Collaboration, Sensitive measurement by SNO observes solar neutrinos in a new way http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/results_04_02/
- [8] Daya Bay Collaboration Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay http://arxiv.org/abs/1203.1669
- [9] SNO Collaboration, Combined Analysis of all Three Phases of Solar Neutrino Data from the Sudbury Neutrino Observatory http://arxiv.org/abs/1109.0763
- [10] T2K Collaboration, Evidence of Electron Neutrino Appearance in a Muon Neutrino Beam http://arxiv.org/abs/1304.0841
- [11] K. Nakamura et al. Review of Particle Physics, Journal of Physics G 37: 1, 2010
- [12] MINOS Collaboration, Measurement of Neutrino and Antineutrino Oscillations Using Beam and Atmospheric Data in MINOS http://arxiv.org/abs/1304.6335
- [13] C. S. Wu, Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay, Phys. Rev. 105, 1413-1415 (1957)
- [14] H. V. Klapdor-Kleingrothaus, K. Zuber, Teilchenastrophysik, Teubner, 1997
- [15] SNO Collaboration, Description of the SNO Detector http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/sno2.html
- [16] Energiespektrum der Sonnenneutrinos auf der Erde http://physik.uibk.ac.at/ 06-07/physik4/proseminar/neutrino_flux_sun2004.gif
- [17] Korea Atomic Energy Research Institute http://atom.kaeri.re.kr/
- [18] C. Weinheimer, Laboratory Limits on Neutrino Mass, Neutrino Mass, Springer 2003
- [19] M. Prall et al, The KATRIN Pre-Spectrometer at reduced Filter Energy http:// arxiv.org/abs/1203.2444
- [20] Git-Repository der AG Weinheimer https://nuserv.uni-muenster.de/cgit/
- [21] J. D. Jackson Classical Electrodynamics, 3rd ed. Wiley, 1999

58 Literaturverzeichnis

[22] KATRIN Collaboration KATRIN Design Report 2004, http://www-ik.fzk.de/~katrin/publications/

- [23] G. Beamson, H. Q. Porter, D. W. Turner, The collimating and magnifying properties of a superconducting field photoelectron spectrometer J. Phys, E: Sci. Instrum., Vol. 13, 1980
- [24] F. Glück et al, Design Document, Air Coil System & Magnetic Field Sensor System, 2009
- [25] F. Glueck et al, Electromagnetic design of the KATRIN large-volume air coil system, http://arxiv.org/abs/1304.6569
- [26] K. Valerius, Elektromagnetisches Design für das Hauptspektrometer des KATRIN Experiments, Diplomarbeit. Helmholtz-Institut für Strahlen- und Kernphysik, Universität Bonn, 2004
- [27] J. Reich, Magnetfeldmessungen und Designarbeiten für das EMCS Luftspulensystem am KATRIN Hauptspektrometer, Diplomarbeit. Universität Karlsruhe, 2009
- [28] T. Thümmler, Präzisionsüberwachung und Kalibration der Hochspannung für das KATRIN-Experiment, Dissertation. Universität Münster, 2007
- [29] M. Tegmark et al. Cosmological parameters from SDSS and WMAP, 2003, http://arxiv.org/abs/astro-ph/0310723
- [30] Bartington Instruments, Mag-03 Three-Axis Magnetic Field Sensors, http://www.bartington.com/mag-03.html
- [31] Picotronic GmbH, DD532-1-3(16x60)-AP-C280, http://www.picotronic.de/picopage/de/product/detail/category/1/id/42658
- [32] Murata Manufacturing Co. SCA121T Inclination Module, http://www.murata.com/products/sensor/catalog/pdf/sca121t_inclinometer_datasheet_82127400a2. pdf

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Energiespektrum der Sonnenneutrinos in I AU Entiernung nach dem Sonnenstandardmodell [16]	2 5
2.1.	Energiespektrum der Tritium- β -Elektronen für $m_{\nu_e} \in \{0,1\}$ eV	7
2.2.	Aufbau von KATRIN	8
2.3.	Funktionsprinzip MAC-E Filter	10
2.4.	Schematischer Aufbau der DPS2-F	11
2.5.	Der KATRIN-Detektor	13
3.1.	Das KATRIN-Koordinatensystem	17
3.2.	Sensorpositionen (rot) auf dem Hauptspektrometer (grau) und den Aluminiumwinkeln (hellblau). Ansicht von Westen (links) bzw. Osten (rechts)	18
3.3.	Die montierte Zielplatte für Laser 1 von SE32	18
3.4.		20
3.5.	•	20
3.6.	•	21
3.7.	·	22
3.8.	Montierte Sensorinsel SE32 und Ringschlussfedern des südlichen Rings. Blick-	
0.0.	richtung ist von West nach Ost. Montage aus zwei Bildern, um beides scharf	26
4.1.4.2.		30 30
4.3.	Algorithmus zur numerischen Berechnung eines Minimums von $U(\vec{L})$ per	
4.4.	Gradientenabstieg	32
1. 1.		40
4.5.	90°Ablesewinkel	42
4.6.	45° Ablesewinkel	42
4.7.	30°Ablesewinkel	43
4.8.	15° Ablesewinkel	43
4.9.		43
4.10.	Ablesefits der fünf Bilder	43
4.11.	Befestigung einer Zielkugel mit einem Magneten an der Zielplatte aus Ab-	
	bildung 3.3. Die Kugel liegt stabil in einem Bohrloch.	43
5.1.	Der Messaufbau. Unten der Präzisionsmesstisch, links die Aluminiumprofile mit der Zielplatte. Am rechten Rand ist der untere Teil des FaroArms zu sehen, links daneben eine Laserbox auf dem Kugelkopf.	46

5.2.	Der Kugelkopf, mit dem die von oben zu montierende Laserbox ausgerichtet	
	wird	46
5.3.	Erster Schritt: Wahl des Abstands zwischen Laserbox und zu messendem	
	Punkt	47
5.4.	Zweiter Schritt: Mit dem vertikalen Profil die Zielplatte in den Laserstrahl	
	bringen und sie so drehen, dass er senkrecht auftrifft	47
5.5.	Dritter Schritt: Die Zielplatte so drehen und positionieren, dass der Laser-	
	strahl genau die Bohrung trifft	48
5.6.	Dritter Schritt im Detail: der Laser trifft mittig auf die Zielbohrung, er-	
	scheint aber aufgrund der Perspektive links etwas heller	48
5.7.	Vierter Schritt: Die Bohrung mit dem FaroArm einmessen	49
5.8.	Das Netzteil mit den bei den Messungen verwendeten Einstellungen	49
5.9.	Befestigung der Sensorinsel SW02 auf dem Messtisch	51
A.1.	Skizze zum Kreiswinkelsatz	61
A.2.	Schneiden von zwei Ebenen in Normalenform	62
C.3.	Technische Zeichnung der Sensorinselgrundplatte	65

A. Mathematik

A.1. Kreiswinkelsatz

Gegeben sei ein Kreis mit Mittelpunkt M. Auf dem Kreisbogen liegen an beliebiger Stelle die Punkte A, B und C. Dann ist der dem Punkt C gegenüberliegende Winkel $\mu = \angle AMB$ genau doppelt so groß wie $\gamma = \angle ACB$.

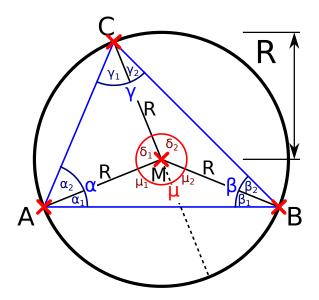


Abbildung A.1.: Skizze zum Kreiswinkelsatz

Es gilt (siehe Abbildung A.1):

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 \qquad \qquad \gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \tag{6.1}$$

In den gleichschenkligen Dreiecken AMC und BMC gilt außerdem

$$\alpha_2 = \gamma_1 \qquad \beta_2 = \gamma_2$$

$$\delta_1 = \pi - 2 \cdot \gamma_1 \qquad \delta_2 = \pi - 2 \cdot \gamma_2 \qquad (6.2)$$

Entlang der Geraden durch M und C gilt desweiteren

$$\mu_1 = \pi - \delta_1 \qquad \qquad \mu_2 = \pi - \delta_2 \tag{6.3}$$

Aus den Gleichungen 6.1, 6.2 und 6.3, folgt die Aussage:

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 = \pi - \pi + 2 \cdot \gamma_1 + \pi - \pi + 2 \cdot \gamma_2 = 2 \cdot \gamma$$
 (6.4)

Liegen A, B und M auf einer Geraden, folgt $\mu = \pi$ und aus 6.4 der Satz des Thales.

A.2. Schnittpunkt P einer Geraden und einer Ebene in Normalenform

Gegeben seien eine Gerade

$$G = \left\{ \vec{x} \mid \vec{x} = \vec{G} + \lambda \hat{g}, \ \lambda \in \mathbb{R} \right\}$$

und eine Ebene

$$E = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E} \right) \cdot \hat{e} = 0 \right\}$$

Durch Einsetzen der Geraden in die Ebenengleichung erhält man den Schnittpunkt

$$\vec{P} = \vec{G} + \frac{\left(\vec{E} - \vec{G}\right) \cdot \hat{e}}{\hat{g} \cdot \hat{e}} \hat{g} \tag{6.5}$$

A.3. Schnittgerade G_{12} zweier Ebenen in Normalenform

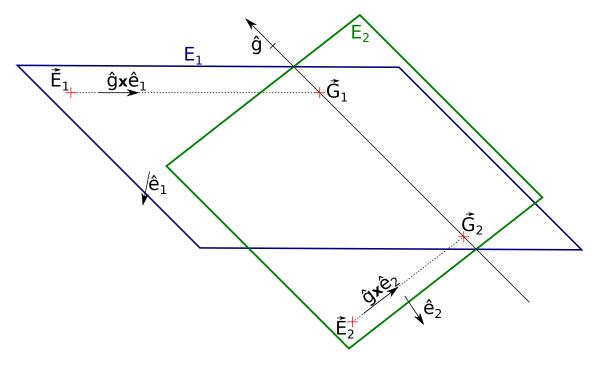


Abbildung A.2.: Schneiden von zwei Ebenen in Normalenform

Gegeben seien zwei nichtparallele Ebenen E_1 und E_2 , definiert durch je einen Aufpunkt \vec{E}_1 bzw. \vec{E}_2 und einen Normalenvektor \hat{e}_1 bzw. \hat{e}_2 (Abbildung A.2):

$$E_1 = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E}_1 \right) \cdot \hat{e}_1 = 0 \right\}$$

$$E_2 = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E}_2 \right) \cdot \hat{e}_2 = 0 \right\}$$

Die Schnittgerade hat die Form

$$G_{12} = \left\{ \vec{x} \mid \vec{x} = \vec{G} + \lambda \hat{g}, \ \lambda \in \mathbb{R} \right\}$$

Da die Gerade in beiden Ebenen und damit senkrecht zu beiden Normalenvektoren liegt, gilt $\hat{g} = \frac{\hat{e}_1 \times \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|}$.

Folgt man von \vec{E}_1 aus dem Vektor $\hat{g} \times \hat{e}_1$, so bleibt man in der Ebene E_1 und nähert sich der Geraden G auf direktem Weg. Sie ist genau dann im Punkt \vec{G}_1 erreicht, wenn die Ebene E_2 erreicht ist. Aus Gleichung 6.5 folgt der Schnittpunkt:

$$\vec{G}_1 = \vec{E}_1 + \frac{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|^2} (\hat{e}_1 \times \hat{e}_2) \times \hat{e}_1$$

Die Schnittgerade der durch \vec{E}_1, \hat{e}_1 und \vec{E}_2, \hat{e}_2 definierten Ebenen ist also

$$G_{12} = \left\{ \vec{x} \mid (\vec{x} - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_1 = 0 \right\} \cap \left\{ \vec{x} \mid (\vec{x} - \vec{E}_2) \cdot \hat{e}_2 = 0 \right\}$$

$$G_{12} = \left\{ \vec{x} \mid \vec{x} = \vec{E}_1 + \frac{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|^2} (\hat{e}_2 - (\hat{e}_1 \cdot \hat{e}_2)\hat{e}_1) + \lambda \frac{\hat{e}_1 \times \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|}, \ \lambda \in \mathbb{R} \right\}$$

$$(6.6)$$

Analog kann man auch von \vec{E}_2 ausgehen und findet dann den Aufpunkt \vec{G}_2 mit gegenüber \vec{G}_1 vertauschten Indizes.

A.4. Schnittpunkt P_{123} dreier Ebenen in Normalenform

Gegeben seien drei Ebenen:

$$E_1 = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E}_1 \right) \cdot \hat{e}_1 = 0 \right\}$$

$$E_2 = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E}_2 \right) \cdot \hat{e}_2 = 0 \right\}$$

$$E_3 = \left\{ \vec{x} \mid \left(\vec{x} - \vec{E}_3 \right) \cdot \hat{e}_3 = 0 \right\}$$

Die Schnittgerade der ersten beiden ist nach Gleichung 6.6

$$G = \left\{ \vec{x} \mid \vec{x} = \vec{E}_1 + \frac{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|^2} (\hat{e}_2 - (\hat{e}_1 \cdot \hat{e}_2)\hat{e}_1) + \lambda \hat{e}_1 \times \hat{e}_2, \ \lambda \in \mathbb{R} \right\}$$

Diese schneidet die dritte Ebene im durch Gleichung 6.5 gegebenen Punkt P_{123} :

$$\vec{P}_{123} = \vec{E}_1 + \frac{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|^2} (\hat{e}_2 - (\hat{e}_1 \cdot \hat{e}_2)\hat{e}_1) + \frac{\left(\vec{E}_3 - \vec{E}_1 - \frac{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \hat{e}_2}{|\hat{e}_1 \times \hat{e}_2|^2} (\hat{e}_2 - (\hat{e}_1 \cdot \hat{e}_2)\hat{e}_1)\right) \cdot \hat{e}_3}{(\hat{e}_1 \times \hat{e}_2) \cdot \hat{e}_3} (\hat{e}_1 \times \hat{e}_2)$$

$$(6.7)$$

B. Messprotokolle

Zum Einmessen von Laserboxen und Sensorinseln können die Tabellen B.1 und B.2 verwendet werden.

C. Technische Zeichnungen

D. Messwerte

Anhang Anhang

Tabelle B.1.: Zum Einmessen einer Laserbox die mit dem FaroArm gemessenen Punkte, daraus erstellten Fits und damit berechneten Winkel hier eintragen. "u" bezeichnet den Fit durch die Punkte mit ungeradem, "g" den Fit durch die Punkte mit geradem Index. " Σ " ist der Fit durch alle sechs Punkte.

Laserbe	ox:												
						φ	12						
			Las	er 1					Las	er 2			
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
x (mm)													
y (mm)													
z (mm)													
\pm (mm)													
Fit	υ	l	9	ŗ	Σ	1	ι	1	8	g	Σ	$\frac{1}{2}$	
X													
У													
Z													
\pm (mm)													
Δ_{Σ} (°)	max ($\angle(\Sigma, u)$	$(\Sigma), \angle(\Sigma)$	(g)) =			max ($(\angle(\Sigma, \iota$	ι), $\angle(\Sigma$	(g)) =			
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1)$	$,\Sigma_2)=$:			=	Ł			=	$=\Delta_{\Sigma_1}$ +	$-\Delta_{\Sigma_2}$	
						φ	13						
			Lase						Las	er 3			
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
x (mm)													
y (mm)													
z (mm)													
\pm (mm)													
Fit	υ	l	9	r	Σ	1	ι	1		r 5	Σ	3	
X													
у													
Z													
\pm (mm)													
Δ_{Σ} (°)	max ($\angle(\Sigma, u)$	$(\Sigma), \angle(\Sigma)$	(g)) =			max ($(\angle(\Sigma, \iota))$	$(i), \angle(\Sigma)$	(g)) =			
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1)$	$,\Sigma_3)=$				Ξ	Ł			=	$=\Delta_{\Sigma_1}$ +	$-\Delta_{\Sigma_3}$	
						$arphi_{23}$							
			Lase	er 2					Las	er 3			
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
x (mm)													
y (mm)													
z (mm)													
\pm (mm)													
Fit	υ	l	9	r	Σ	2	ι	1		g	Σ	3	
X													
у													
Z													
\pm (mm)													
Δ_{Σ} (°)			$(\Sigma), \angle(\Sigma)$	(g)) =			max ($(\overline{\angle(\Sigma,\iota)})$	$(i), \angle(\Sigma$	$,\overline{g))} =$			
φ_{23}	$\angle(\overline{\Sigma_2})$	$,\Sigma_3)=$				=	Ł			=	$=\Delta_{\Sigma_2}$ +	- Δ_{Σ_3}	

D. Messwerte 65

Tabelle B.2.: Zum Einmessen einer Sensorinsel die mit dem FaroArm gemessenen Punkte und Ebenen sowie die berechneten Koeffizienten m_i und m_{ij} hier eintragen.

Sensorinse	1:		φ_{12} :	4	φ_{13} :	4	9 ₂₃ :	
	I	Laserpunkte)	Ursprung		Laserrichtunger		
	P_1	P_2	P_3	L	\hat{l}_1	\hat{l}_2	\hat{l}_3	
x (mm)								X
y (mm)								У
z (mm)								z
$\pm \text{ (mm)}$								
Ob	en	En	de	Inne		Auße	en	
\vec{T} (mm)	$\hat{t} = -\hat{m}_2$	$\vec{E}~(\mathrm{mm})$	$\hat{e} = \hat{m}_3$	$ec{I}~(ext{mm})$	\hat{i}	$\vec{O}~(\mathrm{mm})$	\hat{o}	
								X
								У
								Z
								<u>±</u>
		Messpo	sition			Ω		
m_1 :		m_2 :		m_3 :		$\vec{\Omega}$ (mm) $\hat{\omega}$	$\hat{v} = -\hat{m}_1$	
$m_{11}:$		$m_{12}:$		$m_{13}:$				X
$m_{21}:$		$m_{22}:$		$m_{23}:$				У
$m_{31}:$		$m_{32}:$		$m_{33}:$				Z
		Messa	chsen					\pm

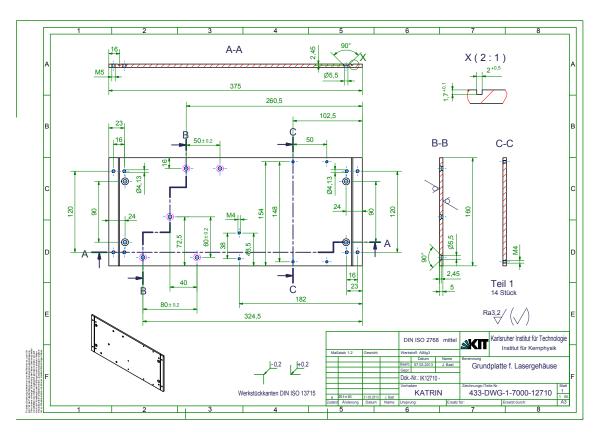


Abbildung C.3.: Technische Zeichnung der Sensorinselgrundplatte.

Tabelle D.3.

Laserbox	x: SW02					
			φ	12		
	D D	Laser 1	l n n	D D	Laser 2	l n n
x (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -112,063 & -103,626 \end{array}$	P_3 P_4 -89,547	P_5 P_6	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -310,866 & -520,559 \end{array}$	P_3 P_4 -952,755	P_5 P_6
y (mm)	-0,737 18,772	50,435		22,300 62,537	145,495	
z (mm)	502,984 747,505	1140,010		306,666 290,004	255,842	
± (mm)	0.036 0.029	0.024		0,011 0,022	0,021	
	-,	- / -			· ·	
Fit	u	g	$\Sigma_1 \\ 0.0353$	u	g	Σ_2 0,9791
X			0,0333			-0,1879
y z			0,9962			0,0775
± (mm)			0,160			0,038
Δ_{Σ} (°)	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	a)) =	-,	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	a)) =	- /
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =$	3//	95,548	± 0,095	377	
				10		
		Laser 1	Ψ	13	Laser 3	
	P_1 P_2	P_3 P_4	P_5 P_6	P_1 P_2	P_3 P_4	P_5 P_6
x (mm)	-312,319 -602,390	-954,364		-47,037 74,339	238,400	
y (mm)	-9,031 3,217	17,908		-13,336 -8,682	-2,350	
z (mm)	299,153 279,407	255,796		488,973 750,626	1104,725	
± (mm)	0,010 0,025	0,024		0,024 0,019	0,014	
Fit	u	g	Σ_1	u	g	Σ_3
x		, and the second	0,9969			-0,4205
у			-0,0418			-0,0162
z			0,0673			-0,9071
± (mm)			0,116			0,052
Δ_{Σ} (°)	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =		$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3) =$		118,656	$5 \pm 0,095$		
			φ	23		
		Laser 2	1 5 =		Laser 3	1 5 =
, ,	P ₁ P ₂	P_3 P_4	P_5 P_6	P_1 P_2	P_3 P_4	P_5 P_6
x (mm)	-32,724 28,225	143,237		-308,110 -518,813	-899,716	
y (mm)	-9,003 -5,931	-0,234		-11,778 -11,800 340,246 347,636	-11,780	
z (mm)	513,722 723,998 0,034 0,027	1120,798		/ /	360,002	
± (mm)		0,027	<u> </u>		0,022	1 -
Fit	u	g	Σ_1	u	g	Σ_2
x			0,2784			-0,9994
У			0,0139 0,9604			-0,0000 -0,0334
$\pm \text{ (mm)}$			0,9804			0,054
	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	a)) —	0,022	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	a)) —	0,034
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1, \Sigma_2) =$	9/) —	104.252	± 0.095	9)) —	
	(1/2/					
Laserbo	v: SW17					
Laserbo	x: SW17		9			
Laserbox	x: SW17	Laser 1	φ	12	Laser 2	
Laserbo	x: SW17 P ₁ P ₂	Laser 1 P_3 P_4	φ		Laser 2 P_3 P_4	P ₅ P ₆
x (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \end{array}$	P_3 P_4 $-4,926$		$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \end{array}$	P_5 P_6
x (mm) y (mm)	$\begin{array}{cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \end{array}$	P_3 P_4 $-4,926$ $183,269$		$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -952,711 & -763,089 \\ 86,984 & 63,636 \end{vmatrix} $	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \end{array}$	P ₅ P ₆
x (mm) y (mm) z (mm)	$\begin{array}{cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \\ 554,414 & 656,594 \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 & \\ 183,269 & \\ 1143,528 & \end{array}$		$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -952,711 & -763,089 \\ 86,984 & 63,636 \\ 226,442 & 245,493 \end{vmatrix} $	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \\ 281,545 & \end{array}$	P ₅ P ₆
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \end{array}$	P_3 P_4 $-4,926$ $183,269$	P_5 P_6	$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -952,711 & -763,089 \\ 86,984 & 63,636 \end{vmatrix} $	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \end{array}$	P ₅ P ₆
x (mm) y (mm) z (mm)	$\begin{array}{cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \\ 554,414 & 656,594 \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 & \\ 183,269 & \\ 1143,528 & \end{array}$	P_5 P_6 Σ_1	$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -952,711 & -763,089 \\ 86,984 & 63,636 \\ 226,442 & 245,493 \end{vmatrix} $	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \\ 281,545 & \end{array}$	Σ_2
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \\ 554,414 & 656,594 \\ \hline 0,044 & 0,050 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -4,926 & \\ 183,269 & \\ 1143,528 & \\ \hline 0,038 & \\ \end{array}$	P_5 P_6 Σ_1 0,1414	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \\ 281,545 & \\ 0,029 & \\ \end{array}$	Σ_2 0,9873
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \\ 554,414 & 656,594 \\ \hline 0,044 & 0,050 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -4,926 & \\ 183,269 & \\ 1143,528 & \\ \hline 0,038 & \\ \end{array}$	$\begin{array}{ c c c }\hline P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \\ 281,545 & \\ 0,029 & \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \end{array}$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -91,481 & -76,264 \\ 43,472 & 67,933 \\ 554,414 & 656,594 \\ \hline 0,044 & 0,050 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -4,926 & \\ 183,269 & \\ 1143,528 & \\ \hline 0,038 & \\ \end{array}$	$\begin{array}{ c c c c }\hline P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ 0.9632 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -414,835 & \\ 20,136 & \\ 281,545 & \\ 0,029 & \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \end{array}$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -4,926 183,269 1143,528 0,038	$\begin{array}{ c c c }\hline P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -414,835 20,136 281,545 0,029	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -4,926 183,269 1143,528 0,038	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \\ & \\$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -414,835 20,136 281,545 0,029	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \end{array}$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -4,926 183,269 1143,528 0,038	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -414,835 20,136 281,545 0,029	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline g \\ g)) = \\ \end{array}$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_3 P_4 $-4.14,835$ $20,136$ $281,545$ $0,029$ g $p(3) = 1$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_3 P_4 $-4.14,835$ $20,136$ $281,545$ $0,029$ g Laser 3	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline g \\ g)) = \\ \end{array}$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_3 P_4 $-4.14,835$ $20,136$ $281,545$ $0,029$ g $p(3) = 1$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \end{array} $ $ \begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \end{array}$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm) ΔΣ (°) φ12	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \end{array}$
$\begin{array}{c} x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^\circ) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline & g \\ \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ \end{array}$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline Sit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \pm \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_5 P_6 $\begin{array}{c c} \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & 102,069 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & & \\ \hline \\ \hline$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ 0.9632 \\ 0.167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (°) \\ \hline \\ & \Delta_{\Sigma} \; (°) \\ \hline \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \vdots \\ & \vdots \\ & \vdots \\ & \pm \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ g \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & & \\ \hline \\ \hline$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ g \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (°) \\ \hline \\ & \Delta_{\Sigma} \; (°) \\ \hline \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \vdots \\ & \vdots \\ & \vdots \\ & \pm \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ g \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ 0,029 \\ \hline \\ g \\ g)) = \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \Sigma_1 \\ 0,9896 \\ -0,1145 \\ 0,0872 \\ 0,164 \\ \hline & & \\ \hline \\ \hline$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -4,926 \\ 183,269 \\ 1143,528 \\ \hline 0,038 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -376,669 \\ 20,079 \\ 277,147 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 2 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \Sigma_1 \\ 0,9896 \\ -0,1145 \\ 0,0872 \\ 0,164 \\ \hline & & \\ \hline \\ \hline$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ y \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ & \varphi_{13} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma ~(^\circ) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ & \Delta \Sigma ~(^\circ) \\ & \varphi_{13} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ 0.9632 \\ 0.167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \hline \\ & \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \hline \\ & P_5 & P_6 \\ \hline \\ & \Sigma_2 \\ 0.9975 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ x \; (mm) \\$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_2 \\ 0.9975 \\ -0.0705 \\ \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.1414 \\ 0.2284 \\ 0.9632 \\ 0.167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ & &$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{\Delta}_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \hline & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{\Delta}_{\Sigma} (^{\circ}) \\ & \varphi_{13} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \hline \\ & \text{Fit} \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \hline \\ & \text{Fit} \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \Sigma_3 \\ -0.3773 \\ -0.0638 \\ -0.9239 \\ 0.106 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_2 \\ 0.9975 \\ -0.0705 \\ \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \\ \\ \\ \text{z (mm)} \\ \\ \\ \\ \text{z (mm)} \\ \\ \\ \\ \\ \text{z (mm)} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0,1414 \\ 0,2284 \\ 0,9632 \\ 0,167 \\ \hline & & \\ \hline & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9873 \\ -0.1228 \\ 0.1013 \\ 0.278 \\ \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \\ \hline \\ & &$

D. Messwerte 67

Tabelle D.4.

$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
x (mm) 318,136 191,793 30,498 -929,437 -682,568 -377,836 y (mm) 88,578 62,174 28,857 141,795 107,131 52,576	P_5 P_6
z (mm) 1143,200 893,600 575,224	
\pm (mm) 0,040 0,044 0,046 0,051 0,037 0,045	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Σ_2 0,9243
y -0,0934	-0,1662
z -0,8882	-0,3437
\pm (mm) 0,113	0,174
$\Delta_{\Sigma} \stackrel{(\circ)}{=} \max \left(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g) \right) = \max \left(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g) \right) = $	
φ_{12} $\angle(\Sigma_1, \Sigma_2) =$ $95,449 \pm 0,095$	
Laser 1 φ_{13} Laser 3	
P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_1 P_2 P_3 P_4	P_5 P_6
x (mm) -344,756 -576,461 -989,027	- 3
y (mm) 29,748 55,025 99,868 76,691 48,721 23,576	
z (mm) 302,501 297,731 289,130 1133,969 813,630 521,310	
± (mm) 0,032 0,046 0,050 0,028 0,032 0,050	
Fit u g Σ_1 u g	Σ_3
x y 0,9939 -0,1082	0,4768 0,0759
y -0,1062 0,0206	0,8757
$\pm \text{ (mm)}$ 0,046	0,133
Δ_{Σ} (°) $\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g)) = \max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g)) =$	
φ_{13} $\angle(\Sigma_1, \Sigma_3) =$ $118,931 \pm 0,095$	
Ψ23 Legan 2	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	P_5 P_6
x (mm) -5,532 75,927 187,896 75 76 71 72 73 74 75 -399,936 -633,342 -979,776	1 5 16
y (mm) 14,672 27,784 46,563 26,990 45,602 73,756	
z (mm) 557,469 785,263 1098,463	
\pm (mm) $ 0,048 0,030 0,029 0,045 0,018 0,051$	
Fit u g Σ_1 u g	Σ_2
-0,3361	0,9933 -0,0802
y -0,0555 -0,9402	-0,0802
$\begin{bmatrix} z \\ \pm \text{ (mm)} \end{bmatrix}$ 0,209	0,141
$\begin{array}{c c} \Delta_{\Sigma} & (\circ) & \max\left(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,g)\right) = \\ \hline \end{array} \qquad \begin{array}{c c} \max\left(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,g)\right) = \\ \hline \end{array}$	-, -
φ_{23} $\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)=$ 104,531 \pm 0,095	
Laserbox: SE47	
Laser 1 φ_{12} Laser 2	
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	P_5 P_6
x (mm) -44,732 35,738 195,764 -321,270 -809,303 -991,468	
y (mm) 31,958 67,899 139,833 45,833 146,004 183,389	
z (mm) 497,226 716,541 1152,621 334,918 380,698 397,678	
\(\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c	
Fit u g Σ_1 u g	Σ_2 -0,9755
x 0,3404	0,9755
v 0.1528	0.0914
y z 0,1528 0,9278	0,0914
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	0,049
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
$ \begin{array}{ c c c c c }\hline z\\ \pm \text{ (mm)}\\ \hline \Delta_{\Sigma} \ (^{\circ}) & \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,g))} = \\ \hline \varphi_{12} & \angle(\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = \\ \hline \end{array} \begin{array}{ c c c c c }\hline & 0.9278\\ 0.100\\ \hline & \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,g))} = \\ \hline & 102.517 \pm 0.095\\ \hline \\ \hline & \varphi_{13}\\ \hline \end{array}$	
$ \begin{array}{ c c c c c }\hline z\\ \pm (\mathbf{m})\\ \hline \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) & \max \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma,g) \right) = \\ \hline \varphi_{12} & \angle(\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = \\ \hline & & \log (\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = \\ \hline & \log (\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = $	0,049
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	0,049
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	0,049
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	0,049
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$O_{0,049}$ P_{5} P_{6} Σ_{3}
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_5 P_6 Σ_3 0,4222
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$O_{0,049}$ P_{5} P_{6} Σ_{3}
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c c} \hline 0,049 \\ \hline P_5 & P_6 \\ \hline \Sigma_3 \\ 0,4222 \\ 0,0132 \\ \end{array} $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ & $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ & $
$\begin{array}{ c c c c c c }\hline z\\ \pm \text{ (mm)}\\ \hline \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) & \max \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma,g) \right) = & \max \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma,g) \right) = \\ \hline \varphi_{12} & \angle(\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = & 102.517 \pm 0.095 \\ \hline \\ \hline & & & & & & & & & & & & & & & &$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ & $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ $
$\begin{array}{ c c c c c c }\hline z\\ \pm \text{ (mm)}\\ \hline \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) & \max \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma,g) \right) = & \max \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma,g) \right) = \\ \hline \varphi_{12} & \angle(\Sigma_{1},\Sigma_{2}) = & 102.517 \pm 0.095 \\ \hline \\ \hline & & & & & & & & & & & & & & & &$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ & $
$\begin{array}{ c c c c c c c }\hline z\\ \pm \text{ (mm)}\\ \hline \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) & \max \left(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g) \right) = & \max \left(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g) \right) = \\ \hline \hline \rho_{12} & \angle(\Sigma_{1}, \Sigma_{2}) = & & \max \left(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, g) \right) = \\ \hline & & & \max \left(\angle(\Sigma_{1}, \Sigma_{2}) = & & \max \left(\angle(\Sigma_{1}, \Sigma_{2}), \angle(\Sigma_{1}, S_{2}) \right) = \\ \hline \hline & & & & \text{Laser 1}\\ \hline & & & & & \text{Laser 1}\\ \hline x \text{ (mm)} & -985,044 & -651,155 & -349,192 & & & & & & & & & & & & & & & & & & &$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & & \\ \hline & & $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & \\ $
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & 0,049\\ \hline & P_5 & P_6\\ \hline & & & \\ \hline & & $
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_3 \\ 0,4222 \\ 0,0132 \\ 0,9064 \\ 0,066 \\ \hline & P_5 & P_6 \\ \hline & \\ & \Sigma_2 \\ 0,9824 \\ -0,0256 \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c }\hline & & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & $

Tabelle D.5.

Laserbox	: NW11					
			φ	12		
	P_1 P_2	Laser 1 P_3 P_4	P_5 P_6	P_1 P_2	Laser 2 P_3 P_4	P_5 P_6
x (mm)	272,944 145,190	26,855	15 16	-853,725 -555,685	-314,877	15 16
y (mm)	65,329 36,133	9,707		42,083 20,979	4,012	
z (mm)	1074,210 797,482	541,386		557,755 467,401	394,354	
\pm (mm)	0,037 0,024	0,015		0,021 0,024	0,007	
Fit	u	g	Σ_1	u	g	Σ_2
x			-0,4174			0,9548
y z			-0,0944 -0,9038			-0,0675 -0,2895
± (mm)			0,169			0,035
Δ_{Σ} (°)	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =		$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	,
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =$		97,499	\pm 0,095		
			φ	13		
	D D	Laser 1	l D D	D D	Laser 3	
x (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -932,912 & -601,479 \end{array}$	P_3 P_4 $-272,914$	P_5 P_6	$\begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ 372,328 & 218,470 \end{vmatrix}$	P_3 P_4 $69,069$	P_5 P_6
y (mm)	17,976 8,602	-0,616		32,698 18,134	3,659	
z (mm)	329,822 331,064	332,332		1069,744 798,505	535,278	
\pm (mm)	0,010 0,010	0,025		0,013 0,016	0,022	
Fit	u	g	Σ_1	u	g	Σ_3
x			0,9996			-0,4929
y z			-0,0282 0,0038			-0,0472 -0,8688
± (mm)			0,0038			0,118
Δ_{Σ} (°)	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	,	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	,
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3) =$		119,651	\pm 0,095		
		_	φ	23	_	
	D D	Laser 2	l n n	D D	Laser 3	l n n
x (mm)	$ \begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 361,484 & 202,467 \end{array} $	$P_3 P_4 86,637$	P_5 P_6	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -823,951 & -455,586 \end{array}$	$\begin{vmatrix} P_3 & P_4 \\ -231,046 & \end{vmatrix}$	P_5 P_6
y (mm)	57,672 26,700	4,062		68,518 28,464	4,068	
z (mm)	1031,005 755,021	553,508		628,096 500,763	423,198	
\pm (mm)	0,025 0,026	0,027		0,016 0,027	0,027	
Fit	u	g	Σ_1	u	g	Σ_2
x			-0,4965			0,9402
y z			-0,0968 -0,8626			-0,1022 -0,3249
± (mm)			0,093			0,021
Δ_{Σ} (°)	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	0,000	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	0,022
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =$		100,176	$\pm 0,095$		
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Laserbox	: NW26			•		
Laserbox	:: NW26	Laser 1	φ	12	Laser 2	
Laserbox		Laser 1 P ₃			Laser 2 P_3 P_4	P ₅ P ₆
x (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \end{array}$	P_3 P_4 $6,607$	φ	$\begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \end{vmatrix}$	$\begin{array}{c cc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \end{array}$	P ₅ P ₆
x (mm) y (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \end{array}$	P_3 P_4 $6,607$ $-3,981$		$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \end{vmatrix} $	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \end{array}$	P ₅ P ₆
x (mm) y (mm) z (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ 6,607 & \\ -3,981 & \\ 511,170 & \end{array}$		$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \end{vmatrix} $	$ \begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \\ 391,682 & \end{array} $	P_5 P_6
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ 0,028 \end{array}$	P ₅ P ₆	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\ \hline 0,013 & 0,027 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \\ 391,682 & \\ 0,011 & \\ \end{array}$	
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ 6,607 & \\ -3,981 & \\ 511,170 & \end{array}$	P_5 P_6	$ \begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \end{vmatrix} $	$ \begin{array}{c cccc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \\ 391,682 & \end{array} $	Σ_2
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ 0,028 \end{array}$	P ₅ P ₆	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\ \hline 0,013 & 0,027 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \\ 391,682 & \\ 0,011 & \\ \end{array}$	
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ 0,028 \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \\ & \\$	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\ \hline 0,013 & 0,027 \\ \end{array}$	$\begin{array}{ccc} P_3 & P_4 \\ -253,465 & \\ -1,089 & \\ 391,682 & \\ 0,011 & \\ \end{array}$	Σ_2 0,9335 -0,0592 -0,3536
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \hline & u \\ \end{array}$	P ₃ P ₄ 6,607 -3,981 511,170 0,028	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -253,465 -1,089 391,682 0,011	$\frac{\Sigma_2}{0.9335}$ -0.0592
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \hline & \mathbf{u} \\ \\ \hline (\angle(\Sigma,u),\angle(E_1,u),\angle(E_1$	P ₃ P ₄ 6,607 -3,981 511,170 0,028	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\ \hline 0,013 & 0,027 \\ \end{array}$	P ₃ P ₄ -253,465 -1,089 391,682 0,011	Σ_2 0,9335 -0,0592 -0,3536
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \hline & u \\ \end{array}$	P ₃ P ₄ 6,607 -3,981 511,170 0,028	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P ₃ P ₄ -253,465 -1,089 391,682 0,011	Σ_2 0,9335 -0,0592 -0,3536
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_3 P_4 6,607 -3,981 511,170 0,028 P_4 P	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P_3 P_4 $-253,465$ $-1,089$ $391,682$ $0,011$ Q	Σ_2 0,9335 -0,0592 -0,3536 0,148
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \end{array} $ $ \begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \end{array}$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm) ΔΣ (°) φ12	$\begin{array}{c ccccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \hline & \mathbf{u} \\ \hline & \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma, \angle(\Sigma_1,\Sigma_2))} = \\ \hline & P_1 & P_2 \\ -911,130 & -886,687 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c c c }\hline P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\\hline & 0,013 & 0,027 \\\hline & & & \\ \hline & & & \\ $	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103,642 & 80,277 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \Sigma \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline \\ \textbf{91,759} \\ \hline \\ \varphi \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm) ΔΣ (°) φ12	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline 0,030 & 0,019 \\ \hline & \mathbf{u} \\ \hline & \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma, \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =} \\ \hline & P_1 & P_2 \\ -911,130 & -886,687 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline \\ \textbf{91,759} \\ \hline \\ \varphi \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c c c }\hline P_1 & P_2 \\ -827,659 & -577,010 \\ 35,283 & 19,551 \\ 609,221 & 514,082 \\\hline & 0,013 & 0,027 \\\hline & & & \\ \hline & & & \\ $	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103,642 & 80,277 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi 12 \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array}$	$\begin{array}{c ccccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 11113,550 & 763,624 \\ 0,030 & 0,019 \\ \hline & & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & & 91,759 \\ \hline & & \varphi \\ \hline & & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & & \Sigma_1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & Fit \\ x \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\\hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ 0,023 & 0,011 \\\hline \\ g \\ 0,9965 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ & \\ \hline \\ & \\ & \\ \hline \\ & \\ & \\ \hline \\ & \\ &$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline Fit \\ x \\ y \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ \hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ 0,023 & 0,011 \\ \hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline & 0,011 & 0,025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ & 0,9965 \\ -0,0416 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \\ 103.642 \\ 80.277 \\ 2.392 \\ 1.182 \\ 518.259 \\ 487.552 \\ 0.029 \\ 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\\hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ 0,023 & 0,011 \\\hline \\ g \\ 0,9965 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & & 91,759 \\ \hline & & \varphi \\ \hline & & & \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103.642 & 80.277 \\ 2.392 & 1.182 \\ 518.259 & 487.552 \\ 0.029 & 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} & x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ & \pm \; (mm) \\ \hline & \pm \; (mm) \\ \hline & \Sigma \\ & \pm \; (mm) \\ \hline & \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ & \pm \; (mm) \\ \hline & Fit \\ x \\ y \\ z \\ & \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\\hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\\hline 0,023 & 0,011 \\\hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline & 0,011 & 0,025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ & 0,9965 \\ -0,0416 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \\ 103.642 \\ 80.277 \\ 2.392 \\ 1.182 \\ 518.259 \\ 487.552 \\ 0.029 \\ 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\\hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\\hline 0,023 & 0,011 \\\hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ 0.123 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103.642 & 80.277 \\ 2.392 & 1.182 \\ 518.259 & 487.552 \\ 0.029 & 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ \hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ 0,023 & 0,011 \\ \hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ \hline \\ g)) = 0,004 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ 0.123 \\ \hline & 123,184 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -253,465 \\ -1,089 \\ 391,682 \\\hline 0,011 \\\hline \\ g)) = \\\hline \\ Laser 3 \\ P_3 & P_4 \\ 322,904 & 286,928 \\ 15,938 & 13,658 \\ 803,516 & 756,802 \\ 0,025 & 0,018 \\\hline \\ g \\ -0,6085 \\ -0,0372 \\ -0,7926 \\\hline \\ g)) = 0,008 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103.642 & 80.277 \\ 2.392 & 1.182 \\ 518.259 & 487.552 \\ 0.029 & 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline & 0,030 & 0,019 \\ \hline & & & & \\ \hline & & \\ \hline & & & \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ \hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ \hline 0,023 & 0,011 \\ \hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ \hline \\ g)) = 0,004 \\ \hline \\ Laser 2 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 91,759 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline \\ 0,011 & 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ 0,123 \\ \hline \\ \hline \\ 123,184 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -253,465 \\ -1,089 \\ 391,682 \\ \hline 0,011 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 3 \\ P_3 & P_4 \\ 322,904 & 286,928 \\ 15,938 & 13,658 \\ 803,516 & 756,802 \\ \hline 0,025 & 0,018 \\ \hline \\ g \\ -0,6085 \\ -0,0372 \\ -0,7926 \\ \hline \\ g)) = 0,008 \\ \hline \\ Laser 3 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ 0.123 \\ \hline & 123,184 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103.642 & 80.277 \\ 2.392 & 1.182 \\ 518.259 & 487.552 \\ 0.029 & 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ 257,941 & 111,981 \\ 21,252 & 6,554 \\ 1113,550 & 763,624 \\ \hline & 0,030 & 0,019 \\ \hline & & & & \\ \hline & & \\ \hline & & & \\ \hline & & \\ $	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ 6,607 \\ -3,981 \\ 511,170 \\ \hline 0,028 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -523,685 & -497,731 \\ 14,799 & 13,694 \\ 368,302 & 366,362 \\ \hline 0,023 & 0,011 \\ \hline \\ g \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ \hline \\ g)) = 0,004 \\ \hline \\ Laser 2 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 91,759 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline \\ 0,011 & 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ 0,123 \\ \hline \\ \hline \\ 123,184 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_3 & P_4 \\ -253,465 \\ -1,089 \\ 391,682 \\ \hline 0,011 \\ \hline \\ g)) = \\ \hline \\ Laser 3 \\ P_3 & P_4 \\ 322,904 & 286,928 \\ 15,938 & 13,658 \\ 803,516 & 756,802 \\ \hline 0,025 & 0,018 \\ \hline \\ g \\ -0,6085 \\ -0,0372 \\ -0,7926 \\ \hline \\ g)) = 0,008 \\ \hline \\ Laser 3 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$
$\begin{array}{c} \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ \text{x (mm)} \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 91,759 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline \\ 0,011 & 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ 0,123 \\ \hline \\ \hline \\ 123,184 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ y \; (mm) \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ -0,3847 \\ -0,0386 \\ -0,9222 \\ 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 91,759 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3,983 & 2,644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline \\ 0,011 & 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_1 \\ 0,9965 \\ -0,0416 \\ -0,0725 \\ 0,123 \\ \hline \\ \hline \\ 123,184 \\ \hline \\ \varphi \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ 103,642 \qquad 80,277 \\ 2,392 \qquad 1,182 \\ 518,259 \qquad 487,552 \\ 0.029 \qquad 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ 0.146 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & \varphi \\ \hline & P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ \hline & 0.011 & 0.025 \\ \hline & \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ 0.123 \\ \hline & 123,184 \\ \hline & \varphi \\ P_5 & P_6 \\ \hline & \\ \hline & P_5 & P_6 \\ \hline \\ & \\ \hline & P_5 & P_6 \\ \hline \\ & \\ \hline & \\ & P_5 & P_6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0,9335 \\ -0,0592 \\ -0,3536 \\ 0,148 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ 103,642 & 80,277 \\ 2,392 & 1,182 \\ 518,259 & 487,552 \\ \hline 0,029 & 0,025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0,6085 \\ -0,0374 \\ -0,7927 \\ 0,146 \\ \hline \\ P_5 & P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_2 \\ 0,9806 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ y \; (mm) \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & & & \\ \hline & & \\$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \\ 103.642 \\ 80.277 \\ 2.392 \\ 1.182 \\ 518.259 \\ 487.552 \\ 0.029 \\ 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ 0.146 \\ \hline \\ P_5 \\ P_6 \\ \hline \\ P_5 \\ P_6 \\ \hline \\ \\ D_9806 \\ -0.1572 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \Sigma \\ & \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \end{array} $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & & 91,759 \\ \hline & & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ -265,365 & -234,833 \\ 3.983 & 2.644 \\ 349,477 & 347,093 \\ 0.011 & 0.025 \\ \hline & & \\ \Sigma_1 \\ 0.9965 \\ -0.0416 \\ -0.0725 \\ 0.123 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline & & \\ \hline & & \\ \hline & & \\ P_5 & P_6 \\ \hline \\ & & \\ \hline \\ \hline$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ 103,642 \qquad 80,277 \\ 2,392 \qquad 1,182 \\ 518,259 \qquad 487,552 \\ 0.029 \qquad 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ 0.146 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_2 \\ 0.9806 \\ -0.1572 \\ -0.1171 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & & & \\ \hline & & \\$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \\ 103.642 \\ 80.277 \\ 2.392 \\ 1.182 \\ 518.259 \\ 487.552 \\ 0.029 \\ 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ 0.146 \\ \hline \\ P_5 \\ P_6 \\ \hline \\ P_5 \\ P_6 \\ \hline \\ \\ D_9806 \\ -0.1572 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} P_5 & P_6 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0.3847 \\ -0.0386 \\ -0.9222 \\ 0.027 \\ \hline & 91,759 \\ \hline & 91,$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c c} \Sigma_2 \\ 0.9335 \\ -0.0592 \\ -0.3536 \\ 0.148 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ 103,642 \qquad 80,277 \\ 2,392 \qquad 1,182 \\ 518,259 \qquad 487,552 \\ 0.029 \qquad 0.025 \\ \hline \Sigma_3 \\ -0.6085 \\ -0.0374 \\ -0.7927 \\ 0.146 \\ \hline \\ P_5 \qquad P_6 \\ \hline \\ \hline \\ \Sigma_2 \\ 0.9806 \\ -0.1572 \\ -0.1171 \\ \hline \end{array}$

D. Messwerte 69

Tabelle D.6.

Laserbox	c: NE41					
			φ	12		
x (mm) y (mm) z (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 377,547 & 189,791 \\ 27,497 & 6,766 \\ 1073,337 & 760,516 \end{array}$	Laser 1 P_3 P_4 46,683 -9,108 521,913	P_5 P_6	$\begin{array}{c cccc} P_1 & P_2 \\ -816,074 & -520,609 \\ -63,792 & -47,806 \\ 650,444 & 520,604 \end{array}$	Laser 2 P_3 P_4 -243,208 -32,787 399,276	P ₅ P ₆
± (mm)	0,028 0,027	0,008		0,007 0,023	0,020	
Fit x y z ± (mm)	u	g	Σ_1 -0,5137 -0,0568 -0,8561 0,041	u	g	Σ_2 0,9147 -0,0495 -0,4011 0,181
Δ_{Σ} (°)	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	·	$\max (\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	-7 -
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =$			± 0,095		
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ -873,795 & -588,662 \\ -3,407 & -5,598 \\ 385,770 & 365,174 \\ 0,015 & 0,022 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Laser 1} \\ P_3 & P_4 \\ -247,307 \\ 8,147 \\ 340,771 \\ 0,025 \end{array}$	P ₅ P ₆	$\begin{array}{c cccc} & & & & & & & \\ & P_1 & & P_2 \\ & 445,317 & 223,134 \\ & 21,888 & 7,333 \\ & 1046,366 & 715,477 \\ \hline & 0,018 & 0,021 \\ \end{array}$	Laser 3 P_3 P_4 75,149 -2,397 494,969 0,027	P ₅ P ₆
Fit x y z ± (mm)	u	g.	Σ_1 0,9974 -0,0075 -0,0716 0,080	и	g	Σ_3 -0,5570 -0,0365 -0,8297 0,029
Δ_{Σ} (°)	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	,	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	0,023
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3) =$			± 0,095		
x (mm) y (mm) z (mm)	$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 \\ 421,293 & 236,759 \\ 57,664 & 25,770 \\ 1051,928 & 755,006 \end{array}$	Laser 2 P_3 P_4 83,165 -0,929 508,147	φ	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Laser 3 P_3 P_4 -227,791 7,321 421,965	P ₅ P ₆
± (mm)	0,020 0,025	0,029		0,030 0,030	0,016	
Fit x y z ± (mm)	u	b	Σ_1 -0,5258 -0,0911 -0,8457	u	g	Σ_2 0,9252 -0,1169 -0,3610
Δ_{Σ} (°)	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	0,083	$\max(\angle(\Sigma, u), \angle(\Sigma, u))$	g)) =	0,054
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2) =$		99,824	± 0,095		
Laserbox	c: NE56		LO.	12		
	D D	Laser 1			Laser 2	l n n
x (mm)	P_1 P_2 $491,271$ $466,913$	P_3 P_4 $239,239$ $198,456$	P_5 P_6	$\begin{vmatrix} P_1 & P_2 \\ -791,541 & -767,680 \end{vmatrix}$	$\begin{array}{c cc} P_3 & P_4 \\ -501,940 & -480,133 \end{array}$	$\begin{array}{c cc} P_5 & P_6 \\ -226,887 & 73,422 \end{array}$
y (mm) z (mm) ± (mm)	300,153 286,798 1030,571 997,071 0,022 0,026	162,622 140,372 685,214 629,242 0,023 0,030	46,293 73,422 57,363 72,209 420,912 458,388 0,018 0,021	239,484 229,342 704,416 686,642 0,022 0,028	145,060 137,997 535,865 523,640 0,029 0,019	57,679 72,209 380,389 458,388 0,018 0,021
y (mm) z (mm) t (mm) ### (mm) Fit	1030,571 997,071 0,022 0,026 u -0,5612 -0,3062 -0,7689	162,622 140,372 685,214 629,242 0,023 0,030 g -0,5615 -0,3062 -0,7688	57,363 72,209 420,912 458,388	239,484 229,342 704,416 686,642	145,060 137,997 535,865 523,640	57,679 72,209 380,389 458,388
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \Delta_{\Sigma} \left({}^{\circ} \right) \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ \hline 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline & & & \\ & & &$	162,622 140,372 685,214 629,242 0,023 0,030 g -0,5615 -0,3062 -0,7688	$\begin{array}{c cccc} 57,363 & 72,209 \\ 420,912 & 458,388 \\ \hline 0,018 & 0,021 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0,5613 \\ -0,3062 \\ -0,7689 \\ 0,143 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ccc} 145,060 & 137,997 \\ 535,865 & 523,640 \\ \hline 0,029 & 0,019 \\ \hline & g \\ 0,8388 \\ -0,2665 \\ -0,4747 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
y (mm) z (mm) t (mm) ### (mm) Fit	1030,571 997,071 0,022 0,026 u -0,5612 -0,3062 -0,7689	162,622 140,372 685,214 629,242 0,023 0,030 g -0,5615 -0,3062 -0,7688	$\begin{array}{c cccc} 57,363 & 72,209 \\ 420,912 & 458,388 \\ \hline 0,018 & 0,021 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0,5613 \\ -0,3062 \\ -0,7689 \\ 0,143 \\ \hline & \textbf{91,396} \\ \end{array}$	239,484 229,342 704,416 686,642 0,022 0,028 u 0,8389 -0,2663 -0,4747	$\begin{array}{ccc} 145,060 & 137,997 \\ 535,865 & 523,640 \\ \hline 0,029 & 0,019 \\ \hline & g \\ 0,8388 \\ -0,2665 \\ -0,4747 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \Delta_{\Sigma} \left({}^{\circ} \right) \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ \hline 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline & & & \\ & & &$	162,622 140,372 685,214 629,242 0,023 0,030 g -0,5615 -0,3062 -0,7688	$\begin{array}{c cccc} 57,363 & 72,209 \\ 420,912 & 458,388 \\ \hline 0,018 & 0,021 \\ \hline & \Sigma_1 \\ -0,5613 \\ -0,3062 \\ -0,7689 \\ 0,143 \\ \hline & \textbf{91,396} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ccc} 145,060 & 137,997 \\ 535,865 & 523,640 \\ \hline 0,029 & 0,019 \\ \hline & g \\ 0,8388 \\ -0,2665 \\ -0,4747 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c ccccc} 57,679 & 72,209 \\ 380,389 & 458,388 \\ \hline 0,018 & 0,021 \\ \hline & \Sigma_2 \\ & 0,8389 \\ -0,2664 \\ -0,4747 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (§)} \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ \hline 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline \\ & -0,\!5612 \\ -0,\!3062 \\ -0,\!7689 \\ \hline \\ \max\left(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,u)\right) = \\ \hline \\ P_1 & P_2 \\ -876,\!648 & -835,\!332 \\ 18,\!405 & 17,\!243 \\ 483,\!897 & 476,\!075 \\ 0,\!027 & 0,\!019 \\ \hline \\ & 0,\!9819 \\ -0,\!0289 \\ -0,\!1870 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 162,622 & 140,372 \\ 685,214 & 629,242 \\ \hline 0,023 & 0,030 \\ \hline & g \\ -0,5615 \\ -0,3062 \\ -0,7688 \\ \hline g)) = 0,010 \\ \hline & Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -539,171 & -513,101 \\ 8,443 & 7,918 \\ 419,766 & 414,777 \\ \hline 0,032 & 0,015 \\ \hline & g \\ 0,9820 \\ -0,0289 \\ -0,1865 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} \text{ (°)} \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline \\ u \\ -0,\!5612 \\ -0,\!3062 \\ -0,\!7689 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} = \\ \hline \\ P_1 & P_2 \\ -876,\!648 & -835,\!332 \\ 18,\!405 & 17,\!243 \\ 483,\!897 & 476,\!075 \\ 0,\!027 & 0,\!019 \\ \hline \\ u \\ 0,\!9819 \\ -0,\!0289 \\ -0,\!1870 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} \leq \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 162,622 & 140,372 \\ 685,214 & 629,242 \\ \hline 0,023 & 0,030 \\ \hline & g \\ -0,5615 \\ -0,3062 \\ -0,7688 \\ \hline g)) = 0,010 \\ \hline & Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -539,171 & -513,101 \\ 8,443 & 7,918 \\ 419,766 & 414,777 \\ \hline 0,032 & 0,015 \\ \hline & g \\ 0,9820 \\ -0,0289 \\ -0,1865 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (§)} \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ \hline 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline \\ & -0,\!5612 \\ -0,\!3062 \\ -0,\!7689 \\ \hline \\ \max\left(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,u)\right) = \\ \hline \\ P_1 & P_2 \\ -876,\!648 & -835,\!332 \\ 18,\!405 & 17,\!243 \\ 483,\!897 & 476,\!075 \\ 0,\!027 & 0,\!019 \\ \hline \\ & 0,\!9819 \\ -0,\!0289 \\ -0,\!1870 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 162,622 & 140,372 \\ 685,214 & 629,242 \\ \hline 0,023 & 0,030 \\ \hline & g \\ -0,5615 \\ -0,3062 \\ -0,7688 \\ \hline g)) = 0,010 \\ \hline & Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -539,171 & -513,101 \\ 8,443 & 7,918 \\ 419,766 & 414,777 \\ \hline 0,032 & 0,015 \\ \hline & g \\ 0,9820 \\ -0,0289 \\ -0,1865 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Fit} \\ x \\ y \\ z \\ \pm \text{ (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} \text{ (°)} \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ y \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \text{ (mm)} \\ z \text{ (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ 0,\!022 & 0,\!026 \\ \hline \\ u \\ -0,\!5612 \\ -0,\!3062 \\ -0,\!7689 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} = \\ \hline \\ P_1 & P_2 \\ -876,\!648 & -835,\!332 \\ 18,\!405 & 17,\!243 \\ 483,\!897 & 476,\!075 \\ 0,\!027 & 0,\!019 \\ \hline \\ u \\ 0,\!9819 \\ -0,\!0289 \\ -0,\!1870 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} \leq \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma,u),\angle(\Sigma,z))} \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 162,622 & 140,372 \\ 685,214 & 629,242 \\ \hline 0,023 & 0,030 \\ \hline & g \\ -0,5615 \\ -0,3062 \\ -0,7688 \\ \hline g)) = 0,010 \\ \hline & Laser 1 \\ P_3 & P_4 \\ -539,171 & -513,101 \\ 8,443 & 7,918 \\ 419,766 & 414,777 \\ \hline 0,032 & 0,015 \\ \hline & g \\ 0,9820 \\ -0,0289 \\ -0,1865 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{c} y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \\ \pm \; (mm) \\ \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ \varphi_{13} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ \varphi_{13} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array}$	$\begin{array}{c cccc} 1030,\!571 & 997,\!071 \\ \hline 0,022 & 0,026 \\ \hline & & & & \\ & & 0,\!5612 \\ -0,\!3062 & & \\ -0,\!7689 \\ \hline \text{max} \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma, \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) = \\ \hline \end{array} \right) \\ \begin{array}{c ccccc} P_1 & P_2 \\ -876,\!648 & -835,\!332 \\ 18,\!405 & 17,\!243 \\ 483,\!897 & 476,\!075 \\ 0,\!027 & 0,\!019 \\ \hline & & & \\ & & 0,\!9819 \\ -0,\!0289 & & \\ -0,\!1870 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle(\Sigma,u), \angle(\Sigma, \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_3) = \\ \hline \end{array} \right) \\ \begin{array}{c ccccc} P_1 & P_2 \\ 264,\!369 & 266,\!486 \\ 66,\!269 & 61,\!692 \\ 1091,\!866 & 1050,\!671 \\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$

Tabelle D.7.

Laserbox	: MNE39											
			Lase	or 1		φ_1	2		Las	er 2		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x (mm)	-844,792	-809,981	-475,914		-256,577		344,465	318,699	179,104	162,491	20,014	31,575
y (mm) z (mm)	54,651 576,543	51,317 565,801	19,259 460,939	16,808 $453,282$	-2,047 $392,224$	-4,503 383,547	67,931	62,475 $1028,369$	31,839 772,499	28,268 $742,217$	3,706 535,820	-0,277 $501,188$
± (mm)	0,017	0.018	0.018	0,022	0,022	0.016	0,027	0,016	0,028	0,028	0,023	0.012
Fit	ı	1	g		Σ			1				22
x	-0,4		-0,4	757	-0,4			502	0,9	501		502
у	-0,1		-0,1		-0,1			915	-0,0	914		915
z	-0,8	731	-0,8	734	-0,8		-0,2	978	-0,2	2983	-0,2	
\pm (mm) Δ_{Σ} (°)	may (/(S	$(u), \angle(\Sigma, g)$)) = 0.021		0,2	867	may (/(S	$(u), \angle(\Sigma, g)$	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	7	0,1	142
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1, \Sigma_2)$)) = 0,021			100,519		$(u), \angle(\angle, y)$	<i>j))</i> = 0,01	1		
7.12	1 (17 27					φ_1						
			Lase	er 1		7.1	.3			er 3		
	P ₁	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
y (mm)	-885,379 13,218	-829,939 12,327	-550,897 7,880	524,052 $7,124$	-268,684 2,743	-248,127 $2,472$	466,572 $38,314$	$442,309 \\ 36,412$	225,530 $20,189$	202,247 $18,419$	57,192 7,588	52,877 $7,325$
z (mm)	463,931	452,808	395,642	390,138	338,462	334,132		1007,068	697,011	663,367	456,268	450,172
± (mm)	0,022	0,024	0,015	0,021	0,022	0,018	0,025	0,028	0,029	0,028	0,005	0,027
Fit	ι	1	g	5	Σ	1	1	1		g	Σ	23
x	0,9		0,97	797	0,9'	797	-0,5		-0,5	725	-0,5	725
У	-0,0		-0,0		-0,0		-0,0			1428		1429
± (mm)	-0,1	334	-0,1	990	-0,1 0,2		-0,8	100	-0,8	3188		8188 180
Δ_{Σ} (°)	$\max(\angle(\Sigma, \mathbb{Z}))$	$(u), \angle(\Sigma, g)$)) = 0.015		0,2		$\max(\angle(\Sigma$	$(u), \angle(\Sigma, y)$	g(g) = 0.000	6	. 0,1	
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3)$					113,376						
						φ_2	3					
	D.	D I	Lase		D	D	P	P		er 3	l p	P
x (mm)	P_1 $431,237$	P_2 $400,444$	P_3 236,175	P_4 223,151	P_5 66,100	P_6 52,840	P_1 -851,782	P_2 -816,739	P ₃ -543.838	P_4 -502,791	P_5 -262,889	P_6 -246,223
y (mm)	108,954	100,604	56,512	53,043	10,713	7,337	-99,107	-95,198	-67,102	-62,922	-37,754	-36,379
z (mm)	1052,439	1003,579	741,935	721,178	471,041	450,105	506,879	499,776	443,017	$434,\!184$	384,498	381,169
\pm (mm)	0,027	0,027	0,022	0,029	0,020	0,029	0,023	0,017	0,015	0,017	0,024	0,011
Fit	ı		g	202	Σ			1		g	Σ	22
x y	-0,5 -0,1		-0,5 -0,1		-0,5 -0,1			740 015	0,9	741 004		741 010
z	-0,8		-0,1		-0,1			024		2025		2025
$\pm \text{ (mm)}$					0,1	.02						232
	$\max (\angle(\Sigma, \Sigma))$)) = 0.011			110,940		$(u), \angle(\Sigma, g)$	g(y) = 0.03	1		
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1, \Sigma_2)$											
						110,010	⊥ 0,042					
	: MNW19					,	,					
	: MNW19)	Lase			φ1	2			ser 2		
Laserbox	P ₁	P_2	P_3	P_4	P ₅	φ_1 P_6	2 P ₁	P_2	P_3	P_4	P ₅	P ₆
Laserbox x (mm)	P ₁ 295,225	P_2 277,283	P_3 151,354	P_4 128,301	40,108	$ \frac{\varphi_1}{P_6} $ 24,576	P_1	-855,557	P_3 -592,978	P_4 -555,980	-295,517	-268,376
Laserbox	P ₁	P_2	$\begin{vmatrix} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \end{vmatrix}$	P_4		φ_1 P_6	2 P ₁		P_3	P_4		
x (mm) y (mm)	P ₁ 295,225 -4,084	P_2 277,283 -4,536	$\begin{vmatrix} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \end{vmatrix}$	P_4 128,301 -8,521	40,108 -11,039	φ_1 P_6 24,576 -11,486	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \end{array}$	-855,557 $0,358$	$\begin{vmatrix} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \end{vmatrix}$	P_4 -555,980 -4,975	-295,517 -9,600	-268,376 -10,046
x (mm) y (mm) z (mm)	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023	P ₂ 277,283 -4,536 1065,875 0,026	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline \mathbf{g} \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023	$ \begin{array}{c} \varphi_1 \\ P_6 \\ 24,576 \\ -11,486 \\ 512,623 \\ 0,017 \end{array} $	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u	P ₃ -592,978 -4,418 348,438 0,026	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ \hline 0,017 \\ \hline \mathbf{g} \end{array}$	-295,517 -9,600 330,593 0,022	-268,376 $-10,046$ $329,125$ $0,020$
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023	P ₂ 277,283 -4,536 1065,875 0,026	P ₃ 151,354 -8,000 789,892 0,022	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ \hline 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4154 \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4	$ \varphi_1 $ $ P_6 $ $ 24,576 $ $ -11,486 $ $ 512,623 $ $ 0,017 $ $ C_1 $ $ 4154 $	$\begin{array}{c} P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u 981	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ \hline 0,017 \\ \mathbf{g} \\ 981 \end{array}$	$ \begin{array}{r} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \end{array} $ $ \begin{array}{r} \Sigma \\ 0,9 $	-268,376 -10,046 329,125 0,020 22 981
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023	P ₂ 277,283 -4,536 1065,875 0,026 u 1154 0113	P ₃ 151,354 -8,000 789,892 0,022 -0,4 -0,4	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ \hline 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4154 \\ 0114 \\ \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4 -0,6	φ_1 P_6 $24,576$ $-11,486$ $512,623$ $0,017$ E_1 4154 0114	$ \begin{array}{c c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ \hline 0,021 \\ \end{array} $	-855,557 0,358 363,762 0,020 u	P ₃ -592,978 -4,418 348,438 0,026	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ \hline 0,017 \\ g \\ 981 \\ 0177 \end{array}$	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-268,376 -10,046 329,125 0,020
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023 -0,4 -0,6 -0,5	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 1154 \\ 0113 \\ 0096 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,9 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline g \\ 4154 \\ 0096 \\ \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4 -0,6 -0,5	$ \varphi_1 $ $ P_6 $ $ 24,576 $ $ -11,486 $ $ 512,623 $ $ 0,017 $ $ C_1 $ $ 4154 $	$\begin{array}{c c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u 9981 0176 0596	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 981 0177	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-268,376 -10,046 329,125 0,020 22 981
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline z \ (mm) \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \hline Fit \\ x \\ y \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \ (^{\circ}) \\ \hline \end{array} $	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023 -0,4 -0,6 -0,5	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 11154 \\ 01113 \\ 0096 \\ , u), \angle(\Sigma,g \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,9 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline g \\ 4154 \\ 0096 \\ \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4 -0,6 -0,5	P6 24,576 -11,486 512,623 0,017	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u 1981 0176	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 981 0177	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-268,376 -10,046 329,125 0,020
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023 -0,4 -0,6 -0,5	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 11154 \\ 01113 \\ 0096 \\ , u), \angle(\Sigma,g \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,9 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 128,301 \\ -8,521 \\ 738,941 \\ \hline 0,025 \\ \hline g \\ 4154 \\ 0096 \\ \end{array}$	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4 -0,6 -0,5	P_6 24,576 -11,486 512,623 0,017 -1 4154 1114 9096 2231	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \\ 0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u 9981 0176 0596	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 981 0177	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-268,376 -10,046 329,125 0,020
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline z \ (mm) \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \hline Fit \\ x \\ y \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \ (^{\circ}) \\ \hline \end{array} $	P ₁ 295,225 -4,084 1104,992 0,023 -0,4 -0,6 -0,5	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 11154 \\ 01113 \\ 0096 \\ , u), \angle(\Sigma,g \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0, \\ -0, \\ -0, \\ \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096	40,108 -11,039 546,324 0,023 Σ -0,4 -0,6 -0,5	P6 24,576 -11,486 512,623 0,017	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \\ 0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-855,557 0,358 363,762 0,020 u 9981 0176 0596	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ g) \rangle = 0,02 \\ \end{array} $	P ₄ -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 1177 1589	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-268,376 -10,046 329,125 0,020
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline z \ (mm) \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \hline Fit \\ x \\ y \\ \hline \pm \ (mm) \\ \hline \Delta_{\Sigma} \ (^{\circ}) \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \\ -0,4 \\ -0,5 \\ -0,5 \\ \\ \underline{\times (\Sigma_1, \Sigma_2)} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 0)113 \\ 0)096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0014 9096	40,108 -11,039 546,324 0,023 2 -0,4 -0,0,0,0,0	$egin{array}{c} arphi_0 \\ P_6 \\ 24,576 \\ -11,486 \\ 512,623 \\ 0,017 \\ \hline C_1 \\ 1154 \\ 00114 \\ 0096 \\ 231 \\ \hline \\ & & \\ & $	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \end{array}$	-855,557 $0,358$ $363,762$ $0,020$ 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array} $ Las	P ₄ -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 981 1017 0589	-295,517 -9,600 330,593 0,022 Σ 0,9 -0,0 -0,0 0,1	-268,376 -10,046 329,125 0,020
Laserbox x (mm) y (mm) z (mm) \pm (mm) Fit x y z \pm (mm) Δ_{Σ} (°) φ_{12}	$\begin{array}{c c} \text{::} & \text{MNW18} \\ \hline P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline & \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 1154 \\ 01113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,(-0,(-0,0)) = 0,003 \\ \\ Lasse \\ P_3 \\ -491,383 \\ \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737	$ \begin{vmatrix} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \end{vmatrix} $ $ \begin{vmatrix} \Sigma \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,5 \end{vmatrix} $ $ \begin{vmatrix} P_5 \\ -264,675 \end{vmatrix} $	$egin{array}{c} arphi_0 \\ P_6 \\ 24,576 \\ -11,486 \\ 512,623 \\ \hline 0,017 \\ \hline C_1 \\ 4154 \\ 1114 \\ 9096 \\ 231 \\ \hline \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,021\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ \text{u} \\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \overline{C},u),\angle(\Sigma,\\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ 0,0\\ -0,(\\ -0,(\\ g)) = 0,02 \\ \\ \end{array}$	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1917 1917 19589 22	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ \hline 0,020 \\ \hline \vdots \\ 981 \\ 1176 \\ 1592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ \end{array}$
Laserbox x (mm) y (mm) z (mm) \pm (mm) Fit x y z \pm (mm) Δ_{Σ} (°) φ_{12} x (mm) y (mm)	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,9 \\ \hline \\ \left(\angle{\left(\Sigma, \times, \times,$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ u \\ 1154 \\ 01096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ -0,9 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ -0,0,0,1 \\ \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 512,623 0,017 -1 1154 0114 0096 231	$\begin{array}{c} P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \pm \textbf{0},\textbf{025} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ \\ 0\\ 1981 \\ 0)176 \\ 0)596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{ c c c } \hline P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \end{array} $ Las $ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	P_4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 981 177 589 22 er 3 P_4 177,853 7,241	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ \hline 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 0)176 \\ 0592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} \textbf{Laserbox} \\ \textbf{x} \ (\text{mm}) \\ \textbf{y} \ (\text{mm}) \\ \textbf{z} \ (\text{mm}) \\ \textbf{\pm} \ (\text{mm}) \\ \hline \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ \textbf{\pm} \ (\text{mm}) \\ \hline \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \boldsymbol{\varphi} 12 \\ \\ \textbf{x} \ (\text{mm}) \\ \textbf{y} \ (\text{mm}) \\ \textbf{z} \$	$\begin{array}{c} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2))} \\ \frac{\angle(\Sigma_1, \Sigma_2)}{\angle(\Sigma_1, \Sigma_2)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ 0,2 \\ \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 512,623 0,017	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ 0\\ \pm \textbf{0},025\\ \end{array}$	-855,557 $0,358$ $363,762$ $0,020$ 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_4 $-555,980$ $-4,975$ $346,179$ $0,017$ g 9981 0177 0589 022 0998	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	-268,376 -10,046 329,125 0,020 2-2 981 0176 01592 184
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \hline \varphi 12 \\ \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ \hline \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ 0,2 \\ \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -1 1154 1114 -0096 231	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,020 \\ 0,0596 \\ C,u),\angle(\Sigma, \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array}$ $\begin{array}{c c} C_3 \\ C_4 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_7 \\ C_8 \\ C_8 \\ C_8 \\ C_8 \\ C_8 \\ C_8 \\ C_9 \\ C_8 \\ C_9 \\$	P_4 $-555,980$ $-4,975$ $346,179$ $0,017$ g 1981 10177	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline \\ 0,024 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 0)176 \\ 0)592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ 0,019 \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{::} \ \mathbf{MNW18} \\ \hline P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 1154 \\ 01113 \\ 0096 \\ , \mathbf{u}), \angle(\Sigma, g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \mathbf{u} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,(-0,(-0,0)) \\ = 0,003 \\ \hline \\ Lass \\ P_3 \\ -491,383 \\ -31,020 \\ 426,935 \\ 0,015 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220	40,108 -11,039 546,324 0,023 -0,4 -0,6 -0,5 0,2 -264,675 -22,807 380,259 0,019	P_6 24,576 -11,486 512,623 0,017	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,025 \\ \hline \\ 3 \\ 27,027 \\ 1076,009 \\ 0,024 \\ \hline \end{array}$	-855,557 $0,358$ $363,762$ $0,020$ 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \end{array}$	P_4 $-555,980$ $-4,975$ $346,179$ $0,017$ g 9981 0177 0589 022 0998	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline \\ 0,024 \\ \hline \\ $	-268,376 -10,046 329,125 0,020 -2981 1176 1592 184
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \hline \varphi 12 \\ \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r. MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max}\left(\angle(\Sigma, -0, \xi_1, \Sigma_2)\right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \mathbf{u} \\ 1154 \\ 0113 \\ 0096 \\ \mathbf{u} \\ (\mathbf{u}), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \mathbf{u} \\ 1787 \\ 3362 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0, \\ -0, \\ -0, \\ 0, \\ 0, \\ \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -1 1154 1114 0096 231 -111,131	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 1\\ 379,783\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\\hline\\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 0476 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c c} 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c c} D_3 \\ \hline 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \end{array} $	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 0177 1589 22 ser 3 P4 177,853 7,241 714,822 0,025 g 1872 4880	$\begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ 0,024 \\ \hline \\ & 20,000 \\ \hline \\ \\ \\ & 20,000 \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,040 -10,0
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \\ \pm \text{(mm)} \\ \\ \\ \\ \Delta_{\Sigma} \text{ (°)} \\ \\ \varphi_{12} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} \text{r. MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max}\left(\angle(\Sigma, -0, \xi_1, \Sigma_2)\right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 01013 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \\ \text{u} \\ 1787 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 1787	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ -0,0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \hline \\ & -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ & 0,0 \\ -0,0.5 \\ \hline \end{array} $	$egin{array}{c} arphi_0 \\ P_6 \\ 24,576 \\ -11,486 \\ 512,623 \\ 0,017 \\ \hline \\ 21,4154 \\ 0,017 \\ \hline \\ 21,114 \\ 0,096 \\ 231 \\ \hline \\ 21,131 \\ \hline \\ P_6 \\ -217,240 \\ -20,891 \\ 370,578 \\ 0,026 \\ \hline \\ 21,787 \\ 0,026 \\ \hline \\ 2019 \\ \hline \\ 2019 \\ \hline \\ 2019 \\ 201$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 1\\ 379,783\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ 0\\ 1981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ \hline 0,024 \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c c} 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \end{array} $ $ \begin{array}{c c} D_3 \\ \hline 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ 0,017 \\ \hline \text{g} \\ 981 \\ 1017 \\ 7589 \\ \hline 22 \\ \hline \\ \text{ser 3} \\ P_4 \\ 177,853 \\ 7,241 \\ 714,822 \\ 0,025 \\ \hline \text{g} \\ 1872 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ 0,024 \\ \hline \\ \hline \\ \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -10,0
X (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) ± (mm) Δ _Σ (°) φ12 x (mm) z (mm) z (mm) z (mm) ± (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \times (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 10113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 362 \\ 2020 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,($	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ -0,0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \hline \\ & -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ & 0,0 \\ -0,0.5 \\ \hline \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -1 1154 1114 0096 231 -111,131	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ \\ 0.981 \\ 0.0176 \\ 0.026 \\ \hline 0.020 \\ \hline 0.024 \\ \hline 0$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,(\\ -0,(\\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,(\\ -0$	P ₄ -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 1)177 1)589 22 22 3	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ 0,024 \\ \hline \\ \hline \\ \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,040 -10,0
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \\ \pm \text{ (mm)} \\ \\ \\ \\ \frac{1}{2} \\ \\ \\ \\ \\ \frac{1}{2} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} \text{r: MNW15} \\ \hline \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle(\Sigma, \Sigma_2)\right) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 1362 \\ 2020 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,($	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ -0,0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \hline \\ & -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ & 0,0 \\ -0,0.5 \\ \hline \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 512,623 0,017 -11454 0014 0096 231	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\\hline\\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 0476 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,(\\ -0,(\\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ D_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,(\\ -0$	P ₄ -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 1)177 1)589 22 22 3	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ 0,024 \\ \hline \\ \hline \\ \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -2981 -1176 -1592 -184 -17,360 -5,884 -17,599 -19,019 -23 -3874 -477,599 -19,019 -23 -3874 -477,99
X (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) ± (mm) Δ _Σ (°) φ12 x (mm) z (mm) z (mm) z (mm) ± (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \times (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 1362 \\ 2020 \\ ,u), \angle(\Sigma,g) \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,(-0,($	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ & -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ -0,0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \hline \\ & -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ & 0,0 \\ -0,0.5 \\ \hline \end{array} $	P_6 P_7 P_7 P_8 P_9	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,i \\ -0,i \\ -0,025 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ \\ 0.981 \\ 0.0176 \\ 0.026 \\ \hline 0.020 \\ \hline 0.024 \\ \hline 0$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,(\\ -0,(\\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ D_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,(\\ -0$	P ₄ -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 1)177 1)589 22 22 3	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ 0,024 \\ \hline \\ \hline \\ \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -2981 -1176 -1592 -184 -17,360 -5,884 -17,599 -19,019 -23 -3874 -477,599 -19,019 -23 -3874 -477,99
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \\ \pm \text{ (mm)} \\ \\ \\ \\ \frac{1}{2} \\ \\ \\ \\ \\ \frac{1}{2} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} \text{c: MNW15} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,(\\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \text{max} (\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)) \\ \hline \\ \\ max (\angle(\Sigma_1,\Sigma_2),\Sigma_2) \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,02 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787 3372 22018	40,108 -11,039 546,324 0,023 -0,4 -0,6 -0,5 0,2 -264,675 -22,807 380,259 0,019 Σ 0,9 0,0 -0,2 0,2	$egin{array}{c} arphi_1\\ P_6\\ 24,576\\ -11,486\\ 512,623\\ \hline 0,017\\ \hline \\ 21\\ 4154\\ 0114\\ 9096\\ 231\\ \hline \\ 111,131\\ \hline \\ \varphi_1\\ \hline \\ P_6\\ -217,240\\ -20,891\\ 370,578\\ \hline 0,026\\ \hline \\ 21\\ 787\\ 3361\\ 2019\\ 298\\ \hline \\ 107,624\\ \hline \\ \varphi_2\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ \\ u \\ 981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ \\ u \\ 1877 \\ 0476 \\ 8717 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \end{array} $	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \\ Las \\ \end{array} $	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 1177 1589 22 22 22 26 3667 37,241 714,822 0,025 g 1872 3480 38720 360	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline \\ 0,024 \\ \hline \\ $	-268,376 -10,046 -10,046 329,125 0,020 -2 981 10176 -15,92 184
$ \begin{array}{c} \text{Laserbox} \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \\ \varphi 12 \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \hline \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta \Sigma \text{ (°)} \\ \\ \hline \\ \varphi 13 \\ \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2, \Sigma_1))} \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2, \Sigma_1))} \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2, \Sigma_1))} \\ \hline \\ \\ \max{(\angle(\Sigma, -2, \Sigma_1))} \\ \hline \\ \\ \\ P_1 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1013 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 3372 2018	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ P_5 \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	P_6	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \\ \hline \\ 0,021 \\ \\ \hline \\ max (\angle (\Sigma \pm 0,025) \\ 3 \\ P_1 \\ 379,783 \\ 27,027 \\ 1076,009 \\ 0,024 \\ \\ \hline \\ \\ -0,,\\ -0,,\\ -0,,\\ -0,3 \\ \hline \\ \hline \\ max (\angle (\Sigma \pm 0,052) \\ 3 \\ \hline \\ P_1 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 0476 \\ 8717 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,(\\ -0,-\\ -0,-\\ g)) = 0,02 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,-\\ -0,-\\ -0,-\\ -0,-\\ -0,-\\ -1,-\\ -$	P_4 $-555,980$ $-4,975$ $346,179$ $0,017$ g 9981 0177 017	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ \Sigma \\ -0,4 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	$-268,376$ $-10,046$ $329,125$ $0,020$ -2 981 1176 1592 184 P_6 $45,360$ $-5,884$ $477,599$ $0,019$ -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \pm \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^\circ) \\ \varphi 12 \\ \hline \\ x \ (mm) \\ x \ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^\circ) \\ \hline \\ \varphi 13 \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max}\left(\angle\left(\Sigma, \Sigma_2\right)\right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \\ \left(\Sigma_1, \Sigma_2\right) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ 269,309 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6,-0,6 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,-0,10 \\ -0,10 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,032 \\ \hline \\ 155,709 \\ \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 1787 3372 2018	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ -0,5 \\ 0,7 \\ \hline \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -14154 111,131 -211 -211,131 -211 -21,240 -20,891 370,578 0,026 -1787 361 2019 298 -107,624 -26,891 -27,89	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,022 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,023 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,024 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,034 \\ 0,044 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,0$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 1981 \\ 0176 \\ 0596 \\ C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 68717 \\ C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -53,841 \\ \\ \end{array} $	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 0177 1589 22 22 36er 3 P4 177,853 7,241 714,822 0,025 g 1872 480 8720 60 6er 3 P4 -505,134	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -10,0
$ \begin{array}{c c} \textbf{Laserbox} \\ \textbf{x} & (mm) \\ \textbf{y} & (mm) \\ \textbf{z} & (mm) \\ & \pm & (mm) \\ \hline \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ & \pm & (mm) \\ \hline \textbf{y} & (mm) \\ \textbf{y} & (mm) \\ \textbf{z} & (mm) \\ \textbf{z} & (mm) \\ \textbf{z} & (mm) \\ \textbf{x} & (mm) \\ \hline \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ & \pm & (mm) \\ \hline \textbf{\Delta} \Sigma & (^{\circ}) \\ \hline \textbf{\varphi} 13 \\ \hline \\ \textbf{x} & (mm) \\ \textbf{y} & (mm) \\ \textbf{y} & (mm) \\ \hline \textbf{y} & (mm) \\ \textbf{y} & (mm) \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{c: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ (\Sigma_1,\Sigma_3) \\ \hline \\ \\ max (\angle(\Sigma_1,\Sigma_3)) \\ \hline \\ \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 1362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 9787 3372 22018 er 2 P ₄ 119,907 24,104	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ -0,4 \\ -0,0 \\ 0,2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ 0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Gamma \\ -1,03 \\ \end{array} \\ \begin{array}{$	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -14154 -111,431 -14154 -2096 -231	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \hline \\ \frac{\pm}{2}0,025\\ \hline \\ 3\\ 27,025\\ \hline \\ 379,783\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \hline \\ -0,-0,-0,0\\ -0,1\\ 23\\ \hline \\ \frac{\pm}{2}0,052\\ \hline \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ 0\\ 981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 1877 \\ 0476 \\ 8717 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ \end{array} $	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ \hline 758,138 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ \\ D,026 \\ \hline \\ \\ & 0,04 \\ \hline \\ & 0,04 \\ \hline$	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 10177 10589 22 22 22 24 177,853 7,241 714,822 0,025 g 1872 0480 8720 00 6er 3 P4 -505,134 38,006	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,1 \\ \hline \\ -0,1 \\ \hline \\ -0,24 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ -0,1 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,1 \\ \hline \\ -1,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ -1,0 $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2981 \\ 10176 \\ 0592 \\ 184 \\ \hline \\ P6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3 \\ 1874 \\ 1478 \\ 1719 \\ 1887 \\ \hline \\ P6 \\ -221,259 \\ 6,129 \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \pm \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^\circ) \\ \varphi 12 \\ \hline \\ x \ (mm) \\ x \ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^\circ) \\ \hline \\ \varphi 13 \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max}\left(\angle\left(\Sigma, \Sigma_2\right)\right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \\ \left(\Sigma_1, \Sigma_2\right) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ 269,309 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 1787 3372 2018	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ -0,5 \\ 0,7 \\ \hline \end{array} $	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -14154 111,131 -211 -211,131 -211 -21,240 -20,891 370,578 0,026 -1787 361 2019 298 -107,624 -26,891 -27,89	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -909,908 \\ 1,211 \\ 367,258 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,021 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,022 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,023 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,024 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,034 \\ 0,044 \\ \hline \\ 1,211 \\ 0,0$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 1981 \\ 0176 \\ 0596 \\ C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 68717 \\ C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -53,841 \\ \\ \end{array} $	P4 -555,980 -4,975 346,179 0,017 g 1981 0177 1589 22 22 36er 3 P4 177,853 7,241 714,822 0,025 g 1872 480 8720 60 6er 3 P4 -505,134	$ \begin{array}{c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -10,0
$ \begin{array}{c c} \textbf{Laserbox} \\ \textbf{x} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ \textbf{z} \ (mm) \\ \textbf{\pm} \ (mm) \\ \hline \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ \textbf{\pm} \ (mm) \\ \hline \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \boldsymbol{\varphi} 12 \\ \hline \\ \textbf{x} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ \textbf{z} \ (mm) \\ \hline \textbf{Eit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ \textbf{\pm} \ (mm) \\ \hline \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \boldsymbol{\varphi} 13 \\ \hline \\ \textbf{x} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ \textbf{z} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ \textbf{z} \ (mm) \\ \textbf{y} \ (mm) \\ $	$\begin{array}{c} \text{r. MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2), (\Sigma_1, \Sigma_2))} \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -2), (\Sigma_1, \Sigma_2), (\Sigma_1, \Sigma_2))} \\ \hline \\ (\angle(\Sigma, -2), (\Sigma_1, \Sigma_2), (\Sigma$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 7787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,6,-0,6 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,2,-0,6 \\ 0,030 \\ \hline \\ -0,2,-0,6 \\ \hline \\ -0,2,-0,6 \\ \hline \\ -0,2,-0,2 \\ \hline \\ -0,2$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 1787 3372 2018	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ -0,5 \\ 0,7 \\ \hline \\ \end{array} $	P_6 P_7	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$ \begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ \hline 0,020 \\ \\ 0\\ 1981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ \\ 0\\ 4877 \\ 0476 \\ 8717 \\ \hline \\ C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \hline \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ \end{array} $	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,(-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ 0,017 \\ \hline g \\ 1981 \\ 0177 \\ 0589 \\ 22 \\ \\ 22 \\ \\ 37,241 \\ 714,822 \\ 0,025 \\ \hline g \\ 1872 \\ 0480 \\ 8720 \\ \\ 38,006 \\ 429,897 \\ 0,024 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ F_5 \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ \Sigma \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ -251,998 \\ 9,781 \\ 372,573 \\ \hline 0,006 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ \hline 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 10,76 \\ 5592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ \hline 0,019 \\ \hline \\ 6_3 \\ 1874 \\ 98719 \\ 1887 \\ \hline \\ P_6 \\ -221,259 \\ 6,129 \\ 365,882 \\ \end{array}$
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \pm \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ x \ (mm) \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ x \ (mm$	$\begin{array}{c} \text{c: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle(\Sigma, \Sigma_2) \right) \\ \hline P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle(\Sigma, \Sigma_2) \right) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ 1107,453 \\ \hline \\ 0,026 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 1362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 19378 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0, \\ -0, \\ -0, \\ -0, \\ 0,0 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 1372 22018 er 2 P ₄ 119,907 24,104 713,569 0,026 g 3976	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ -0,\epsilon \\ -0,\epsilon \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,\epsilon \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,\epsilon \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ 0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,0.5 \\ 0,0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \Sigma \\$	P_6 24,576 -11,486 -11,486 -512,623 0,017 -14154 -1154 -1114 -2096 -231	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 5476 \\ 8717 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ 0,023 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,(-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	P_4 $-555,980$ $-4,975$ $346,179$ $0,017$ g 1981 10177	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 20,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ 0,1 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -251,998 \\ 9,781 \\ 372,573 \\ \hline \\ 0,006 \\ \hline \\ 0,9 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ \hline \\ $	-268,376 -10,046 -10,046 -10,046 -10,046 -10,020 -10,0
$ \begin{array}{ c c c } \hline Laserbox \\ \hline & x & (mm) \\ y & (mm) \\ z & (mm) \\ \hline & \pm & (mm) \\ \hline & Fit \\ x & y \\ z & \pm & (mm) \\ \hline & \Delta \Sigma & (^{\circ}) \\ \hline & \varphi_{12} \\ \hline \\ & x & (mm) \\ y & (mm) \\ \pm & (mm) \\ \hline & Fit \\ x & y \\ z & \pm & (mm) \\ \hline & \Delta \Sigma & (^{\circ}) \\ \hline & \varphi_{13} \\ \hline \\ & x & (mm) \\ y & (mm) \\ z & (mm) \\ z & (mm) \\ \hline & x & (mm) \\ y & (mm) \\ z & (mm) \\ \hline & Fit \\ x & y \\ \hline \\ & Fit \\ x & y \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle (\Sigma_1,\Sigma_2) \right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle (\Sigma_1,\Sigma_2) \right) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ 1107,453 \\ 0,026 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 7787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 3978 \\ 8877 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 0372 2018 er 2 P ₄ 119,907 24,104 713,569 0,026 g 3976 0870	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ 549,878 \\ 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ Q_{-0,1} \\ 0,013 \\ \hline \\ \end{array} $	P_6 $24,576$ $-11,486$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 5476 \\ 8717 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ 0,023 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,(-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ 0,017 \\ \hline g \\ 1981 \\ 0177 \\ 0589 \\ 22 \\ \\ 22 \\ \\ 37,241 \\ 714,822 \\ 0,025 \\ \hline g \\ 1872 \\ 0480 \\ 8720 \\ \\ 38,006 \\ 429,897 \\ 0,024 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 58,170 \\ -4,373 \\ 501,089 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ \Sigma \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ -251,998 \\ 9,781 \\ 372,573 \\ \hline 0,006 \\ \hline \\ \Sigma \\ 0,99 \\ -0,1 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 1176 \\ 1592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3\\ 1874 \\ 4478 \\ 1719 \\ 1887 \\ \hline \\ P_6 \\ -221,259 \\ 6,129 \\ 365,882 \\ 0,006 \\ \hline \\ 2\\ 696 \\ 0.076 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{ c c c } \hline Laserbox \\ \hline & x & (mm) \\ y & (mm) \\ z & (mm) \\ \hline & \pm & (mm) \\ \hline & Fit \\ x & y \\ & \pm & (mm) \\ \hline & \Delta \Sigma & (°) \\ \hline & \varphi_{12} \\ \hline \\ & x & (mm) \\ y & (mm) \\ & \pm & (mm) \\ \hline & \Sigma & \\ & \pm & (mm) \\ \hline & & \Sigma & \\ & & \times & \\ & & & \times & \\ & & \times & \\ & & & &$	$\begin{array}{c} \text{r: MNW18} \\ P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle (\Sigma_1,\Sigma_2) \right) \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ 506,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \text{max} \left(\angle (\Sigma_1,\Sigma_2) \right) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ 1107,453 \\ 0,026 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ \hline 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 9096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 1362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \hline \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 19378 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 1372 22018 er 2 P ₄ 119,907 24,104 713,569 0,026 g 3976	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ 549,878 \\ 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ -0,5 \\ -0,6, \\$	P_6 24,576 -11,486 -11,486 512,623 0,017 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -1154 -1114 -115	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \\ \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 0,9\\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ 1076,009\\ 0,024\\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 5476 \\ 8717 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ 0,023 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,(-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ 0,017 \\ \hline g \\ 1981 \\ 0177 \\ 0589 \\ 22 \\ \\ 22 \\ \\ 37,241 \\ 714,822 \\ 0,025 \\ \hline g \\ 1872 \\ 0480 \\ 8720 \\ \\ 38,006 \\ 429,897 \\ 0,024 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 1176 \\ 0592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ 0,019 \\ \hline \\ 2\\ 3874 \\ 4478 \\ 8719 \\ 187 \\ \hline \\ P_6 \\ -221,259 \\ 6,129 \\ 365,882 \\ 0,006 \\ \hline \\ 2\\ 696 \\ 0.076 \\ 1196 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c c} Laserbox \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \ (mm) \\ \Delta \Sigma \ (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ (mm) \\ \hline \\ Eit \\ mm \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} \text{c: MNW15} \\ \hline P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ -566,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,\zeta \\ \hline \\ (-1,\Sigma_3) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ 1107,453 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,0,\xi \\ -0,\xi $	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 7787 \\ 362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 3978 \\ 8877 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 0372 2018 er 2 P ₄ 119,907 24,104 713,569 0,026 g 3976 0870	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ 549,878 \\ 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ -0,5 \\ -0,6, \\$	P_6 $24,576$ $-11,486$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,i\\ -0,i\\ \hline \\ max (\angle(\Sigma\\ \pm 0,025\\ \hline \\ 3\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \hline \\ -0,i\\ -0,i\\ 12\pm 0,052\\ \hline \\ 3\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \hline \\ -1\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 1$	$\begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 9981 \\ 0176 \\ 0596 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 5476 \\ 8717 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ 0,023 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 3)) = 0,02 \\ \hline \\ p_3 \\ 436,493 \\ 0,022 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ \hline 0,017 \\ \mathbf{g} \\ 9981 \\ 9177 \\ 9589 \\ 22 \\ \hline \\ 22 \\ \hline \\ 3P_4 \\ 177,853 \\ 7,241 \\ 714,822 \\ \hline 0,025 \\ \mathbf{g} \\ 1872 \\ 480 \\ 8720 \\ \hline \\ 20 \\ \hline \\ 3P_4 \\ -505,134 \\ 38,006 \\ 429,897 \\ \hline 0,024 \\ \mathbf{g} \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 1176 \\ 1592 \\ 184 \\ \hline \\ P_6 \\ 45,360 \\ -5,884 \\ 477,599 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3\\ 1874 \\ 4478 \\ 1719 \\ 1887 \\ \hline \\ P_6 \\ -221,259 \\ 6,129 \\ 365,882 \\ 0,006 \\ \hline \\ 2\\ 696 \\ 0.076 \\ \hline \end{array}$
$ \begin{array}{c} \textbf{Laserbox} \\ \textbf{x (mm)} \\ \textbf{y (mm)} \\ \textbf{z (mm)} \\ \textbf{\pm (mm)} \\ \hline \\ \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ \textbf{\pm (mm)} \\ \hline \\ \textbf{\Delta} & \textbf{\Sigma} & (^{\circ}) \\ \hline \\ \textbf{y (mm)} \\ \textbf{z (mm)} \\ \textbf{\pm (mm)} \\ \hline \\ \textbf{Fit} \\ \textbf{x} \\ \textbf{y} \\ \textbf{z} \\ \textbf{\pm (mm)} \\ \hline \\ \textbf{\Delta} & \text{\Sigma} & (^{\circ}) \\ \hline \\ \textbf{\varphi} & \textbf{13} \\ \hline \\ \textbf{x (mm)} \\ \textbf{y (mm)} \\ \textbf{z (mm)} \\ z$	$\begin{array}{c} \text{c: MNW15} \\ \hline P_1 \\ 295,225 \\ -4,084 \\ 1104,992 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ (-0,\xi) \\ (-0,\xi) \\ \hline \\ P_1 \\ -876,562 \\ -45,402 \\ -566,556 \\ 0,014 \\ \hline \\ 0,9 \\ 0,0 \\ -0,\zeta \\ \hline \\ (-1,\Sigma_3) \\ \hline \\ P_1 \\ 291,274 \\ 62,087 \\ 1107,453 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,0,\xi \\ -0,\xi $	$\begin{array}{c} P_2 \\ 277,283 \\ -4,536 \\ 1065,875 \\ 0,026 \\ \text{u} \\ 1154 \\ 1113 \\ 0096 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \begin{array}{c} P_2 \\ -819,344 \\ -43,736 \\ 494,708 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 1787 \\ 3362 \\ 2020 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \begin{array}{c} P_2 \\ 269,309 \\ 56,994 \\ 1057,161 \\ 0,025 \\ \text{u} \\ 3978 \\ 8877 \\ 1133 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 151,354 \\ -8,000 \\ 789,892 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-0,-$	P ₄ 128,301 -8,521 738,941 0,025 g 4154 0114 9096 er 1 P ₄ -438,737 -29,038 416,220 0,018 g 7787 0372 2018 er 2 P ₄ 119,907 24,104 713,569 0,026 g 3976 0870	$ \begin{array}{c c} 40,108 \\ -11,039 \\ 546,324 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ -264,675 \\ -22,807 \\ 380,259 \\ 0,019 \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ 549,878 \\ 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ P_5 \\ 48,431 \\ 8,570 \\ -0,5 \\ -0,6, \\$	P_6 $24,576$ $-11,486$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -909,908\\ 1,211\\ 367,258\\ 0,021\\ \hline \\ 0,0\\ -0,i\\ -0,i\\ \hline \\ max (\angle(\Sigma\\ \pm 0,025\\ \hline \\ 3\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \hline \\ -0,i\\ -0,i\\ 12\pm 0,052\\ \hline \\ 3\\ 27,027\\ 1076,009\\ 0,024\\ \hline \\ -1\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 10\\ 1$	$ \begin{array}{c} -855,557 \\ 0,358 \\ 363,762 \\ 0,020 \\ 0\\ 981 \\ 0176 \\ 0596 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ P_2 \\ 345,369 \\ 23,694 \\ 1014,593 \\ 0,024 \\ 0\\ 4877 \\ 0476 \\ 8717 \\ \hline C,u),\angle(\Sigma,\\ \\ \\ P_2 \\ -823,613 \\ 73,171 \\ 502,108 \\ 0,023 \\ 0\\ \end{array} $	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -592,978 \\ -4,418 \\ 348,438 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 201,964 \\ 9,545 \\ 758,138 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 3)) = 0,02 \\ \hline \\ p_3 \\ 436,493 \\ 0,022 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -555,980 \\ -4,975 \\ 346,179 \\ \hline 0,017 \\ \mathbf{g} \\ 9981 \\ 9177 \\ 9589 \\ 22 \\ \hline \\ 22 \\ \hline \\ 3P_4 \\ 177,853 \\ 7,241 \\ 714,822 \\ \hline 0,025 \\ \mathbf{g} \\ 1872 \\ 480 \\ 8720 \\ \hline \\ 20 \\ \hline \\ 3P_4 \\ -505,134 \\ 38,006 \\ 429,897 \\ \hline 0,024 \\ \mathbf{g} \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -295,517 \\ -9,600 \\ 330,593 \\ 0,022 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -268,376 \\ -10,046 \\ -10,046 \\ 329,125 \\ 0,020 \\ \hline \\ 2\\ 981 \\ 1176 \\ 1592 \\ 184 \\ \\ \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ $

D. Messwerte 71

Tabelle D.8.

Laserbox	: MSW09	1										
			т			φ_1	2		т	. 0		
	P_1	P_2	Lase P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	er 2 P_4	P_5	P_6
x (mm)	319,577	293,199	164,157	147,887	34,855	21,061	-866,795	-811,357	-548,436	-496,492	-277,610	-249,265
y (mm)	80,735	73,769	39,648	35,451	5,609	1,806	46,704	42,081	20,017	15,676	-2,362	-4,754
$\frac{z \text{ (mm)}}{\pm \text{ (mm)}}$	1095,015 0,026	0.027	784,061 0.029	751,337 0,027	0.008	497,139 0,027	548,284 0.005	532,873 0,020	460,839 0.024	0,028	386,418 0,013	378,536 0,019
Fit		- /	-,		-,	0,027	-,		- / -			
Y X		u 1437	-0,4	g 432		1 1435		1 612	0.9	g 612	0,9	8_{2}
у	-0,1		-0,1			171		0801	-0,0		-0,0	
z	-0,8	8885	-0,8	8887		8886	-0,2	2641	-0,2	2639	-0,1	
± (mm)	(//5	\ /(\(\nabla\))) 0.010		0,1	162	((/)		// 0.00	-	0,1	.42
$\frac{\Delta_{\Sigma} (^{\circ})}{\varphi_{12}}$	$\max (\angle(\Sigma_1, \Sigma_2))$	$(u), \angle(\Sigma, g)$)) = 0,018			100 504	± 0.023	$(x,u), \angle(\Sigma,y)$	(g)) = 0.003	5		
712												
			Lase	er 1		φ_1	.3 		Las	er 3		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x (mm)	-898,757	-818,318	-564,584			-234,646	413,333	372,025	211,814	181,518	70,054	55,857
y (mm) z (mm)	44,719 401,280	40,859 $390,413$	27,210 356,566	24,522 $349,880$	12,047 318,377	10,094 $312,881$	61,595 1059,791	56,326 $992,183$	35,413 728,217	31,530 $678,495$	17,136 494,412	15,264 $471,124$
\pm (mm)	0,023	0,015	0,018	0,011	0,015	0,019	0,022	0,027	0,027	0,012	0,028	0,025
Fit	1	1		Š	Σ	21	1	1		g	Σ	12
x	0,9	899	0,9	899		899	-0,5	5178		5176	-0,5	178
У	-0,0		-0,0			0520	-0,0			0672	-0,0	
± (mm)	-0,1	.317	-0,1	.315		1316 239	-0,8	3528	-0,8	3530	-0,8 0,1	
Δ_{Σ} (°)	max (∠(Σ	$(u), \angle(\Sigma, g)$	(0.013)		1 0,2		max (∠(Σ	$(x, u), \angle(\Sigma, y)$	(g) = 0.01	1	0,1	
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3)$. ,			113,379	\pm 0,024	,, , ,				
						φ_2	3					
	P_1	P_2	Lase P_3	er 2 P_4	P-	D-	p.	P_2	Las P_3	er 3 P_4	P_5	D -
x (mm)	429,603	394,913	249,676	220,800	P_5 90,725	P_6 $72,681$	P_1 -872,361	-824,030		-497,001	-281,678	P_6 -245,272
y (mm)	98,021	90,021	54,660	47,850	15,889	11,581	1,870	1,092	-1,878	-2,924	-5,596	-6,002
z (mm)	1046,565	990,349	754,605	707,870	496,124	467,578	486,918	477,827	428,497		377,775	371,083
\pm (mm)	0,027	0,019	0,028	0,028	0,009	0,009	0,024	0,016	0,025	0,010	0,013	0,026
Fit		1		g Soor	Σ			1	3	g	Σ	
x y	-0,5 -0,1		-0,5 -0,1			5203 1263		833)124	0,9	833)121	0,9	
z	-0,1		-0,8			3446		.817		.814	-0,1	
$\pm \text{ (mm)}$,		,			232			İ		0,2	
Δ_{Σ} (°)		$(u), \angle(\Sigma, g)$	()) = 0.026			110.000	$\frac{\max(\angle(\Sigma))}{\pm 0.042}$	$(x,u), \angle(\Sigma,y)$	(g)) = 0.010	6		
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)$	=				110,900	± 0.042					
	· M/SW/20						, -					
Laserbox	: MSW29					φ_1						
Laserbox			Lase				2		Las			
	P_1	P_2	P_3	P_4	P ₅	P_6	2 P ₁	P ₂	P_3	P_4	P ₅	P ₆
x (mm)	P_1 306,238	P_2 284,019	P_3 141,080	P_4 121,721	35,520	P_6 22,917	P_1 -829,735	-770,178	P_3 -517,496	P_4 -478,541	-281,393	-248,444
x (mm) y (mm) z (mm)	P_1	P_2	P_3	P_4		P_6 22,917 -2,515 494,385	2 P ₁		P_3	P_4		
x (mm) y (mm)	P_1 306,238 17,257	P_2 284,019 15,635	P_3 141,080 5,766	P_4 121,721 4,289	35,520 -1,827	P_6 22,917 -2,515	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -829,735 \\ -3,899 \end{array}$	-770,178 -4,261	P_3 -517,496 -6,143	P_4 -478,541 -6,649	-281,393 -7,854 384,994 0,017	-248,444 -8,145 371,629 0,023
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline \mathbf{g} \end{array}$	35,520 $-1,827$ $521,112$ $0,014$	$\begin{array}{c} P_6 \\ 22,917 \\ -2,515 \\ 494,385 \\ \hline 0,020 \\ \hline \\ \hline \\ 2_1 \end{array}$	P_1 -829,735 -3,899 609,179 0,025	-770,178 -4,261 584,851 0,017	P ₃ -517,496 -6,143 481,304 0,026	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015	-281,393 -7,854 384,994 0,017	-248,444 -8,145 371,629 0,023
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x	P_1 306,238 17,257 1085,523 0,029	P_2 284,019 15,635 1038,743 0,019	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline \mathbf{g} \\ 1323 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025 \end{array}$	-770,178 -4,261 584,851 0,017	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \end{array}$	P_4 -478,541 -6,649 465,566 0,015	-281,393 -7,854 384,994 0,017 Σ	-248,444 -8,145 371,629 0,023
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ \hline 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ \end{array}$	P_2 284,019 15,635 1038,743 0,019	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline \mathbf{g} \\ 1323 \\ 1301 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_6 \\ 22,917 \\ -2,515 \\ 494,385 \\ \hline 0,020 \\ \hline \\ \hline \\ 2_1 \end{array}$	2 P ₁ -829,735 -3,899 609,179 0,025	-770,178 -4,261 584,851 0,017	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015	-281,393 -7,854 384,994 0,017	-248,444 -8,145 371,629 0,023
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ \hline 0,029 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \end{array}$	P_2 284,019 15,635 1038,743 0,019 1323 1304 1012	$\begin{array}{ c c c }\hline P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\\hline 0,022 \\\hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline g \\ 3323 \\ 3301 \\ 0012 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 0303	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \end{array}$	-770,178 -4,261 584,851 0,017 1 256 0067 8785	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 8783	$\begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-248,444 -8,145 371,629 0,023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -1)^2)} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ \hline 0,019 \\ 1\\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$\begin{array}{ c c c }\hline P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\\hline 0,022 \\\hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline g \\ 3323 \\ 3301 \\ 0012 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₆ 22,917 -2,515 494,385 0,020 C ₁ 1323 303 2012 665	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -829,735 \\ -3,899 \\ 609,179 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \\ \end{array}$	-770,178 -4,261 584,851 0,017	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 8783	$\begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	-248,444 -8,145 371,629 0,023
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ \hline 0,029 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ \hline 0,019 \\ 1\\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$\begin{array}{ c c c }\hline P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\\hline 0,022 \\\hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\\hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 121,721 \\ 4,289 \\ 700,479 \\ \hline 0,027 \\ \hline g \\ 3323 \\ 3301 \\ 0012 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 3323 3033 3012 165 $93,377$	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm 0,020)} \end{array}$	-770,178 -4,261 584,851 0,017 1 256 0067 8785	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 8783	$\begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	-248,444 -8,145 371,629 0,023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, -1)^2)} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ \hline 0,019 \\ 1\\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$\begin{array}{ c c c }\hline P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\\hline 0,022 \\\hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\\hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 1323 1301 10012	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₆ 22,917 -2,515 494,385 0,020 C ₁ 1323 303 2012 665	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm 0,020)} \end{array}$	-770,178 -4,261 584,851 0,017 1 256 0067 8785	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 257 1069 1783	$\begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array}$	-248,444 -8,145 371,629 0,023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ \hline 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \hline \\ 0\\ 1323 \\ 3304 \\ 9012 \\ \vdots \\ p_2 \\ P_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 323 3301 10012 er 1 P ₄	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 323 3303 2012 665 $93,377$ φ_1	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \max{(\angle(\Sigma\\ \pm\ 0,020)}\\ 3\\ P_1\\ \end{array}$	$-770,178$ $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0.067 1785 $1, u), \angle(\Sigma, y)$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \end{array} $ Las	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 257 0069 1783 9	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \end{array} $	-248,444 -8,145 371,629 0,023 22 256 0068 1784 -88
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \vdots \\ 323 \\ 304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3333 3301 0012 er 1 P ₄ -473,284	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & P_5 \\ -286,840 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3033 1012 165 $93,377$ φ_1 P_6 -247,686	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)\\ \pm 0,020}\\ 3\\ \end{array}$	$-770,178$ $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0067 3785 $2, u), \angle(\Sigma, y)$ $480,007$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 1069 1783 9 er 3 P ₄ 265,626	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	-248,444 -8,145 371,629 0,023 -2 256 0068 1784 .88
$\begin{array}{c} x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max\left(\angle\left(\Sigma,\frac{1}{2}\right)\right)\\ \angle\left(\Sigma_1,\Sigma_2\right)\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \vdots \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \vdots \\ u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 0012 er 1 P ₄ -473,284 1,989	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ 0,0 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -86,840 \\ 0,933 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 I_1 1323 3003 1012 165 $93,377$ φ_1	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \max{(\angle(\Sigma\\ \pm\ 0,020)}\\ 3\\ P_1\\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1256	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \end{array} $	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 257 0069 1783 g	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,00 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 18,063 \\ -0,893 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \vdots \\ 323 \\ 304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3333 3301 0012 er 1 P ₄ -473,284	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & P_5 \\ -286,840 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3033 1012 165 $93,377$ φ_1 P_6 -247,686	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm\ 0,020)}\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ \end{array}$	$-770,178$ $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0067 3785 $2, u), \angle(\Sigma, y)$ $480,007$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 1069 1783 9 er 3 P ₄ 265,626	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $	-248,444 -8,145 371,629 0,023 -2 256 0068 1784 .88
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ 0,013 \\ \hline \\ & \\ \hline \\ & \\ \\ \\ & \\ \\ \\ & \\ \hline \\ \\ & \\ \\ \\ \\$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3012 165 $93,377$ φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)}\\ \pm 0,020\\ 3\\ \hline \\ 3\\ \hline \\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \end{array}$	$-770,178$ $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 3785 1 $2,u),\angle(\Sigma,y)$ $480,007$ $-0,997$ $981,984$ $0,029$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \end{array}$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 0078 0079	$ \begin{array}{c c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ \hline 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $ $ \begin{array}{c c} \Sigma \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \end{array} $ $ \begin{array}{c c} P_5 \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline 0,023 \\ \hline \end{array} $	-248,444 $-8,145$ $371,629$ $0,023$ 0.023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \max{(\angle(\Sigma, \overline{\Sigma}_1, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 4012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 1 \\ 887 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\))) = 0,011 \\ \hline \\ & Lase \\ P_3 \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ & 0,9 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 9012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline \\ & 0,013 \\ \hline \\ & \Sigma \\ \hline \\ & 0,9 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_1 1323 3003 1012 165 P_2 6-247,686 0,810 345,569 0,025 P_3 888	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max\left(\angle\left(\Sigma\right)\\ \pm 0,020\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1256 1256 1256 136 148 158	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ \end{array}$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 9069 g	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ 0,023 \\ \hline \\ \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ \hline 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_2)}\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ \hline 0,015\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 1012 \\ \vdots \\ \nu_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 323 303 3001 2012 665 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 C_1 888 888	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm0,020)}\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0067 1785 1	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ \end{array} $	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 257 0069 007	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0,068 \\ 1784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3 \\ 978 \\ 001 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \max{(\angle(\Sigma, \overline{\Sigma}_1, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 1012 \\ \vdots \\ \nu_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 9012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ \hline \\ & -0,0 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_1 1323 3003 1012 165 P_2 6-247,686 0,810 345,569 0,025 P_3 888	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm0,020)}\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1256 1256 1256 136 148 158	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ \end{array} $	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 9069 g	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ 0,023 \\ \hline \\ \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 1784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3978 \\ 0001 \\ 0016 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ \hline 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max\left(\angle\left(\Sigma,\Sigma\right)\right)\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ \hline \\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,1\\ \hline \\ \\ \max\left(\angle\left(\Sigma,\Sigma\right)\right)\\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{c} 0 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ \hline \\ & -0,0 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 -1 1323 3303 10012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 -21 888 80040 492 236	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -829,735 \\ -3,899 \\ 609,179 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,025 \\ \pm 0,020 \\ 3 \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3 \\ \hline \\ 1030,170 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,000 \\ -0,8 \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	-770,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0067 1785 1	$\begin{array}{c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ B_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 257 0069 3783 99 er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 5979 002 6016	-281,393 -7,854 384,994 0,017 Σ 0,99 -0,0 -0,3 0,1 18,063 -0,893 496,716 0,023 Σ 18,063 -0,693 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 1784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3978 \\ 0001 \\ 0016 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_1, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$ $\begin{array}{c} 0 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ \hline \\ & -0,0 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 C_1 888 0040	$\begin{array}{c} 2 \\ P_1 \\ -829,735 \\ -3,899 \\ 609,179 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,025 \\ \pm 0,020 \\ 3 \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3 \\ \hline \\ 1030,170 \\ 0,022 \\ \hline \\ 0,000 \\ -0,8 \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 3) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\angle(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ \\ max (\Delta(\Sigma \\ \pm 0,020 \\ 4) \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1256 0067 3785 1785 187 198	$\begin{array}{c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ B_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 257 0069 3783 99 er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 5979 002 6016	-281,393 -7,854 384,994 0,017 Σ 0,99 -0,0 -0,3 0,1 18,063 -0,893 496,716 0,023 Σ 18,063 -0,693 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 1784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3978 \\ 0001 \\ 0016 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ \hline 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max\left(\angle\left(\Sigma,\Sigma\right)\right)\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ \hline \\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,1\\ \hline \\ \\ \max\left(\angle\left(\Sigma,\Sigma\right)\right)\\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 1323 3301 1012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 888	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ \hline \\ & -0,0 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 -1 1323 3303 10012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 -21 888 80040 492 236	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \\ \max\left(\angle(\Sigma\\ \pm\ 0,020\\ 3\\ \hline \\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ -0,5\\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \\ \max\left(\angle(\Sigma\\ \pm\ 0,028\\ \hline \end{array}\right)$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1256 0067 3785 1785 187 198	$\begin{array}{c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \\ g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \\ \hline \\ 0,5 \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \\ g)) = 0,00 \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 8783 9 er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 g 9979 002	-281,393 -7,854 384,994 0,017 Σ 0,99 -0,0 -0,3 0,1 18,063 -0,893 496,716 0,023 Σ 18,063 -0,693 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -0,5 0,00 -	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 1784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 3978 \\ 0001 \\ 0016 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,9 \\ \hline \\ max\left(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)\right) \\ \hline P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ max\left(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)\right) \\ \hline \\ max\left(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)\right) \\ \hline \\ \\ max\left(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)\right) \\ \hline \\ \\ max\left(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)\right) \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \vdots \\ u), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\)) = 0,011 \\ \hline \\ & Lase \\ P_3 \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\)) = 0,021 \\ \hline \\ & Lase \\ Lase \\ & -0,0 \\ \hline \\ \\ \\ & -0,0 \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 1323 3301 1012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 888 1039 489	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ \hline \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,1 \\ \hline \\ -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline \\ 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 S_1 1323 3303 3012 165 $93,377$ φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 S_1 888 1040 492 236 S_2 118,132	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \pm 0,020\\ 3\\ \hline \\ max\left(\angle(\Sigma\pm0,020\\ 3\\ -0,5\\ 0,00\\ -0,5\\ 0,0\\ 0,0\\ 2\\ \hline \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 3785 1 2785 1 2785 2785 2785 2885 2885 2885 2885 3885	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ & -0,5 \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 1069 16783 g er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 g 1979 199 1979 1979 1979 1979 1979 197	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ $	-248,444 -8,145 371,629 0,023 22 256 0068 1784 -88 -0,899 471,622 0,019 -3 978 0001 -0016 -0991
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,09 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_3) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ \hline 0,019 \\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ \\ = \\ \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ \hline 0,022 \\ 1887 \\ 0040 \\ 496 \\ \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ 386,946 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 1323 3301 1012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 1039 489	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & 96,653 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 C_1 888 04492 236 118,132 φ_2	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ \hline \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1256 10067 13785 13785 14785 15785	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ g) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ -717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -0,5 \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 1783 9 er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 g 9979 002 6016 7	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ 20,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,2 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0068\\ 1784\\ -88\\ \\ \hline \\ P_6\\ 99,348\\ -0,899\\ 471,622\\ 0,019\\ \hline \\ 2019\\ \hline \\ 2019\\ \hline \\ 222,234\\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ 42,147 \\ \hline \\ 0,015 \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \vdots \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 040 \\ 496 \\ \vdots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 1323 3301 1012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 888 1039 4489 er 2 P ₄ 180,271 20,511	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline \\ & 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ & \\ \hline \\ & \\ & \\ \hline \\ & \\ & \\ \hline \\ & \\ &$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_1 1323 3303 3012 165 P_1 P_2 -247,686 0,810 345,569 0,025 P_2 P_3 118,132 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 -247,686 0,810 P_7	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \pm 0,020\\ 3\\ \hline \\ max(\angle(\Sigma\pm0,020)\\ 3\\ -0,3\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ -0,5\\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ max(\angle(\Sigma\pm0,028)\\ 3\\ \hline \\ 1.889,403\\ 123,146\\ \hline \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 3785 1 2785 1 2785 2785 2785 2785 2785 2885	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,5 \\ 0,00 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -0,58,202 \\ \hline \\ 67,978 \\ \hline \end{array}$	P ₄ -478,541 -6,649 465,566 0,015 g 2257 0069 8783 9 er 3 P ₄ 265,626 -0,905 695,257 0,028 g 9979 002 1016 7 er 3 P ₄ -481,047 55,234	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 2-0,5 \\ 0,00 \\ -0,8 \\ 0,2 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0068\\ 1784\\ -88\\ \hline \\ P_6\\ 99,348\\ -0,899\\ 471,622\\ 0,019\\ \hline \\ 3\\ 978\\ 0001\\ 1016\\ 291\\ \hline \\ P_6\\ -222,234\\ 12,087\\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_1, \Sigma_2)}\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,0\\ -0,1\\ \hline \\ \\ (\Sigma_1, \Sigma_3)\\ \hline \\ P_1\\ 413,351\\ 64,019\\ 1054,978\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 4012 \\ \dots \\ 2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \dots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ 1 \\ = \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ 0,022 \\ \hline \\ & \begin{array}{c} -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 0339 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & 96,653 \\ 4,949 \\ 549,191 \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 -1 1323 3303 3012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 -21 888 8040 492 236 118,132 φ_2 P_6 75,420 0,780 515,064	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm 0,020)}\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ \\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\\ \pm 0,028)}\\ 3\\ \hline \\ P_1\\ -889,403\\ 3\\ 123,146\\ 380,191\\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1256 0067 0785 178	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -558,202 \\ 67,978 \\ 364,143 \\ \end{array}$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 257 0069 007 0069 007	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ 20,05 \\ 0,00 \\ -0,8 \\ 0,2 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444 \\ -8,145 \\ 371,629 \\ 0,023 \\ \hline \\ 2256 \\ 0068 \\ 784 \\ -88 \\ \hline \\ P_6 \\ 99,348 \\ -0,899 \\ 471,622 \\ 0,019 \\ \hline \\ 2978 \\ 001 \\ 0016 \\ 0191 \\ \hline \\ P_6 \\ -222,234 \\ 12,087 \\ 348,655 \\ \end{array}$
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ & \varphi_{13} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_1, \Sigma_2)}\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,0\\ -0,1\\ \hline \\ \\ (\Sigma_1, \Sigma_3)\\ \hline \\ P_1\\ 413,351\\ 64,019\\ 1054,978\\ \hline \\ 0,023\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 4012 \\ \dots \\ 2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \dots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ 1 \\ = \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ 0,024 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ 0,022 \\ \hline \\ & \begin{array}{c} -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,4 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,154 \\ -1,15$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 3039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline 0,013 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ & -96,653 \\ 4,949 \\ 549,191 \\ \hline \\ & 0,027 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 -1 1323 3003 1012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 -1 888 0040 492 236 118,132 φ_2 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,93\\ -0,0\\ -0,3\\ \hline \max{(\angle(\Sigma \pm 0,020)}\\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ &0\\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \pm 0,020)}\\ 0$	$\begin{array}{c} -70,178 \\ -4,261 \\ 584,851 \\ \hline 0,017 \\ \text{i} \\ 256 \\ 0067 \\ 8785 \\ \hline s,u),\angle(\Sigma,\underline{\cdot}) \\ P_2 \\ 480,007 \\ -0,997 \\ 981,984 \\ \hline 0,029 \\ \text{i} \\ 8978 \\ 001 \\ 8017 \\ \hline s,u),\angle(\Sigma,\underline{\cdot}) \\ P_2 \\ -825,704 \\ 112,461 \\ 377,029 \\ \hline 0,018 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -5,58,202 \\ 67,978 \\ 364,143 \\ \hline 0,027 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -478,541 \\ -6,649 \\ 465,566 \\ 0,015 \\ \mathbf{g} \\ 257 \\ 0069 \\ 0069 \\ 0069 \\ 0069 \\ 0070 \\ 0$	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ & 0,5 \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline & 0,023 \\ \hline \\ & 0,5 \\ 0,00 \\ -0,89 \\ 0,2 \\ \hline \\ & 0,5 \\ 0,00 \\ -1,542 \\ 0,00 \\ -1,542 \\ 0,006 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0068\\ 1784\\ -88\\ \\ \hline \\ P_6\\ 99,348\\ -0,899\\ 471,622\\ \hline 0,019\\ \hline \\ 3\\ 978\\ 001\\ 1016\\ 291\\ \\ \hline \\ P_6\\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ \hline 0,014\\ \end{array}$
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,015 \\ \hline \\ (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ (\lambda_1,\lambda_2) \\ (\lambda_2,\lambda_3) \\ \hline \\ P_1 \\ 413,351 \\ 64,019 \\ 1054,978 \\ 0,023 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ \hline 0,019 \\ 1323 \\ 304 \\ 0012 \\ \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ \hline 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 0040 \\ 496 \\ \\ \vdots \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ \hline 0,024 \\ 1 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 3323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 888 8039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024 g	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ 0,013 \\ \hline \\ & 0,99 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,6 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,0$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 C_1 1323 3012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 C_1 888 04492 236 118,132 φ_2 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024 C_1	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max(\angle(\Sigma\\ \pm0,020\\ \hline \\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \\ \pm0,028\\ \hline \\ 3\\ \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1256 1067 13785 14785 15785	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \\ & 0,5 \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \\ \end{array}$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 1783 9 $er 3$ P_4 $265,626$ $-0,905$ $695,257$ $0,028$ g 1979	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0068\\ 1784\\ -88\\ \hline \\ P_6\\ 99,348\\ -0,899\\ 471,622\\ 0,019\\ \hline \\ 2016\\ 191\\ \hline \\ P_6\\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ 0,014\\ \hline \\ 22\\ \end{array}$
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1\\ 306,238\\ 17,257\\ 1085,523\\ 0,029\\ \hline \\ -0,4\\ -0,0\\ -0,9\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_1, \Sigma_2)}\\ \hline \\ P_1\\ -887,531\\ 3,394\\ 442,147\\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,0\\ -0,1\\ \hline \\ \\ (\Sigma_1, \Sigma_3)\\ \hline \\ P_1\\ 413,351\\ 64,019\\ 1054,978\\ \hline \\ 0,023\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \vdots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ = \\ \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ 0,024 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ $	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ 0,022 \\ \hline \\ & \begin{array}{c} -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,4 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} -1,154 \\ -1,15$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 \$\frac{8}{3}\$ 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 \$\frac{8}{2}\$ 888 8039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024 \$\frac{8}{2}\$ 2277	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ \hline \\ & 0,013 \\ \hline \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ \\ & -0,5 \\ \hline \\ & -0,5 \\ \hline \\ \\ & -0,5 \\ \hline \\ \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 -1 1323 3003 1012 165 93,377 φ_1 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 -1 888 0040 492 236 118,132 φ_2 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max(\angle(\Sigma\\ \pm0,020\\ \hline \\ 3\\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \\ \pm0,028\\ \hline \\ 3\\ \\ \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 3785 1 2785 1 2785 2785 2785 2785 2785 2885	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \\ g)) = 0,00 \\ \\ \hline \\ B_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -0,58,202 \\ \hline \\ 67,978 \\ 364,143 \\ \hline 0,027 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ \end{array}$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 1783 9 $er 3$ P_4 $265,626$ $-0,905$ $695,257$ $0,028$ g 1979	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ -0,5 \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 256,041 \\ 17,542 \\ 350,293 \\ 0,006 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0068\\ 1784\\ -88\\ \hline \\ P_6\\ 99,348\\ -0,899\\ 471,622\\ 0,019\\ \hline \\ 3\\ 978\\ 0001\\ 0016\\ 291\\ \hline \\ P_6\\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ 0,014\\ \hline \\ 2854\\ \hline \end{array}$
$\begin{array}{c} \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{mm} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{z (mm)} \\ z (m$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma, \Sigma_2))} \\ \hline \\ P_1 \\ 42,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ 1054,978 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 4012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \vdots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ 1 \\ = \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ 0,024 \\ 1 \\ 1281 \\ 1985 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ 0,022 \\ \hline \\ & \begin{array}{c} 0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,4 \\ -0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,4 \\ -0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,4 \\ -0,0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,23 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,23 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,9 \\ -1,154 \\ 27,385 \\ 741,474 \\ 0,019 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,019 \\ -0,019 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0,019 \\ \end{array} \\ $	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 3039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024 g 5277	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ 0,013 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,6 \\ -0,1 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,5 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,-0,1 \\ 0,2 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_1 1323 3012 165 93,377 P_1 P_2 -247,686 0,810 345,569 0,025 P_2 118,132 P_3 118,132 P_4 P_5 75,420 0,780 515,064 0,024 P_5 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ 0,025\\ \hline \\ 0,020\\ -0,3\\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma\pm0,020)}\\ 3\\ \hline \\ P_1\\ 515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ 0,022\\ \hline \\ \\ 0,0\\ -0,8\\ \hline \\ \\ \max{(\angle(\Sigma\pm0,028)}\\ 3\\ \hline \\ P_1\\ -889,403\\ 123,146\\ 380,191\\ 0,015\\ \hline \\ \\ 0,9\\ -0,1\\ \hline \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 3785 1 2785 1 2785 2785 2785 2785 2785 2885	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -558,202 \\ 67,978 \\ 364,143 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,1 \\ \hline \end{array} $	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 8783 g g $er 3$ g $er 3$ g	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0,068\\ 1784\\ -88\\ \\ \\ -88\\ \\ \\ -978\\ 0,019\\ \\ -0,019\\ \\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ 0,014\\ \hline \\ 2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -3\\ \\ $
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ 43,351 \\ 64,019 \\ 1054,978 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,03 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1\\ 323 \\ 304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1\\ 887 \\ 0040 \\ 496 \\ \vdots \\ yu),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ 0,024 \\ 1\\ 3985 \\ 4434 \\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1\\ 1$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\)) = 0,011 \\ \hline \\ Lase \\ P_3 \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ & 0,023 \\ \hline \\ & 0,023 \\ \hline \\ & 1,154 \\ 27,385 \\ 741,474 \\ \hline \\ & 0,019 \\ \hline \\ & -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 3039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024 g 5277	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ 0,013 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,6 \\ -0,1 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,5 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,-0,1 \\ 0,2 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_6 1323 3033 3012 165 93,377 P_6 -247,686 0,810 345,569 0,025 P_6 118,132 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024 P_6 0,024 P_6 0,024	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ & 0,025\\ \hline \\ & 0,020\\ \hline \\ & 3\\ \hline \\ & 1515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ \hline \\ & 0,022\\ \hline \\ & -0,5\\ 0,00\\ -0,8\\ \hline \\ & 20,028\\ \hline \\ & 3\\ \hline \\ & 123,146\\ 380,191\\ \hline \\ & 0,015\\ \hline \\ & 0,9\\ -0,0\\ \hline \end{array}$	-770,178 $-4,261$ $-584,851$ $0,017$ 1 256 $0,067$ 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 13785 1385	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \hline \\ D_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ D_4 \\ \hline \\ D_5 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_6 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 8783 9 $er 3$ P_4 $265,626$ $-0,905$ $695,257$ $0,028$ g 1000 10	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ 118,063 \\ -0,893 \\ 496,716 \\ \hline \\ 0,023 \\ \hline \\ \hline \\ 256,041 \\ 17,542 \\ 350,293 \\ \hline \\ 0,006 \\ \hline \\ \hline \\ \\ 0,906 \\ \hline \\ \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0,068\\ 1784\\ -88\\ \\ \\ -88\\ \\ \\ -978\\ 0,019\\ \\ -0,019\\ \\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ 0,014\\ \hline \\ 2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -3\\ \\ $
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi 12 \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi 13 \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 306,238 \\ 17,257 \\ 1085,523 \\ 0,029 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -887,531 \\ 3,394 \\ 442,147 \\ 0,015 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ 43,351 \\ 64,019 \\ 1054,978 \\ 0,023 \\ \hline \\ 0,03 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 284,019 \\ 15,635 \\ 1038,743 \\ 0,019 \\ 1 \\ 323 \\ 3304 \\ 0012 \\ \vdots \\ P_2 \\ -836,484 \\ 3,176 \\ 434,250 \\ 0,022 \\ 1 \\ 887 \\ 1040 \\ 496 \\ \vdots \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ 1 \\ = \\ \\ P_2 \\ 386,946 \\ 59,283 \\ 1013,156 \\ 0,024 \\ 1 \\ 1 \\ 2281 \\ 1 \\ 1 \\ 985 \\ 4434 \\ yu), \angle(\Sigma,g) \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1$	$\begin{array}{c} P_3 \\ 141,080 \\ 5,766 \\ 741,336 \\ \hline 0,022 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ -0,9 \\ \hline \\)) = 0,011 \\ \hline \\ Lase \\ P_3 \\ -544,397 \\ 2,303 \\ 390,281 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ & 0,023 \\ \hline \\ & 0,023 \\ \hline \\ & 1,154 \\ 27,385 \\ 741,474 \\ \hline \\ & 0,019 \\ \hline \\ & -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 121,721 4,289 700,479 0,027 g 31323 3301 3012 er 1 P ₄ -473,284 1,989 379,711 0,021 g 8888 3039 489 er 2 P ₄ 180,271 20,511 682,729 0,024 g 5277	$\begin{array}{c} 35,520 \\ -1,827 \\ 521,112 \\ 0,014 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -286,840 \\ 0,933 \\ 351,254 \\ 0,013 \\ \hline \\ & -0,0 \\ -0,1 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -0,6 \\ -0,1 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,5 \\ -0,0 \\ -0,1 \\ 0,-0,1 \\ 0,2 \\ \hline \end{array}$	P_6 22,917 -2,515 494,385 0,020 P_1 1323 3033 1012 165 93,377 P_1 P_2 6,247,686 0,810 345,569 0,025 P_2 118,132 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 75,420 0,780 515,064 0,024 P_5 P_6 0,024 P_6 127 P_6 127 P_6 128 P_6 129 138 144	$\begin{array}{c} 2\\ P_1\\ -829,735\\ -3,899\\ 609,179\\ 0,025\\ \hline \\ & 0,025\\ \hline \\ & 0,020\\ \hline \\ & 3\\ \hline \\ & 1515,797\\ -0,939\\ 1030,170\\ \hline \\ & 0,022\\ \hline \\ & -0,5\\ 0,00\\ -0,8\\ \hline \\ & \pm 0,028\\ \hline \\ & 3\\ \hline \\ & P_1\\ -0,5\\ 0,00\\ -0,1\\ \hline \\ & 0,015\\ \hline \\ & 0,015\\ \hline \\ & 0,0\\ \hline \\ & 0,01\\ \hline \\ & 0,0\\ \hline \\ \\ & 0,0\\ \hline \\ \\ & 0,0\\ \hline \\ \\ \end{array}$	-70,178 $-4,261$ $584,851$ $0,017$ 1 256 0067 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 1785 18978	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -517,496 \\ -6,143 \\ 481,304 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \\ \hline \\ D_3 \\ 282,327 \\ -0,977 \\ 717,363 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,00 \\ \hline \\ D_4 \\ \hline \\ D_5 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_6 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ \hline \\ D_7 \\ 0,0 \\$	P_4 $-478,541$ $-6,649$ $465,566$ $0,015$ g 2257 0069 8783 9 $er 3$ P_4 $265,626$ $-0,905$ $695,257$ $0,028$ g 1000 10	$ \begin{array}{c} -281,393 \\ -7,854 \\ 384,994 \\ 0,017 \\ \hline \\ \hline \\ 0,99 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} -248,444\\ -8,145\\ 371,629\\ 0,023\\ \hline \\ 2256\\ 0,068\\ 1784\\ -88\\ \\ \\ -88\\ \\ \\ -978\\ 0,019\\ \\ -0,019\\ \\ -222,234\\ 12,087\\ 348,655\\ 0,014\\ \hline \\ 2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -2\\ \\ -3\\ \\ $

Tabelle D.9.

Laserbox	c: MSE49											
			T	1		φ	12		Т	0		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x (mm)	433,978	400,238	239,553	211,962	76,698	60,412	-857,450	-810,589	-527,716	-452,489	-296,068	-264,619
y (mm)	46,017 1040,229	42,038	23,123	19,683	3,865	1,971 $492,814$	1,054	0,177	-4,639 $428,001$	-5,880 410,871	-8,477	-8,870
$\pm \text{ (mm)}$	0,025	990,976 0,029	755,417 0,027	715,135 0,029	517,043 0,016	0,021	504,845 0,026	493,919 0,020	0,018	0,024	374,633 0,009	367,185 0,011
Fit		1			Σ			1				72
x	-0,5		-0,5	6623	-0,5			740	0.9	3 740		740
У	-0,0	664	-0,0	663	-0,0	664	-0,0	166	-0,0	162	-0,0	164
z	-0,8	240	-0,8	243	-0,8		-0,2	260	-0,2	261		260
$\frac{\pm \text{ (mm)}}{\Delta_{\Sigma}}$ (°)	may (/(S	$,u),\angle(\Sigma,g)$,)) — 0 015		0,1	.43	may (/(S	$(u), \angle(\Sigma, g)$	$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{1}$	1	0,2	265
φ_{12}	$\angle(\Sigma_1, \Sigma_2)$		()) = 0,010	,		111,132	± 0.026	, 4), 2(2, 5	9)) — 0,011			
		·				φ	13					
			Lase	er 1		,			Las	er 3		
()	P ₁	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P ₁	P_2	P_3	P_4	P ₅	P_6
y (mm)	-864,828 -1,208	-802,472 -2,016	-545,369 -5,187	-503,516 -5,597	-285,689 -8,338	-235,632 -8,876	335,929 14,339	309,421 $12,675$	158,199 2,019	143,016 $1,047$	72,460 -3,980	59,907 -4,730
z (mm)	457,991	448,126	408,130	401,665	367,981	360,127		1024,288	718,323	687,739	545,311	520,145
± (mm)	0,028	0,022	0,017	0,028	0,011	0,024	0,029	0,027	0,028	0,019	0,030	0,030
Fit		1	8		Σ			1	Ę		Σ	3
x	0,9		0,98		0,98		-0,4		-0,4		-0,4	
y z	-0,0 -0,1		-0,0 -0,1		-0,0 -0,1		-0,0 -0,8		-0,0 -0,8		-0,0 -0,8	
± (mm)	-0,1		-0,1		0,1		-0,0		-0,0			169
Δ_{Σ} (°)		$,u),\angle(\Sigma,g)$	(0,0) = 0.009)				$,u),\angle(\Sigma,g)$	g(y) = 0.011			
φ_{13}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_3)$) =				107,476	\pm 0,020					
			Lase	er 2		φ	 23		Las	 er 3		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x (mm)	349,140	322,073	195,603	181,110	66,908	47,915	-837,468	-785,794	-516,139	-455,956	-268,373	-235,231
y (mm)	80,817	74,333 $1024,944$	44,136 $785,207$	40,788 $757,862$	13,486 $541,035$	8,740 $505,309$	56,613 570,578	51,935 $554,901$	28,214 $472,442$	23,026 $453,617$	6,454 396,643	3,395 $386,720$
$\frac{z \text{ (mm)}}{\pm \text{ (mm)}}$	0,027	0,028	0,021	0,029	0.030	0,020	0,020	0,024	0,019	0,020	0,025	0,020
Fit		1		3	Σ			1		3	Σ	
x	-0,4		-0,4	638	-0,4	636	0,9		0,9	530	0,9	
у	-0,1	106	-0,1	109	-0,1	108	-0,0	840	-0,0	840	-0,0	840
Z	-0,8	792	-0,8	790	-0,8		-0,2	912	-0,2	912		912
\pm (mm) Δ_{Σ} (°)	max (/(Σ	$,u),\angle(\Sigma,g)$	(0.016)	3	0,1	.50	max (/(Σ	$,u),\angle(\Sigma,g)$	(a) = 0.002	2	0,6	363
φ_{23}	$\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)$		1)) = 0,010	,		100,162		, 4), 2(2),	9)) — 0,002	-		
Laserbox	c: MNE59											
Laserbox	: MNE59		Las	er 1		φ			Las	er 2		
Laserbox	c: MNE59		Las	er 1 P_4	P ₅	φ		P_2	Las P_3	er 2 P4	P ₅	P_6
x (mm)	P_1 310,949	P_2 286,382	P_3 158,538	P_4 134,136	45,130	P_6 28,430	P ₁ -829,284	-776,754	P_3 -477,637	P_4 -450,854	-255,880	-226,041
x (mm) y (mm)	P_1 310,949 13,044	P_2 286,382 11,769	P_3 158,538 5,784	P_4 134,136 4,802	45,130 0,809	P_6 28,430 0,003	$\begin{array}{c c} & & & & & & & & & & & & & & & & & & &$	-776,754 $61,855$	P_3 -477,637 34,288	P_4 -450,854 31,952	-255,880 14,032	-226,041 $11,225$
x (mm) y (mm) z (mm)	P_1 310,949	P_2 286,382	P_3 158,538	P_4 134,136	45,130	P_6 28,430	P ₁ -829,284	-776,754	P_3 -477,637	P_4 -450,854	-255,880	-226,041
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm)	$\begin{array}{c} P_1\\ 310,949\\ 13,044\\ 1082,459\\ 0,026\\ \end{array}$	P_2 286,382 11,769 1030,633 0,019	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \end{array}$	$P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030$	45,130 0,809 521,948 0,027	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \end{array}$	-776,754 61,855 587,885 0,029	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \end{array}$	P_4 -450,854 31,952 455,073 0,023	-255,880 14,032 375,573 0,026	-226,041 11,225 363,278 0,026
x (mm) y (mm) z (mm)	P_1 310,949 13,044 1082,459 0,026	P ₂ 286,382 11,769 1030,633 0,019	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ \hline 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4285 \end{array}$	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \end{array}$	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline & \Sigma \\ 0,9 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \end{array}$	P ₂ 286,382 11,769 1030,633 0,019 u 1284 0198	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ \hline 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4285 \\ 0196 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 C_1 4285 0197	12 P ₁ -829,284 66,220 609,670 0,017	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225 0839	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	P_4 -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 0848	$\begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \end{array}$	P ₂ 286,382 11,769 1030,633 0,019	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,0 \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ \hline 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4285 \end{array}$	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4 -0,0 -0,9	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026	12 P ₁ -829,284 66,220 609,670 0,017	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z	P ₁ 310,949 13,044 1082,459 0,026 -0,4 -0,6 -0,9	P ₂ 286,382 11,769 1030,633 0,019 u 1284 0198	$ \begin{array}{ c c c } \hline P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ \hline 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,9 \\ \hline -0,9 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4285 \\ 0196 \\ 9033 \\ \end{array}$	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4 -0,0 -0,9	P ₆ 28,430 0,003 486,839 0,026 C1 1285 1197 10033 1,57	P_1 -829,284 66,220 609,670 0,017 0,9 -0,(, -0,ξ)	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225 0839	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ \mathbf{g} \\ 226 \\ 848 \\ 8763 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ \end{array}$	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026
x (mm) y (mm) z (mm) ± (mm) Fit x y z ± (mm)	P ₁ 310,949 13,044 1082,459 0,026 -0,4 -0,6 -0,9	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$ \begin{array}{ c c c } \hline P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ \hline 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,9 \\ \hline -0,9 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \hline \mathbf{g} \\ 4285 \\ 0196 \\ 9033 \\ \end{array}$	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4 -0,0 -0,9	P ₆ 28,430 0,003 486,839 0,026 C1 1285 1197 10033 1,57	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ \hline 0,017 \\ \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,5 \end{array}$	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225 0839 3767	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \hline \\ \mathbf{g} \\ 226 \\ 848 \\ 8763 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,0) = 0,007 \\ \end{array} $	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4 -0,0 -0,9	P ₆ 28,430 0,003 486,839 0,026 C1 1285 1197 10033 1,57	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \pm 0,038 \end{array}$	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225 0839 3767	$ \begin{vmatrix} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \end{vmatrix} $ $ \begin{vmatrix} 0\\ 0,9\\ -0,0\\ -0,3 \end{vmatrix} $ $ (0,9) = 0,03 $	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 9763	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \end{array}$	$ \begin{array}{ c c c c } \hline P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ \hline 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ \hline -0,9 \\ \end{array} $	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033	45,130 0,809 521,948 0,027 Σ -0,4 -0,0 -0,9	P ₆ 28,430 0,003 486,839 0,026 C ₁ 12285 10197 10033 157	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \\ 0,9 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ \pm 0,038 \end{array}$	-776,754 61,855 587,885 0,029 u 225 0839 3767	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,2 \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ \end{array} $	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 9763	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 50,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026 0,026
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ \hline 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ P_2 \\ -829,396 \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ r)) = 0,002 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ -548,233 \\ \end{array} $	P4 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \end{array} $	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 C_1 1285 193,067 φ P_6 -238,359	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0,017 \\ -0,0,017 \\ \hline \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 0 225 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 2226 8848 1763 1 er 3 P ₄ 259,095	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 4765 301 P6 98,907
$\begin{array}{c} x \ (mm) \\ y \ (mm) \\ z \ (mm) \\ \pm \ (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2))} \\ \hline P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 0198 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 1)) = 0,007 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ \end{array} $	P_4 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 19196 9033 7 er 1 P_4 -468,040 9,189	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ P_5 \\ -276,331 \\ 5,749 \\ \end{array} $	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 P_1 1285 1197 93,067 P_6 -238,359 4,955	$\begin{array}{c c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 0,017 \\ \hline 0,017 \\ 0,9 \\ -0,\xi \\ \pm 0,038 \\ 13 \\ P_1 \\ 509,620 \\ 22,854 \\ \end{array}$	$-776,754$ $61,855$ $587,885$ $0,029$ u 225 0839 3767 $C, u), \angle(\Sigma, 1)$ P_2 $478,064$ $21,983$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ \end{array} $	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 8848 8763 1 er 3 P_4 $259,095$ $13,042$	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 1843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 1)) = 0,007 \\ \hline \\ Lass \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ \end{array} $	P_4 134,136 4,802 709,789 0,030 g 1285 0196 9033 7 er 1 P_4 -468,040 9,189 368,358	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,9 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 C_1 12285 1197 93,067 φ P_6 -238,359 4,955 337,208	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \pm 0,038\\ 13\\ \hline \\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ \end{array}$	$-776,754$ $61,855$ $587,885$ $0,029$ u 225 0839 3767 $C, u), \angle(\Sigma, V)$ $278,064$ $21,983$ $285,889$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 9843 7765 301 P6 98,907 6,219 470,878
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 1)) = 0,002 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \end{array} $	$P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ 0,030$ g	$\begin{array}{c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ 0,027\\ \hline\\ & -0,6\\ -0,6\\ -0,5\\ 0,1\\ \hline\\ P_5\\ -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ 0,014\\ \hline\end{array}$	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 C_1 12285 1197 93,067 φ P_6 -238,359 4,955 337,208 0,018	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \pm 0,038\\ 13\\ \hline P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \end{array}$	$-776,754$ $61,855$ $587,885$ $0,029$ 225 9839 3767 $C, u), \angle(\Sigma, 1)$ P_2 $478,064$ $21,983$ $985,889$ $0,023$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g g g g 1 1 er 3 P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$	$ \begin{array}{c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \Sigma \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2 226 8843 8765 301 P ₆ 98,907 6,219 470,878 0,023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \end{array}$ $\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 1)) = 0,002 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \end{array} $	P_4 134,136 4,802 709,789 0,030 g 1285 0196 9033 7 er 1 P_4 -468,040 9,189 368,358	$\begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ 0,1 \\ \hline \\ -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ 0,014 \\ \hline \\ \\ \Sigma \\ 0,9 \\ \end{array}$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ C_1 908	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 00,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 13 \\ \hline P_1 \\ 509,620 \\ 22,854 \\ 1028,685 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0,6 \\ \hline \end{array}$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 18767	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g	$ \begin{array}{c c} -25,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,0 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & P_5 \\ 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ 0,025 \\ \hline \\ & \Sigma \\ -0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 226 8843 1765 301
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \mathbf{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 9034 \\ , u), \angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \mathbf{u} \\ 908 \\ 1180 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,8 \\ \hline \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \hline \end{array} $	P_4 134,136 4,802 709,789 0,030 g 1285 0196 9033 7 er 1 P_4 -468,040 9,189 368,358 0,013 g 1908 1179	$\begin{array}{c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ 0,027\\ \hline\\ &-0,6\\ -0,6\\ 0,1\\ \hline\\ &-276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ 0,014\\ \hline\\ &\Sigma\\ 0,9\\ -0,6\\ \end{array}$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ C_1 12285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ C_1 9908 1180	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \pm 0,038\\ 13\\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ \hline 0,029 \\ \mathbf{u} \\ 225 \\ 9839 \\ 8767 \\ \mathbf{z},u),\angle(\Sigma,\underline{} \\ \mathbf{z} \\ 478,064 \\ 21,983 \\ 985,889 \\ \hline 0,023 \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{z} \\ $	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \\ \\ -0,5 \\ -0,6 \\ \end{array} $	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g g g g g 1 1 er 3 P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g g g g g g g g g g g g g g g g g g g	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline & \Sigma \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2 226 8843 8765 301 P ₆ 98,907 6,219 470,878 0,023
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 0)198 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ u \\ 908 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,8 \\ \hline \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ 0,030 \\ \hline \\ g \\ 4285 \\ 0033 \\ \hline \\ 7 \\ \hline \\ er 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ 0,013 \\ \hline \\ g \\ 9908 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline \\ & 0,014 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 C_1 1285 1993,067 φ P_6 -238,359 4,955 337,208 0,018 C_1 1908 01342	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \pm 0,038\\ 13\\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ -0,0\\ -0,0\\ -0,0\\ \end{array}$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 18767	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \\ \\ -0,5 \\ -0,6 \\ \end{array} $	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 1848 1763 1 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g 1 1	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ 0,025 \\ \hline \\ & \sum_{-0,5} -0,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 1765 301
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta_{\Sigma} \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \mathbf{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 9034 \\ , u), \angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \mathbf{u} \\ 908 \\ 1180 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,0) = 0,000 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 10196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 19908 1179 1342	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline \\ & 0,014 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ C_1 12285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ C_1 9908 1180	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 009,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0, \vdots \\ \pm 0,038 \\ \hline 13 \\ P_1 \\ 509,620 \\ 22,854 \\ 1028,685 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0, \vdots \\ -0, 0, -0, 8 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ \hline 0,029 \\ \mathbf{u} \\ 225 \\ 9839 \\ 8767 \\ \mathbf{z},u),\angle(\Sigma,\underline{} \\ \mathbf{z} \\ 478,064 \\ 21,983 \\ 985,889 \\ \hline 0,023 \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{z} \\ $	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 7763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 6246 6051	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline & 0,025 \\ \hline \\ & \sum_{-0,5} -0,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2 226 8843 8765 301 P ₆ 98,907 6,219 470,878 0,023
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)} \\ \hline P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,0) = 0,000 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \end{array}$	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 19908 1179 1342	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline \\ & 0,014 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 21 1285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ C_1 908 0180 0.342 188	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 009,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0, \vdots \\ \pm 0,038 \\ \hline 13 \\ P_1 \\ 509,620 \\ 22,854 \\ 1028,685 \\ 0,027 \\ \hline \\ -0, \vdots \\ -0, 0, -0, 8 \\ \end{array}$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 18767	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 7763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 6246 6051	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline & 0,025 \\ \hline \\ & \sum_{-0,5} -0,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2))} \\ \hline P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \Delta(\Sigma_1,\Sigma_2))} \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0)) = 0,007 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0)) = 0,006 \\ \hline \\ 0) = $	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 1908 1179 1342	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline \\ & 0,014 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 21 1285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ C_1 908 0180 0.342 188	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 00,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ $	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 18767	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ g)) = 0,02 \\ \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 8763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 68051	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline & 0,025 \\ \hline \\ & \sum_{-0,5} -0,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 10198 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ u \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ = \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ \hline 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0,0 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,017 \\ 0,9 \\ -0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,017 \\ $	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 1908 1179 1342 6	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ -0,4 \\ -0,0 \\ 0,1 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} P_5 \\ -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ \begin{array}{c} \Sigma \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ 0,1 \\ \end{array} \\ \end{array} $	P_6 28,430 0,003 486,839 0,026 P_6 1285 1197 93,067 P_6 -238,359 4,955 337,208 0,018 P_6 118,604	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,017$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 1839 18767 1876 187	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ Las \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 2226 8848 8763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 9246 9051	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ 20,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ 0,2 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Eit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ -0,4 \\ -0,0 \\ -0,2 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2))} \\ \hline P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma \\ \Delta(\Sigma_1,\Sigma_2))} \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 1198 \\ 1034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0)) = 0,007 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0)) = 0,006 \\ \hline \\ 0) = $	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 1908 1179 1342	$ \begin{array}{c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ & -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ & -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline \\ & 0,014 \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 00,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ $	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 18767	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,9 \\ \hline \end{array} $	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 226 8848 8763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 68051	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline & 0,025 \\ \hline \\ & \sum_{-0,5} -0,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_3) \\ \hline \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ \hline 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ u \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ 0,9 \\ -0,1 \\ \end{array}$	P ₄ 134,136 4,802 709,789 0,030 g 4285 1196 9033 7 er 1 P ₄ -468,040 9,189 368,358 0,013 g 1908 1342 6 er 2 P ₄ 200,612 19,724	$ \begin{array}{c c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ \\ -276,331 \\ 5,749 \\ 342,257 \\ \hline 0,014 \\ \hline \\ \hline \\ \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ 0,1 \\ \hline \\ \\ \\ 93,817 \\ 1,971 \\ \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ 180 $118,604$ φ P_6 $17,893$ $-0,798$	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline 0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,017$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 1839 1839 18767 1876 187	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ Las \\ P_3 \\ -528,287 \\ 65,082 \\ \end{array}$	P ₄ -450,854 31,952 455,073 0,023 g 2226 8848 8763 1 er 3 P ₄ 259,095 13,042 688,092 0,030 g 9927 9246 9051 5 er 3 P ₄ -475,932 56,415	$ \begin{array}{c c} -25,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ 20,5 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ -1,6 \\ -1,6 \\ -1,7 \\ -1$	-226,041 11,225 363,278 0,026 2226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \hline \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \hline \\ \varphi_{13} \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \\ \frac{1}{2}(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \\ \hline \\ max (\angle(\Sigma_1,\Sigma_2)) \\ \hline \\ \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \hline \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 9180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \hline \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 1285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \hline \\ er 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ \hline 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 9008 \\ 0179 \\ 1342 \\ \hline \\ 6 \\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ φ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ 180 180 180 180 180 180 190	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,017\\ \\ 0,017\\ \hline \\ 13\\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ 0,027\\ \hline \\ 0,027\\ \hline \\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ 23\\ \hline \\ P_1\\ -919,928\\ 131,569\\ 369,289\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ \hline 0,029 \\ u \\ 2225 \\ 9839 \\ 3767 \\ \hline 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ 2478,064 \\ 21,983 \\ 985,889 \\ \hline 0,023 \\ u \\ 5927 \\ 2238 \\ 3051 \\ \hline 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ -860,532 \\ 121,597 \\ 367,309 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \\ Las \\ P_3 \\ -528,287 \\ 65,082 \\ 356,265 \\ \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 8848 8763 1 P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g 9927 1246 8051 5 er 3 P_4 $-475,932$ $56,415$ $354,450$	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline & 0,99 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & -0,5 \\ 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline & 25 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ 0,2 \\ \hline \\ & -258,828 \\ 19,171 \\ 347,420 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2226 8843 7765 301
$\begin{array}{c} & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \text{Fit} \\ & \text{x} \\ & \text{y} \\ & \text{z} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ & \varphi_{12} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ & \text{\pm (mm)} \\ \hline & \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ & \varphi_{13} \\ \hline \\ & \text{x (mm)} \\ & \text{y (mm)} \\ & \text{z (mm)} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ \hline 0,026 \\ \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \\ \frac{1}{2}(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline 0,025 \\ \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ \\ \frac{1}{2}(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \\ \hline \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ \hline \\ 0,026 \\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 9180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,9 \\ \hline \\ 0,0) = 0,000 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0,9 \\ 226,705 \\ 23,765 \\ 767,898 \\ 0,023 \\ \hline \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 1285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \\ \mathbf{er} \ 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ \hline 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 9008 \\ 0179 \\ 1342 \\ \mathbf{g} \\ 200,612 \\ 19,724 \\ 725,346 \\ \hline 0,024 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ \hline 0,027\\ \hline \\ & -0,6\\ -0,6\\ -0,5\\ 0,1\\ \hline \\ & -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ \hline 0,014\\ \hline \\ & & \Sigma\\ 0,9\\ -0,6\\ -0,1\\ 0,1\\ \hline \\ & & P_5\\ 93,817\\ 1,971\\ 1,971\\ 1550,558\\ \hline \\ 0,026\\ \hline \end{array}$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \\ \hline \\ 0,017\\ \\ \hline \\ 0,017\\ \\ \hline \\ 13\\ \hline \\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \\ \hline \\ 0,027\\ \\ \hline \\ 0,027\\ \\ \hline \\ 1028,685\\ 0,027\\ \\ \hline \\ 23\\ \hline \\ P_1\\ -0,0\\ 0,018\\ \\ \hline \\ 369,289\\ 0,018\\ \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ 0,029 \\ \text{u} \\ 2225 \\ 9839 \\ 3767 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ 2478,064 \\ 21,983 \\ 985,889 \\ 0,023 \\ \text{u} \\ 5927 \\ 9238 \\ 8051 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ -860,532 \\ 121,597 \\ 367,309 \\ 0,015 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ D_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \\ g)) = 0,02 \\ \\ \\ Las \\ P_3 \\ -528,287 \\ 65,082 \\ 356,265 \\ \hline 0,018 \\ \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 8848 8763 1 er 3 P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g 100	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline & \Sigma \\ 0,99 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 -2 226 8843 8765 301
$ \begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \times (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,025 \\ \hline \\ (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ (\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ \hline \\ 0,026 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 10198 \\ 0034 \\ , u), \angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ u \\ 908 \\ 1342 \\ , u), \angle(\Sigma,g) \\) = \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ u \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 1285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \\ \mathbf{er} \ 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ \hline 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 9908 \\ 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 1342 \\ \mathbf{g} \\ \\ \mathbf{er} \ 2 \\ P_4 \\ 200,612 \\ 19,724 \\ 725,346 \\ \hline 0,024 \\ \mathbf{g} \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ \hline 0,027\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ \hline 0,014\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -0,0\\ -0,1\\ 0,1\\ \hline \\ 9_3,817\\ 1,971\\ 1,971\\ 550,558\\ \hline \\ 0,026\\ \hline \\ \hline$	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ C_1 1285 197 193 157 $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $94,955$ $93,7,208$ 908 9	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,5\\ \pm 0,038\\ \hline \\ 13\\ \hline P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ -0,6\\ -0,6\\ \pm 0,031\\ \hline \\ 23\\ \hline \\ P_1\\ -919,928\\ 131,569\\ 369,289\\ 0,018\\ \hline \end{array}$	$-776,754$ $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 1839 18767 $15, u), \angle(\Sigma, v)$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ Las \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,8 \\ \hline \\ g)) = 0,02 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -528,287 \\ 65,082 \\ 356,265 \\ 0,018 \\ \hline \end{array}$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 8848 8763 1 $er 3$ P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g 9927 246 8051 5 $er 3$ P_4 $-475,932$ $56,415$ $354,450$ $0,008$ g	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 22 226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_3) \\ \hline \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 9180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,6 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0)) = 0,002 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0)) = 0,006 \\ \hline \\ Las. \\ P_3 \\ 226,705 \\ 23,765 \\ 767,898 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 1285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \\ \mathbf{er} \ 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ \hline 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 9008 \\ 0179 \\ 1342 \\ \mathbf{g} \\ 200,612 \\ 19,724 \\ 725,346 \\ \hline 0,024 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} 45,130 \\ 0,809 \\ 521,948 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ 0,1 \\ \hline \\ \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,017 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,017$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ 0,029 \\ \text{u} \\ 2225 \\ 9839 \\ 3767 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ 2478,064 \\ 21,983 \\ 985,889 \\ 0,023 \\ \text{u} \\ 5927 \\ 9238 \\ 8051 \\ 2,u),\angle(\Sigma,\underline{}\\ -860,532 \\ 121,597 \\ 367,309 \\ 0,015 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ Explication \\ \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ \hline 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \\ 9)) = 0,02 \\ \\ \\ Explication \\ \\ \\ D_3 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	P_4 $-450,854$ $31,952$ $455,073$ $0,023$ g 226 8848 8763 1 er 3 P_4 $259,095$ $13,042$ $688,092$ $0,030$ g 100	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ \hline \\ 20,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ 0,2 \\ \hline \\ \end{array} $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2 226 8843 1765 301
$\begin{array}{c} \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{12} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{\pm (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y} \\ \text{z} \\ \text{\pm (mm)} \\ \Delta_{\Sigma} (^{\circ}) \\ \varphi_{13} \\ \\ \hline \\ \text{x (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{mm} \\ \hline \\ \text{Fit} \\ \text{x} \\ \text{y (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{y (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \text{z (mm)} \\ \hline \\ \text{z (mm)} \\ z (m$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ (-0,5) \\ \hline \\ \max{(\angle(\Sigma)} \\ \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ 0,025 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,1 \\ \hline \\ (-0,1) \\ \hline \\ P_1 \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,5 \\ -0,6 \\ $	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ \hline 0,019 \\ u \\ 1284 \\ 0034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ u \\ 908 \\ 0180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ u \\ 1199 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0)) = 0,000 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -548,233 \\ 10,820 \\ 379,024 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 0)) = 0,006 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ 226,705 \\ 23,765 \\ 767,898 \\ 0,023 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ 0,030 \\ \hline g \\ 2285 \\ 0196 \\ 9033 \\ \hline 7 \\ \hline \\ er 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ 0,013 \\ \hline g \\ 9108 \\ 0179 \\ 1342 \\ \hline \\ 6 \\ \hline \\ er 2 \\ P_4 \\ 200,612 \\ 19,724 \\ 725,346 \\ 0,024 \\ \hline g \\ 5198 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ \hline 0,027\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ \hline 0,014\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -9,8817\\ 1,971\\ 50,558\\ \hline 0,026\\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,0\\ -0,1\\ 0,1\\ \hline \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ C_1 1285 197 193 157 $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $93,067$ $94,955$ $93,7208$ 908 $91,342$ 908 $91,342$ $91,343$ $91,344$	$\begin{array}{c} 12\\ P_1\\ -829,284\\ 66,220\\ 609,670\\ 0,017\\ \hline \\ 0,0\\ -0,0\\ \pm 0,038\\ 13\\ P_1\\ 509,620\\ 22,854\\ 1028,685\\ 0,027\\ \hline \\ -0,0\\ -0,0\\ \pm 0,031\\ \hline \\ 23\\ \hline \\ P_1\\ -919,928\\ 131,569\\ 369,289\\ 0,018\\ \hline \\ 0,9\\ -0,1\\ \hline \end{array}$	-776,754 $61,855$ $587,885$ $0,029$ 1225 1839 1839 1839 18767 1876 187	$\begin{array}{c c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ \hline 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline g)) = 0,03 \\ \\ \hline P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ \hline 0,030 \\ \hline \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline g)) = 0,02 \\ \hline \\ Las \\ P_3 \\ -528,287 \\ 65,082 \\ 356,265 \\ \hline 0,018 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \mathbf{g} \\ 226 \\ 8848 \\ 8763 \\ \hline 1 \\ \hline \\ er \ 3 \\ P_4 \\ 259,095 \\ 13,042 \\ 688,092 \\ 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 927 \\ 9246 \\ 8051 \\ \hline \\ 5 \\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,025 $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2226 8843 1765 801
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ & \\ &$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline \\ 0,025 \\ \hline \\ \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ \hline \\ 0,026 \\ \hline \\ \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \mathbf{u} \\ 12284 \\ 19034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \mathbf{u} \\ 908 \\ 01342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ \mathbf{u} \\ 6199 \\ 8855 \\ 8499 \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline \\$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 4285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \\ \mathbf{er} \ 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 908 \\ 0179 \\ 1342 \\ \mathbf{g} \\ $	$ \begin{array}{c c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ \hline 0,027\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ \hline 0,014\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -9,8817\\ 1,971\\ 50,558\\ \hline 0,026\\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,0\\ -0,1\\ 0,1\\ \hline \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ $93,067$ $93,067$ P_6 $-238,359$ $4,955$ $337,208$ $0,018$ 180 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$ 9 $118,604$	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,038 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ 0,029 \\ u \\ 225 \\ 9839 \\ 3767 \\ \Sigma,u),\angle(\Sigma,\underline{}_{},\underline{}_{},\underline{}_{})$	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ D_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ -0,5 \\ -0,6 \\ 0,018 \\ \hline \\ D_3 \\ 0,018 \\ \hline \\ D_4 \\ D_6 \\ D_7 $	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \mathbf{g} \\ 226 \\ 8848 \\ 8763 \\ \hline 1 \\ \hline \\ er \ 3 \\ P_4 \\ 259,095 \\ 13,042 \\ 688,092 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 927 \\ 1246 \\ 8051 \\ \hline \\ 5 \\ \hline \\ er \ 3 \\ P_4 \\ -475,932 \\ 56,415 \\ 354,450 \\ \hline 0,008 \\ \mathbf{g} \\ 8854 \\ 674 \\ 1327 \\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,025 $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2 226 8843 8765 301 P ₆ 98,907 6,219 470,878 0,023 3 927 2242 8051 261 P ₆ -224,686 13,564 346,240 0,013
$\begin{array}{c} x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi 12 \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \pm \; (mm) \\ \Delta \Sigma \; (^{\circ}) \\ \varphi 13 \\ \\ \hline \\ x \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ y \; (mm) \\ z \; (mm) \\ \pm \; (mm) \\ \hline \\ Fit \\ x \\ y \\ z \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} P_1 \\ 310,949 \\ 13,044 \\ 1082,459 \\ 0,026 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ -0,5 \\ \hline \angle(\Sigma_1,\Sigma_2) \\ \hline \\ \\ P_1 \\ -882,348 \\ 16,790 \\ 424,360 \\ \hline \\ 0,025 \\ \hline \\ \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,1 \\ \hline \\ 401,014 \\ 52,505 \\ 1052,803 \\ \hline \\ 0,026 \\ \hline \\ \\ -0,5 \\ -0,6 \\ -0,8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} P_2 \\ 286,382 \\ 11,769 \\ 1030,633 \\ 0,019 \\ \text{u} \\ 1284 \\ 198 \\ 9034 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ -829,396 \\ 15,650 \\ 417,272 \\ 0,015 \\ \text{u} \\ 908 \\ 9180 \\ 1342 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\)= \\ \\ P_2 \\ 372,363 \\ 47,630 \\ 1006,247 \\ 0,030 \\ \text{u} \\ 5199 \\ 8855 \\ 3499 \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ ,u),\angle(\Sigma,g) \\ \\ (u),(\Sigma,g),(u),(u),(u),(u),(u),(u),(u),(u),(u),(u$	$ \begin{array}{c c} P_3 \\ 158,538 \\ 5,784 \\ 761,113 \\ 0,024 \\ \hline \\ -0,4 \\ -0,5 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ \hline \\ 0,017 \\ \hline \\$	$\begin{array}{c} P_4 \\ 134,136 \\ 4,802 \\ 709,789 \\ 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 4285 \\ 0196 \\ 9033 \\ 7 \\ \\ \mathbf{er} \ 1 \\ P_4 \\ -468,040 \\ 9,189 \\ 368,358 \\ 0,013 \\ \mathbf{g} \\ 908 \\ 0179 \\ 1342 \\ \mathbf{g} \\ $	$ \begin{array}{c c} 45,130\\ 0,809\\ 521,948\\ \hline 0,027\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -276,331\\ 5,749\\ 342,257\\ \hline 0,014\\ \hline \\ \hline \\ P_5\\ -9,8817\\ 1,971\\ 50,558\\ \hline 0,026\\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ 0,0\\ -0,1\\ 0,1\\ \hline \end{array} $	P_6 $28,430$ $0,003$ $486,839$ $0,026$ 1 1285 1197 $93,067$ $93,06$	$\begin{array}{c} P_1 \\ -829,284 \\ 66,220 \\ 609,670 \\ 0,017 \\ \hline \\ 0,0 \\ -0,0 \\ -0,0 \\ 0,038 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{c} -776,754 \\ 61,855 \\ 587,885 \\ 0,029 \\ \mathbf{u} \\ 2225 \\ 9839 \\ 3767 \\ \mathbf{z},u),\angle(\Sigma,\underline{} \\ \mathbf{z}_{1},983 \\ 985,889 \\ 0,023 \\ \mathbf{u} \\ 6927 \\ 9238 \\ 8051 \\ \mathbf{z},u),\angle(\Sigma,\underline{} \\ \mathbf{z}_{1},983 \\ 985,889 \\ 0,003 \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{z}_{1},983 \\ 0,003 \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{z}_{2},880 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},889 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},889 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},889 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},889 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},889 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},895 \\ \mathbf{z}_{3},985 \\ \mathbf{z}_{3},895 \\ \mathbf{z}_{3},985 $	$\begin{array}{c} P_3 \\ -477,637 \\ 34,288 \\ 465,694 \\ 0,027 \\ \hline \\ 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ \hline \\ g)) = 0,03 \\ \\ \\ D_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ 724,517 \\ 0,030 \\ \hline \\ P_3 \\ 285,865 \\ 14,106 \\ -0,5 \\ -0,6 \\ 0,018 \\ \hline \\ D_3 \\ 0,018 \\ \hline \\ D_4 \\ D_6 \\ D_7 $	$\begin{array}{c} P_4 \\ -450,854 \\ 31,952 \\ 455,073 \\ \hline 0,023 \\ \mathbf{g} \\ 226 \\ 8848 \\ 8763 \\ \hline 1 \\ \hline \\ er \ 3 \\ P_4 \\ 259,095 \\ 13,042 \\ 688,092 \\ \hline 0,030 \\ \mathbf{g} \\ 927 \\ 1246 \\ 8051 \\ \hline \\ 5 \\ \hline \\ er \ 3 \\ P_4 \\ -475,932 \\ 56,415 \\ 354,450 \\ \hline 0,008 \\ \mathbf{g} \\ 8854 \\ 674 \\ 1327 \\ \hline \end{array}$	$ \begin{array}{c c} -255,880 \\ 14,032 \\ 375,573 \\ \hline 0,026 \\ \hline \\ & 0,9 \\ -0,6 \\ -0,3 \\ 0,5 \\ \hline \\ & 125,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ 506,890 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ 7,407 \\ \hline 0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,0,025 \\ \hline \\ & 25,452 \\ \hline 0,025 $	-226,041 11,225 363,278 0,026 2226 8843 1765 801

D. Messwerte 73

Tabelle D.10.: Messwerte und Berechnungen für die Insel SW02

Sensorinse	el: SW02		φ_{12} : 95,54	8°	φ_{13} : 118,6	56°	φ_{23} : 104,2	52°
	I	Laserpunkt	e	Ursprung	La	serrichtung	gen	
	P_1	P_2	P_3	L	\hat{l}_1	\hat{l}_2	\hat{l}_3	
x (mm)	-462,118	194,428	-143,347	-263,776	-0,5589	0,8676	0,1432	X
y (mm)	$24,\!818$	$122,\!022$	$-47,\!612$	$221,\!671$	-0,5547	-0,1887	-0,3202	у
z (mm)	117,909	$93,\!612$	1124,033	$336,\!614$	-0,6163	-0,4601	0,9364	\mathbf{z}
\pm (mm)	0,011	0,029	0,025					
Ob	oen	Er	nde	Inr	nen	Au	ßen	
\vec{T} (mm)	$\hat{t} = -\hat{m}_2$	$\vec{E}~(\mathrm{mm})$	$\hat{e} = \hat{m}_3$	$ec{I}\ (\mathrm{mm})$	\hat{i}	$\vec{O}~(\mathrm{mm})$	\hat{o}	
-266,491	-0,0042	-289,924	-0,9323	-261,838	0,3662	-273,024	-0,3655	X
-148,988	1,0000	-164,616	0,0072	-161,239	0,0038	-164,199	0,0011	у
208,074	0,0008	$215,\!651$	$0,\!3615$	$221,\!015$	0,9305	190,864	-0,9308	\mathbf{z}
0,041		0,034		0,016		0,042		土
Messposi	ition (mm)	$\vec{M}_L = (-$	-1,104 - 3	86,458 - 1	$(31,549)^T$	9	Ω	
m_1 :	452,997	m_2 :	244,695	m_3 :	277,890	$\vec{\Omega}$ (mm)	$\hat{\omega} = -\hat{m}_1$	
m_{11} :	0,429	$m_{12}:$	-0,026	m_{13} :	-0,724	-267,431	0,3659	х
$m_{21}:$	1,1066	$m_{22}:$	$0,\!533$	$m_{23}:$	0,962	-162,719	0,0014	у
$m_{31}:$	$0,\!249$	$m_{32}:$	-0,930	$m_{33}:$	0,093	205,940	0,9307	\mathbf{z}
		Messa	achsen			0,030		\pm

Tabelle D.11.: Messwerte und Berechnungen für die Insel SW17

Sensorinse	l: SW17		φ_{12} : 102,0	69°	φ_{13} : 116,5	28°	φ_{23} : 95,39	5°
	I	Laserpunkt	e	Ursprung	La	serrichtung	gen	
	P_1	P_2	P_3	L	\hat{l}_1	\hat{l}_2	\hat{l}_3	
x (mm)	-378,053	201,176	-317,108	-267,735	-0,3870	0,9807	-0,0562	X
y (mm)	$-10,\!476$	$95,\!097$	-15,094	$180,\!306$	-0,6693	-0,1782	-0,2225	у
z (mm)	87,172	$229,\!374$	1122,766	267,957	-0,6342	-0,0807	0,9733	\mathbf{z}
\pm (mm)	0,015	0,046	0,026					
Ob	oen	En	nde	In	nen	Au	ßen	
\vec{T} (mm)	$\hat{t} = -\hat{m}_2$	\vec{E} (mm)	$\hat{e} = \hat{m}_3$	$ec{I}~(ext{mm})$	\hat{i}	$\vec{O}~(\mathrm{mm})$	\hat{o}	
-255,036	-0,0044	-272,662	-0,9803	-250,874	0,1929	-245,003	-0,1915	x
-149,087	1,0000	-166,369	-0,0044	-163,630	0,0040	$-167,\!322$	0,0024	y
164,799	-0,0027	$170,\!400$	$0,\!1976$	$183,\!177$	0,9812	$149,\!306$	-0,9815	\mathbf{z}
0,010		0,022		0,017		0,008		\pm
Messpos	sition (mm)	$\vec{M}_L = (2$	21,664 - 34	44,834 - 1	$(02,191)^T$	9	Ω	
m_1 :	405,738	m_2 :	$192,\!263$	m_3 :	$175,\!335$	$\vec{\Omega}$ (mm)	$\hat{\omega} = -\hat{m}_1$	
$m_{11}:$	0,306	$m_{12}:$	-0,122	m_{13} :	-0,819	-247,939	0,1922	x
$m_{21}:$	1,110	$m_{22}:$	$0,\!486$	$m_{23}:$	0,766	-165,476	0,0008	у
$m_{31}:$	$0,\!172$	$m_{32}:$	-0,918	$m_{33}:$	$0,\!239$	166,242	0,9814	\mathbf{z}
		Messa	achsen			0,012		$ \pm $

Tabelle D.12.: Messwerte und Berechnungen für die Insel ${\tt SE32}$

Sensorinse	el: SE32		φ_{12} : 95,44	9°	φ_{13} : 118,9	31°	φ_{23} : 104,5	31°
	I	Laserpunkt	e	Ursprung	La	serrichtung	gen	
	P_1	P_2	P_3	L	\hat{l}_1	\hat{l}_2	\hat{l}_3	
x (mm)	-377,985	189,407	-319,874	-270,162	-0,3760	0,9568	-0,0528	X
y (mm)	-10,610	96,945	-41,909	$173,\!275$	-0,6412	-0,1589	-0,2287	у
z (mm)	82,052	156,925	1188,634	$273,\!883$	-0,6689	-0,2435	0,9721	Z
\pm (mm)	0,017	0,033	0,043					
Ob	en	Er	nde	Inr	nen	Au	ßen	
\vec{T} (mm)	$\hat{t} = -\hat{m}_2$	\vec{E} (mm)	$\hat{e} = \hat{m}_3$	$ec{I}\ (\mathrm{mm})$	\hat{i}	$\vec{O}~(\mathrm{mm})$	\hat{o}	
-248,619	-0,0031	-269,899	-0,9823	-246,529	0,1884	-250,157	-0,1877	X
-148,832	1,0000	-164,916	-0,0043	-162,972	0,0038	$-165,\!569$	0,0024	у
165,143	-0,0004	$169,\!575$	$0,\!1873$	181,316	0,9821	149,368	-0,9822	\mathbf{z}
0,026		0,022		0,023	0	0,027		土
Messpos	ition (mm)	$\vec{M}_L = (2$	26,744 - 35	37,556 - 1	$(09,458)^T$	9	Ω	
m_1 :	$401,\!474$	m_2 :	$197,\!485$	m_3 :	213,140	$\vec{\Omega}$ (mm)	$\hat{\omega} = -\hat{m}_1$	
$m_{11}:$	0,321	$m_{12}:$	-0,115	m_{13} :	-0,818	-248,343	0,1881	X
$m_{21}:$	1,119	$m_{22}:$	$0,\!492$	$m_{23}:$	0,894	-164,271	0,0007	у
$m_{31}:$	$0,\!205$	$m_{32}:$	-0,941	$m_{33}:$	0,098	165,342	0,9822	\mathbf{z}
		Messa	achsen			0,019		\pm

Tabelle D.13.: Messwerte und Berechnungen für die Insel $\rm SE47$

Sensorinse	el: SE47		φ_{12} : 102,5	17°	φ_{13} : 116,6	28°	φ_{23} : 95,31	9°
	I	Laserpunkt	e	Ursprung	La	serrichtung	gen	
	P_1	P_2	P_3	L	\hat{l}_1	\hat{l}_2	\hat{l}_3	
x (mm)	-405,103	207,523	-326,028	-261,817	-0,4413	0,9656	-0,0676	X
y (mm)	$12,\!013$	$95,\!568$	$-10,\!384$	$214,\!475$	-0,6235	-0,2446	-0,2366	у
z (mm)	$62,\!684$	$229,\!459$	1193,313	$272,\!253$	-0,6454	-0,0880	0,9692	\mathbf{z}
\pm (mm)	0,030	0,044	0,035					
Ob	oen	Er	nde	In	nen	Au	ßen	
\vec{T} (mm)	$\hat{t} = -\hat{m}_2$	$\vec{E}~(\mathrm{mm})$	$\hat{e} = \hat{m}_3$	$ec{I}\ (\mathrm{mm})$	\hat{i}	$\vec{O}~(\mathrm{mm})$	\hat{o}	
-254,695	-0,0059	-274,064	-0,9806	-247,921	0,1919	-253,513	-0,1908	x
-148,868	1,0000	$-165,\!354$	-0,0016	$-163,\!509$	$0,\!0017$	-162,888	0,0022	y
166,981	0,0004	$170,\!377$	$0,\!1960$	$182,\!497$	0,9814	$150,\!689$	-0,9816	\mathbf{z}
0,017		0,026		0,039		0,017		\pm
Messpos	sition (mm)	$\vec{M}_L = (1$	4,443 - 3	78,915 - 1	$06,427)^T$	9	Ω	
m_1 :	439,931	m_2 :	$230,\!276$	m_3 :	204,049	$\vec{\Omega}$ (mm)	$\hat{\omega} = -\hat{m}_1$	
m_{11} :	0,340	$m_{12}:$	-0,098	m_{13} :	-0,795	-250,717	0,1914	x
$m_{21}:$	1,090	$m_{22}:$	$0,\!559$	$m_{23}:$	0,776	-163,199	-0,0003	у
$m_{31}:$	$0,\!242$	$m_{32}:$	-0,885	$m_{33}:$	$0,\!283$	166,593	0,9815	\mathbf{z}
		Messa	achsen			0,028		$ \pm $

E. KLaPoS

E. KLaPoS

E.1. Quelltext

Der Quelltext von KLaPoS in der letzten Version ist auf Kalinka unter "/kalinka/home/antoni/Positionsbestimmung/KLasersPositioningSystem" zu finden. Das Programm verwendet für Vektoren die selbstgeschriebene Klasse "vec", implementiert in "vec.h" und "vec.cpp". Es wurde soweit entwickelt, dass die im Rahmen dieser Diplomarbeit notwendigen Berechnungen durchgeführt werden konnten.

E.2. xml-Format

Im Folgenden ist ein Beispiel für eine valide xml-Datei aufgeführt, die KLaPoS in der aktuellen Version benutzen kann. Sie enthält mit den Einheiten und den Koeffizienten zur Transformation vom Laser- ins KATRIN-System Features, die KLaPoS noch nicht einlesen kann. Der Code zum parsen von xml-Dateien befindet sich in der Datei "mmu_xml_parser.cpp". Weitere Beispieldateien "example-*.xml" liegen dem Quelltext bei.

```
<?xml version="1.0"?>
<!-- Example file for data input -->
<mmu_system>
  <name>Mainspec</name>
  <mmu> <!-- Magnetic Measurement Unit--->
    <name>SW02</name>
    <laser>
      <num>
              1 < \text{num} >
      <EndPoint>
        <unit>m</unit>
              -6.3
                                   0.01
                                         </xerr>
        < x >
                    </x> < xerr>
               0.0
                    </y> < yerr>
                                   0.01
                                         </yerr>
        <y>
               3.6
        <z>
                    </z> < zerr>
                                   0.01
                                         </zerr>
      </EndPoint>
      <AngleToNextLaser> <!-- phi12 --->
        <unit>
                 deg
                        </unit>
        <value>
                  95.548
                          </ri>
      </AngleToNextLaser>
    </laser>
    <laser>
      <num>
              2 < \text{num} >
      <EndPoint>
        <unit>m</unit>
        < x >
              -6.3
                    </x> < xerr>
                                   0.01
                                         </xerr>
                    </y> < yerr>
                                   0.01
                                         </yerr>
               0.0
        <y>
               3.6
        \langle z \rangle
                    </z> < zerr>
                                   0.01
                                         </zerr>
      </EndPoint>
      <AngleToNextLaser> <!-- phi23 --->
        <unit>
                 deg
                       </unit>
                            </value> <error> 0.095 </error>
                  104.252
      </AngleToNextLaser>
    </laser>
    < laser>
      <num>
              3
                 </num>
      <EndPoint>
        <unit>m</unit>
```

```
-6.3 </x> <xerr>
        < x >
                                0.01
                                      </xerr>
              0.0 </y> < yerr>
                                0.01
                                      </yerr>
        <y>
        <z>
              3.6
                  </z> < zerr>
                                0.01
                                      </zerr>
     </EndPoint>
     <AngleToNextLaser> <!-- phi13 -->
       <unit> deg
                      </unit>
        <value> 118.656 </value> <error> 0.095 </error>
     </AngleToNextLaser>
   </laser>
   <vector>
     <name>L</name> <!-- Origin of Lasers -->
     <unit>m</unit>
           1.13 </x> < xerr> 0.01 </xerr>
     <y>
           5.08 </y> < yerr> 0.01 </yerr>
     <z> -4.50 </z> <zerr> 0.01 </zerr>
    </re>
    <vector>
     <name>mx</name> <!— measurement axis 1 —>
     <L1weight> 0.429 </L1weight>
     <L2weight> -0.026 </L2weight>
     <L3weight> -0.724 </L3weight>
    </re>
   <vector>
     <name>mx</name> <!— measurement axis 2 —>
     <L1weight> 1.1066</L1weight>
     <L2weight>
                  0.533 < /L2weight>
     <L3weight>
                  0.962 < /L3 weight>
   </re>
    <vector>
     <name>mx</name> <!— measurement \ axis \ 3 —>
     <L1weight> 0.249 </L1weight>
     <L2weight> -0.930 </L2weight>
     <L3weight> 0.093 </L3weight>
   </vector>
    <vector>
     <name>M</name> <!— measurement position in Laser system —>
     <unit>mm</unit>
     <L1weight>452.997 </L1weight>
     <L2weight>244.695 </L2weight>
     <L3weight>277.890 </L3weight>
    </re>
  </mmu>
  <mmu>
    . . .
  </mmu>
</mmu_system>
```

Tabelle F.14.: Gemessene Induktivitäten der LFCS- und EMCS-Luftspulen. Messfehler ist $\pm 0,5$ in der letzten signifikanten Stelle.

	Induktivitä	ät verbunden	Induktivität getrennt		
	mit dem N	Netzteil (μH)	vom Net	zteil (μH)	
Spule	$100\mathrm{Hz}$	$1\mathrm{kHz}$	$100\mathrm{Hz}$	$1\mathrm{kHz}$	
LFCS1	440	1,7	930	790	
LFCS2	440	1,7	1045	902	
LFCS3	153	0,6	330	287	
LFCS4	143	0,7	319	272	
LFCS5	152	0,6	332	283	
LFCS6	144	0,7	337	289	
LFCS7	144	0,6	332	284	
LFCS8	147	0,6	292	242	
LFCS9	154	0,6	331	282	
LFCS10	156	0,6	341	293	
LFCS11	153	0,6	328	278	
LFCS12	438	1,7	927	786	
LFCS13	447	1,8	1064	920	
LFCS14	1503	9,8	1930	1650	
EMCS-x	383	1,7	500	384	
EMCS-y	786	10	800	636	

F. Induktivitäten der Luftspulen

Am 15. Januar 2013 wurden mit einem digitalen Multimeter die Induktivitäten der LFCSund EMCS-Luftspulen gemessen. Jede Spule wurde bei 100 Hz und 1 kHz Frequenz je einmal verbunden mit dem Netzteil und einmal getrennt vom Netzteil gemessen. Es wurde testweise untersucht, ob die Induktivität einer Spule vom Zustand (offen/geschlossen) der Nachbarspulen abhängt und kein Unterschied beobachtet. Die gemessenen Werte sind in Tabelle F.14 aufgeführt.