

GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM
STIFTUNG DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

Christoph Förste
Christoph Reigber

**Die Einmessung
der PRARE-Bodenstationen
und der neuen SLR-Station
im lokalen Netz auf dem
Telegrafenberg Potsdam**

Stand Januar 1997

Scientific Technical Report STR97/03

Impressum

GeoForschungsZentrum Potsdam
Telegrafenberg A17
D-14473 Potsdam

e-mail: postmaster@gfz-potsdam.de
www: <http://www.gfz-potsdam.de>
<https://doi.org/10.48440/gfz.b103-97031>

Gedruckt in Potsdam
März 1997

Christoph Förste, Christoph Reigber

**Die Einmessung
der PRARE-Bodenstationen
und der neuen SLR-Station
im lokalen Netz auf dem
Telegrafenberg Potsdam**

Stand Januar 1997

Scientific Technical Report STR97/03

Die Einmessung der PRARE-Bodenstationen und der neuen SLR-Station im lokalen Netz auf dem Telegraphenberg Potsdam

Ch. Förste, Ch. Reigber
GeoForschungszentrum Potsdam
Aufgabenbereich 1: Kinematik und Dynamik der Erde

Stand: Januar 1997

0. Inhalt

1. Einleitung
2. Verwendete Meßsysteme
3. Die in die Messung einbezogenen Punkte
4. Zur Durchführung und Auswertung der GPS-Messung
5. Zusammenstellung der Anschlußmessungen
 - 5.1. Anschluß der Marken im Gebäude A11 und auf dem Helmertturm
 - 5.2. Anschluß der PRARE-Station auf dem Wasserturm von Gebäude A31
 - 5.3. Anschluß der SLR-Station 7836 im Gebäude A11
 - 5.4. Anschluß des SBG auf dem Helmertturm (SLR-Station 1181)
 - 5.4.1. Die horizontale Position der ersten Achse
 - 5.4.2. Höhe des Schnittpunktes von erster und zweiter Achse
 - 5.5. Anschluß der Ost-Pfeiler auf Gebäude A17
 - 5.6. Anschluß der Sicherungspunkte und der Markierung POS (Pfeiler Süd-Ost)
 - 5.7. Die Position der PRARE-Station Potsdam1 (7740) nach der Pfeilersanierung
 - 5.8. Die PRARE-Station auf einem Stativ neben Pfeiler West
6. Zusammenstellung der Koordinaten
 - 6.1. Topozentrische Darstellung
 - 6.2. Ellipsoidische Darstellung
 - 6.3. Geozentrische kartesische Darstellung
7. Überprüfung der Kalibrierung der SLR-Station 7836
8. Vergleich von GPS- mit terrestrischen Messungen
9. Zur Fehlerdiskussion
 - 9.1. GPS-Messungen
 - 9.2. Terrestrische Anschlußmessungen
10. Vergleich mit früheren Messungen
11. Quellenangaben

1. Einleitung

Die im Wissenschaftspark "Albert Einstein" auf dem Wasserturm des Gebäudes A31 aufgestellte PRARE-Bodenstation wird zusammen mit der neuen Potsdamer SLR-Station 7836 als Kalibrierungsstation des PRARE-Systems betrieben werden. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist die Kenntnis der Koordinatendifferenz beider Meßstationen. Inhalt des vorliegenden Berichtes ist die Einmessung beider Stationen auf dem Telegrafenberg im lokalen Markernetz.

2. Verwendete Meßsysteme

GPS-Messungen: 4 GPS-Empfänger TRIMBLE 4000SSE

Anschlußmessungen: Strecken größer 1.5 Meter: GEODIMETER System 500
 Strecken kleiner 1.5 Meter: Bandmaß, Schublehre
 Winkel: GEODIMETER System 500
 Höhenmessungen: Nivellement, GEODIMETER System 500 als Nivellier

3. Die in die Messung einbezogenen Punkte

Nummer	Kürzel	Beschreibung
<u>Helmertturm</u>		
1181	SBG	Kreuzungspunkt zwischen erster und zweiter Achse des SBG (= SLR-Station 1181) Exzentren auf dem Pfeiler unter der Fußbodenabdeckung:
2045	HTS	Marke Süd
2060	HTW	Marke West (Mittelpunkt der anstelle der ursprünglichen Marke in den Beton eingelassenen Linsenkopfschraube)
2061	HTO	Marke Ost
<u>SLR-Station im Gebäude A11</u>		
2046	LA1	Südpfeiler, Marke Ost
2062	LA2	Südpfeiler, Marke West
2063	LA3	Mittelpfeiler (Unter dem Teleskop), Marke Ost
2064	LA4	Mittelpfeiler (Unter dem Teleskop), Marke West
2065	LA5	Ablotung der ersten Achse des Teleskops auf den Mittelpfeiler, gekennzeichnet durch ein aufgezeichnetes Kreuz
7836	LAS	Achsenkreuz des Teleskops (= SLR-Station 7836)

Nummer	Kürzel	Beschreibung
--------	--------	--------------

Gebäude A17, Dach

Die drei Pfeiler auf diesem Dach sind nach dem 5.10.1994 wegen Baufälligkeit abgerissen und neu aufgemauert worden. Diese Arbeiten wurden durch Sicherungsmessungen begleitet. Dabei konnte erreicht werden, daß die neuen Markierungsbolzen mit einer Genauigkeit von ± 0.5 mm in der Höhe sowie ± 1 mm (beide Ostpfeiler) bzw. ± 3 mm (PW) in der horizontalen Lage an den Positionen der alten eingelassen sind. Einzelheiten dazu sind in /6/ dokumentiert. Wegen dieser Genauigkeit der Rekonstruktion wird im folgenden nicht zwischen alten und neuen Markierungsbolzen unterschieden. Es sei jedoch daraufhingewiesen, daß alle Markierungen im Bezug auf die alten Bolzen vermessen worden sind. Ausnahmen sind nur der Punkt PSP und der damit verbundene neue Referenzpunkt der PRARE-Station 7740.

2051	PON	Pfeiler Nord-Ost, Zentrum
2052	POS	Pfeiler Süd-Ost, Zentrum
2053	PW	Pfeiler West, Zentrum
2054	PNO	Pfeiler Nord-Ost, GPS-Marke auf Metallvorrichtung, konzentrisch über PON, wurde am 13.10.94 abgebaut
2055	PSO	Pfeiler Süd-Ost, Zentrum der Bohrung in der Stahlplattform zur Aufnahme einer PRARE-Bodenstation, am 27.9.94 abgebaut
2056	PSP	Pfeiler Süd-Ost, Zentrum der Bohrung der wiedererrichteten Stahlplattform nach der Pfeilersanierung auf dem Dach von A17, aufgebaut am 20.12.1994
2057	PWS	PRARE-Stativ neben PW, Zentrum der Bohrung in der Plattform, aufgebaut am 26.5.1994
2058	PRX	alte Position des Antennenreferenzpunktes der PRARE-Station 7740 (am 27.9.94 abgebaut)
2059 ¹	SNO	PRARE-Stativ neben SO5, Zentrum der Bohrung in der Plattform, vorübergehend im Februar 1995 aufgebaut
7740	PR1	Antennenreferenzpunkt der PRARE-Station Potsdam1, konzentrisch über PSP
7741	PR2	Antennenreferenzpunkt der PRARE-Station Potsdam2, konzentrisch über PWS
7742 ¹	PR3	Antennenreferenzpunkt der PRARE-Station Potsdam3, konzentrisch über SNO

Sicherungsbolzen, angelegt anlässlich der Pfeilersanierung, Lage siehe auch Abb. 12

2071	SO1	Westseite, nordöstlich von PW
2072	SO2	Westseite, südlich von PW
2073	SO3	Westseite, südwestlich von PW
2074	SO4	Ostseite, südwestlich von PON
2075	SO5	Ostseite, nordöstlich von PON
2076	SO6	Ostseite, südöstlich von PON

Wasserturm Gebäude A31

2454	WTE	Pfeiler, Exzentrum (Süd)
2455	WT	Pfeiler, Zentrum
2456	WTP	Metallpfeiler zur Aufnahme einer PRARE-Station, Zentrum der Bohrung in der Stahlplattform
7730	PRA	Antennenreferenzpunkt der PRARE-Station, konzentrisch über WTP

Die Punkte 2045 (HTS), 2046 (LA1), 2053 (PW) und 2454 (WTE) wurden mit GPS eingemessen. Die übrigen Punkte sind daran terrestrisch angeschlossen worden.

Die Antennenreferenzpunkte der PRARE-Stationen befinden sich wie bereits oben erläutert stets konzentrisch über den Bohrungen in der Mitte der betreffenden Stahlplattformen. Die Höhen unterscheiden sich jedoch zwischen den einzelnen Aufstellungen in Abhängigkeit von der Justierung am Horizontieradapter. Deshalb werden in diesem Bericht nur die Richtungsmessungen zu den einzelnen PRARE-Antennenreferenzpunkten protokolliert. Höhen bzw. Koordinaten der PRARE-Antennenreferenzpunkte enthält dieser Bericht nicht. Sie sind den betreffenden PRARE-Berichten bzw. den Protokollen der Potsdamer PRARE-Stationen zu entnehmen.

¹Die Einmessung der nur vorübergehend installierten Punkte 2059 bzw. 7742 wird im folgenden nicht näher beschrieben

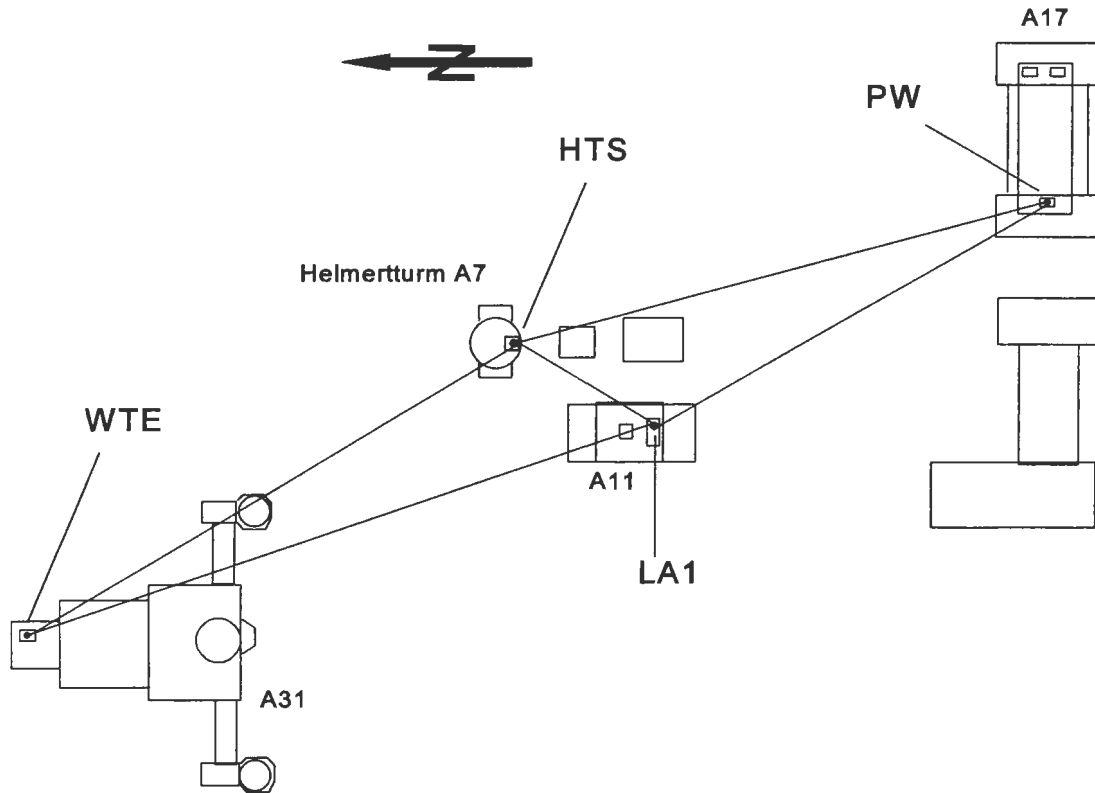


Abb. 1 Geländeskizze der GPS-Punkte (ohne Maßstab)

4. Zu Durchführung und Auswertung der GPS-Messung

Die GPS-Messungen wurden am 13.04.1993 durchgeführt. Die einzelnen Empfänger waren dabei während der in der folgenden Übersicht zusammengestellten Zeitabschnitte in Betrieb:

Marke		Start [UTC]	Ende [UTC]
HTS	2045	08:02	15:22
LA1	2046	10:01	13:54
PW	2053	10:09	14:57
WTE	2454	10:27	14:46

Die GPS-Messungen sind mit dem Softwaresystem TRIMVEC-Plus/TRIMNET der Firma TRIMBLE ausgewertet worden. Um Erfahrungen mit dieser Software zu sammeln und Aussagen über die Stabilität der erhaltenen Koordinaten zu gewinnen wurden mehrere Varianten gerechnet. Die Koordinaten dieser Lösungen sind in der folgenden Tabelle in topozentrischer Darstellung zusammengefaßt:

Marke	Lösung	Nord [m]	Ost [m]	Höhe [m]	Δr_{horiz} [m]
HTS	(=Topozentrum)	0.000	0.000	0.000	0.000
LA1	1)	-27.200	-26.308	-15.127	37.841
	2)	-27.192	-26.309	-15.130	37.836
	3)	-27.198	-26.308	-15.126	37.840
	4)	-27.201	-26.307	-15.121	37.841
	5)	-27.198	-26.306	-15.131	37.838
PW	1)	-108.843	31.132	-2.159	113.202
	2)	-108.839	31.132	-2.167	113.204
	3)	-108.843	31.131	-2.160	113.207
	4)	-108.843	31.133	-2.150	113.208
	5)	-108.841	31.130	-2.159	113.205
WTE	1)	66.531	-70.547	7.867	96.970
	2)	66.533	-70.549	7.870	96.973
	3)	66.532	-70.547	7.868	96.970
	4)	66.531	-70.545	7.873	96.969
	5)	66.531	-70.546	7.863	96.970

- 1) L1-Lösung
- 2) L2-Lösung
- 3) Gemeinsame TRIMNET-Ausgleichung der unabhängig voneinander für L1 und L2 mit TRIMVEC-Plus gewonnenen GPS-Vektoren
- 4) L1-Teillösung 10:00 Uhr bis 12:00 Uhr
- 5) L1-Teillösung 12:00 Uhr bis 15:00 Uhr

Δr_{horiz} = Horizontalentfernung vom Topozentrum

Die formalen Fehler betragen bei den L1-Lösungen $\pm 2..3$ mm für die Höhe und $\pm 0.5..1$ mm für die Horizontalentfernung. Bei der L2-Lösung lagen diese Werte bei $\pm 4..6$ mm bzw. $\pm 1..5$ mm. Die erhaltene höhere Genauigkeit von L1 gegenüber L2 entspricht der allgemeinen Erfahrung beim Berechnen von Einphasen-Lösungen /1/. Darum wird hier die genauere L1-Gesamtlösung als Endergebnis der GPS-Auswertung angegeben. In der folgenden Tabelle sind die mit TRIMVEC-Plus berechneten GPS-Vektoren zusammengestellt, die die Grundlage der anschließenden Netzausgleichung mit TRIMNET bildeten.

Mit TRIMVEC-Plus berechnete GPS-Vektoren:

Vektor	Azimuth [°]	Δr_{horiz} [m]	Δh [m]
HTS→LA1	224.0444	37.839	-15.126
HTS→PW	164.0378	113.205	-2.160
HTS→WTE	313.3225	96.968	+7.866
LA1→PW	144.8703	99.821	+12.966
LA1→WTE	334.7339	103.644	+22.994
PW →WTE	329.8961	202.714	+10.025

Δr_{horiz} = Horizontalentfernung
 Δh = Höhendifferenz

Die mit TRIMNET ausgeglichenen Koordinaten sind im Kapitel 6 angegeben. Als Datum wurde das globale Referenzsystem ITRF92 gewählt. Den Bezug für die Umrechnung der aus GPS erhaltenen Koordinaten in dieses System bildete die ITRF92-Koordinate der SLR-Station 1181 (SBG) und der bei den hier beschriebenen Messungen ermittelte topozentrische Vektor von 1181 (SBG) nach 2045 (HTS) auf dem Helmertturm.

5. Zusammenstellung der Anschlußmessungen

5.1. Anschluß der Marken im Gebäude A11 und auf dem Helmertturm

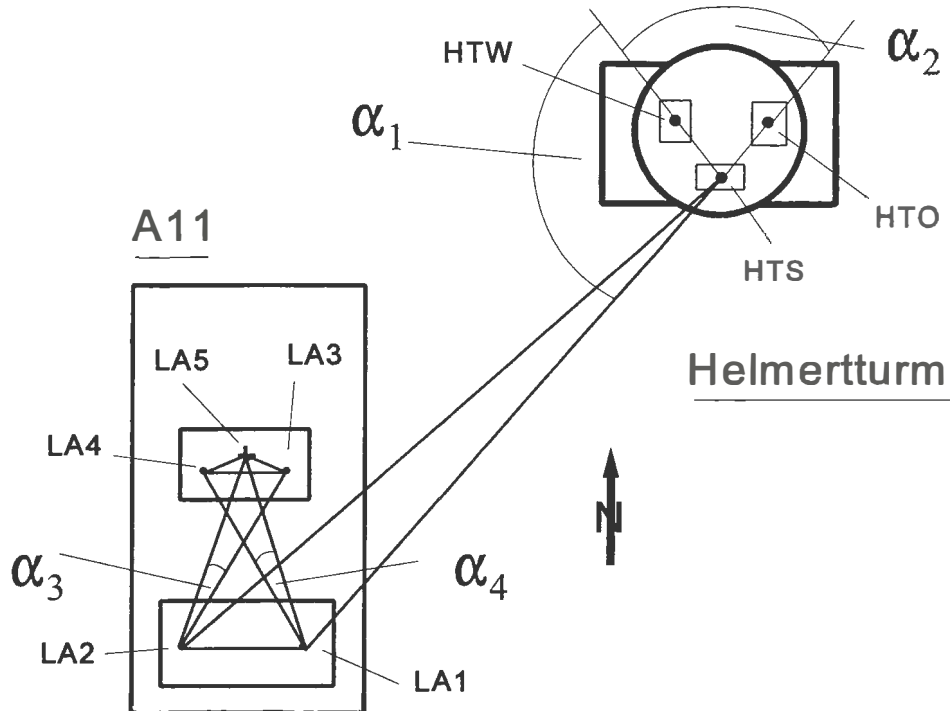


Abb. 2 Lage der Marken auf dem Helmertturm und im Gebäude A11

Die Koordinaten der Marken im Gebäude A11 (Laserstation 7836) und auf dem Helmertturm wurden aus Anschlußmessungen an den aus den GPS-Messungen bestimmten topozentrischen Vektor zwischen LA1 und HTS berechnet. Die gemessenen Strecken, Winkel und Höhendifferenzen haben folgende Werte (vgl. Abb. 2):

Horizontalstrecke/Winkel	Meßwert	Marke	Höhe [m]
α_1	104.5586° ± 0.01°		relativ zu HTS:
α_2	90.7133° ± 0.005°	HTW	-0.002 ± 0.001
α_3	7.7300° ± 0.002°	HTO	0.002 ± 0.001
α_4	7.1930° ± 0.002°		relativ zu LA1:
LA1-HTS	37.841m ± 0.002m	LA2	0.0005 ± 0.001
LA2-HTS	38.191m ± 0.001m	LA3	-0.7315 ± 0.001
LA1-LA2	0.5017m ± 0.0001m	LA4	-0.7315 ± 0.001
LA1-LA5	1.686m ± 0.001m	LA5	-0.7325 ± 0.001
LA2-LA5	1.680m ± 0.001m		
LA4-LA5	0.2148m ± 0.0005m		
LA3-LA5	0.2292m ± 0.0005m		
LA3-LA4	0.3998m ± 0.0001m		
HTS-HTO	2.324m ± 0.003m		
HTS-HTW	2.423m ± 0.003m		

5.2. Anschluß der PRARE-Station auf dem Wasserturm von Gebäude A31

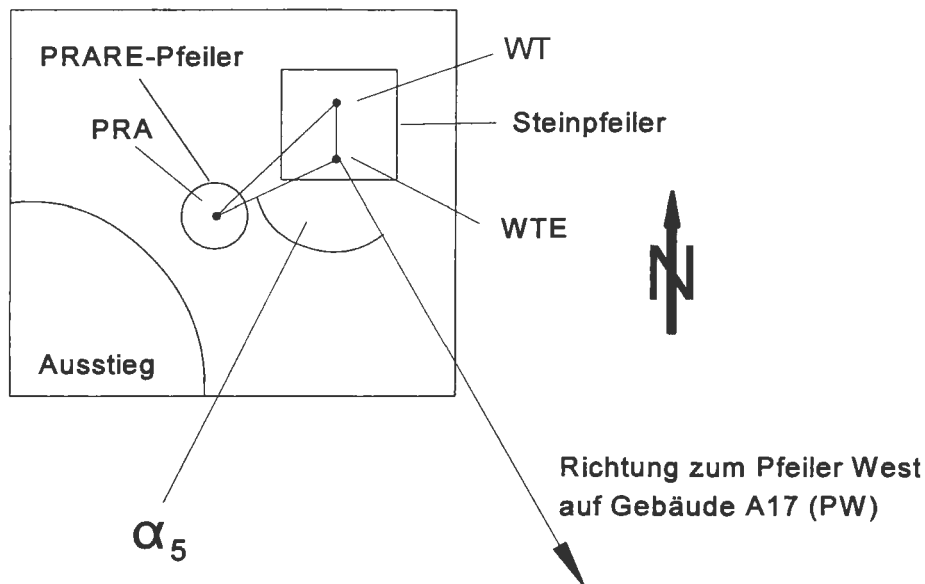
Dach Wasserturm A31

Abb. 3 Skizze der Marken auf dem Dach von Wasserturm A31

Die Koordinaten der Marke WT sowie der Bohrung in der Plattform des PRARE-Pfeilers (WTP) und des Bezugspunktes der PRARE-Bodenstation 7730 (PRA) wurden aus einer Anschlußmessung an den aus den GPS-Messungen bestimmten topozentrischen Vektor zwischen WTE und PW berechnet. Die Anschlußmessungen ergaben die folgenden Strecken, Winkel und Höhendifferenzen (vgl. Abb. 3, der Punkt WTP liegt konzentrisch unter PRA und ist deshalb in dieser Abbildung nicht bezeichnet):

Horizontalstrecke/Winkel	Meßwert
α_5	$76.5827^\circ \pm 0.005^\circ$
PRA → WT	$1.740\text{m} \pm 0.001\text{m}$
PRA → WTE	$1.655\text{m} \pm 0.001\text{m}$
WTE → WT	$0.1345\text{m} \pm 0.0005\text{m}$

Marke	Höhe bezogen auf WTE
WT	$-0.034\text{m} \pm 0.001\text{m}$
PRA	$0.072\text{m} \pm 0.002\text{m}$
WTP	$0.014\text{m} \pm 0.002\text{m}$

5.3. Anschluß der SLR-Station 7836 im Gebäude A11

Der Referenzpunkt der SLR-Station 7836 ist der Schnittpunkt der beiden mechanischen Achsen des Teleskops. Dieser Punkt wurde auf den unter der Montierung befindlichen Mittelpfeiler abgelotet. In diesen Pfeiler sind auch die Marken LA3 und LA4 eingelassen. Der Aufpunkt der Ablotung auf der Pfeileroberfläche wurde mit einem Kreuz gekennzeichnet (Marke LA5). Im Zusammenhang mit der Durchführung der Ablotung wurde die Höhe des Achsenkreuzes über der Marke LA3 gemessen /2/:

Höhe LAS über LA3:	2.8354±0.0010m
--------------------	----------------

5.4. Anschluß des SBG auf dem Helmertturm (SLR-Station 1181)

Der Referenzpunkt der SLR-Station 1181 ist der Schnittpunkt der ersten und zweiten Achse der (vierachsigen) Montierung des SBG. Dieser Punkt ist direkt nicht zugänglich, seine Position kann nur indirekt bestimmt werden. Im vorliegenden Fall geschah dies durch verschiedenartiges Anzielen der Spitze eines in der Gabel des SBG befestigten Nagels, der die Lage der dritten Achse markiert (siehe Abb. 4)

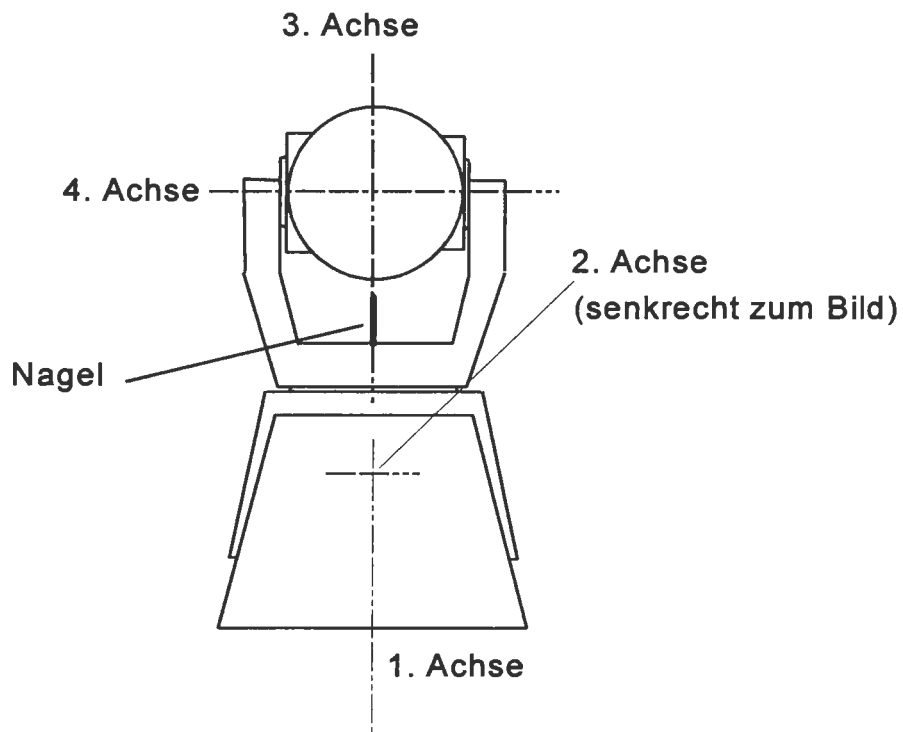


Abb. 4 Seitenansicht des SBG

5.4.1 Die horizontale Position der ersten Achse

Zur Bestimmung der horizontalen Koordinate des Kreuzungspunktes zwischen erster und zweiter Achse des SBG wurde die erste Achse von den in ihren Koordinaten bekannten Marken HTS und HTW horizontal angezielt. Dazu wurde die dritte Achse in Position 0° gedreht, um diese mit der ersten Achse möglichst genau in Übereinstimmung zu bringen. Dreht man das so orientierte Teleskop um seine erste Achse, so beschreibt die Spitze des oben genannten Nagels einen kleinen Kreis um die erste Achse. Mißt man die Horizontalwinkel zur Nagelspitze in zwei um 180° gedrehten Orientierungen der ersten Achse, so bilden die Mittelwerte der gemessenen Winkel die Horizontalwinkel zur ersten Achse. Die gemittelten Meßwerte sind unten zusammengestellt (vgl. Abb. 5).

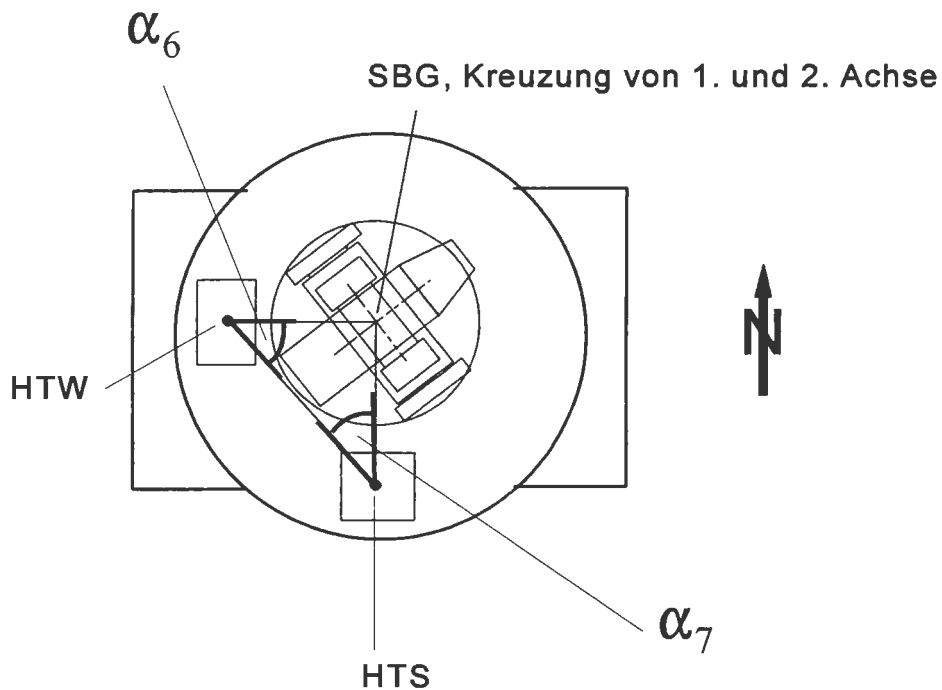


Abb. 5 Draufsicht auf den Helmertturm mit SBG

Winkel	Meßwert
α_6	$46.14^\circ \pm 0.02^\circ$
α_7	$43.44^\circ \pm 0.02^\circ$

5.4.2. Höhe des Schnittpunktes von erster und zweiter Achse

Kippt man das SBG um seine zweite Achse, so beschreibt die genannte Nagelspitze einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der zweiten Achse liegt und nur wenige Millimeter vom Schnittpunkt mit der ersten Achse entfernt ist. Aus den Koordinaten der Nadelspitze bei verschiedenen Winkelstellungen der 2. Achse kann man deshalb die Höhe der zweiten Achse am Schnittpunkt mit der ersten Achse berechnen. Das wurde im vorliegenden Fall folgendermaßen realisiert:

- Das horizontale und vertikale Anzielen der Nadelspitze erfolgte von den Marken HTS und HTW aus (vgl. Abbn. 6 und 7)
- Das Anzielen erfolgte in den zwei Winkelstellungen 0° und 30° der zweiten Achse, dem entsprechen die Nagelpositionen N_1 und N_2 (siehe Abb. 5). Die Winkel der zweiten Achse wurden mit Hilfe des am SBG befestigten Theodolithen eingestellt.
- Diese Messung wurde in den Winkelstellungen 160° und 340° der ersten Achse zweimal ausgeführt, um Positionsfehler der Befestigung des Nagels zu kompensieren.
- Aus den Anzielungen wurden die Koordinaten von N_1 und N_2 berechnet. Daraus ergibt sich die Länge der Sehne N_1 - N_2 . Dadurch ist das gleichschenklige Dreieck N_1 - N_2 -SBG vollständig bestimmt.

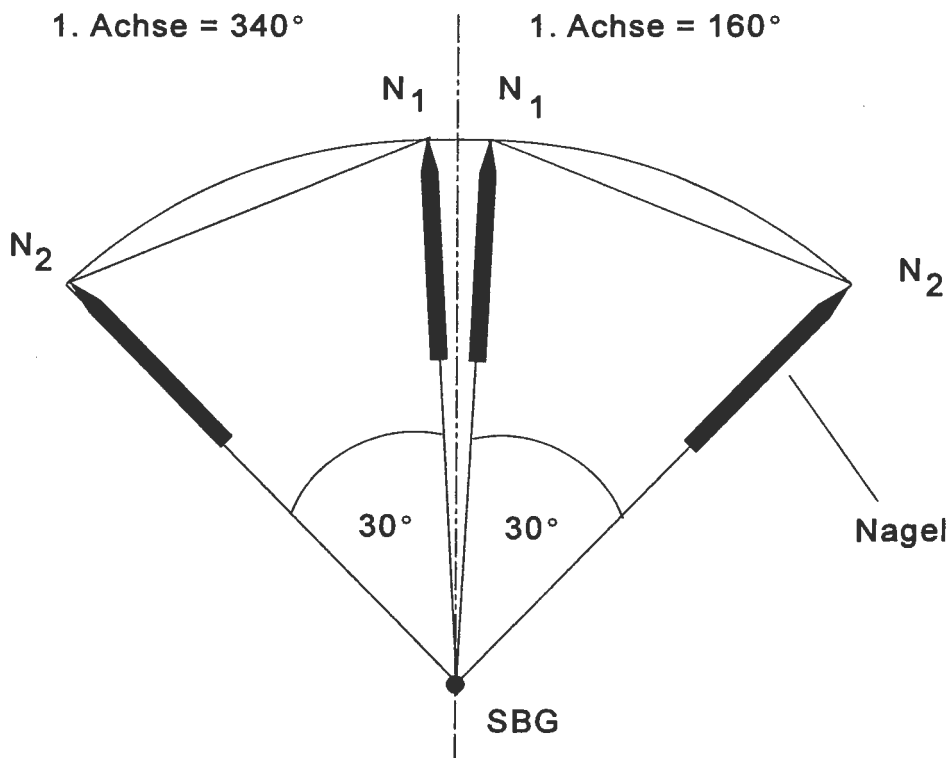


Abb. 6 Zum Prinzip der Bestimmung der Position des Bezugspunktes des SBG

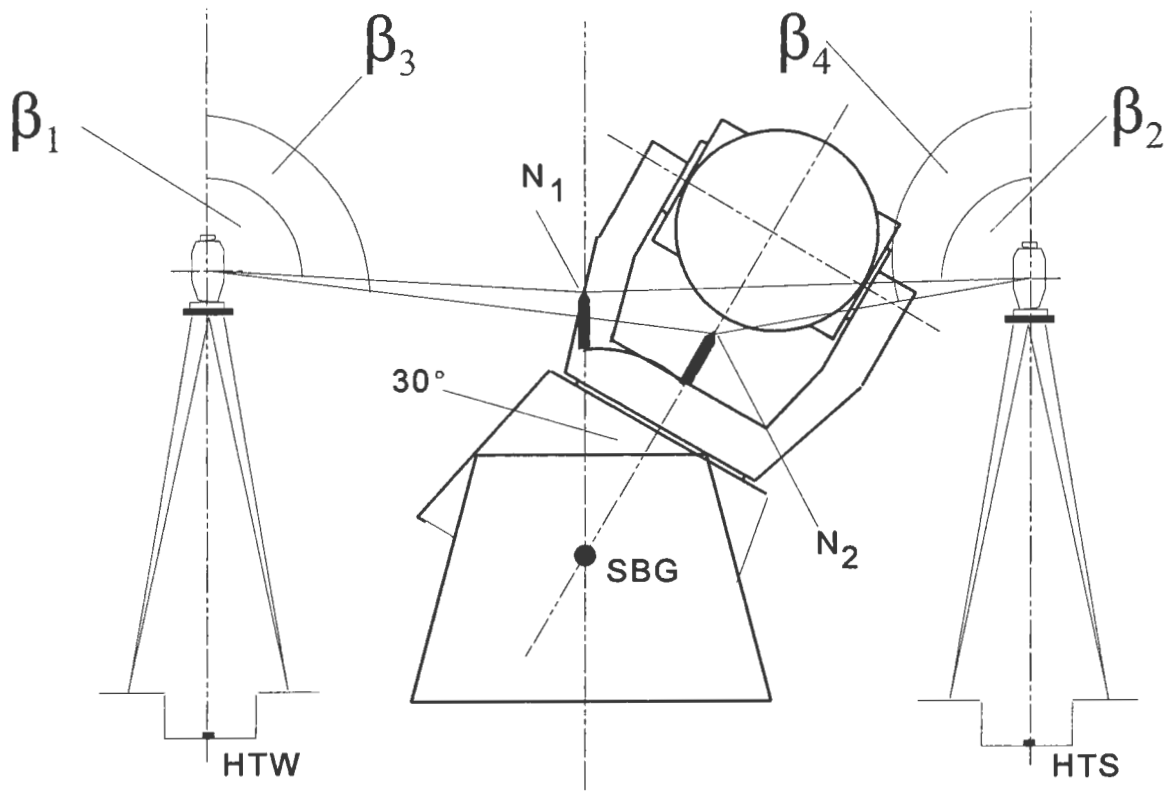


Abb. 7 Zur Höhenbestimmung am SBG: Winkel beim vertikalen Anzielen

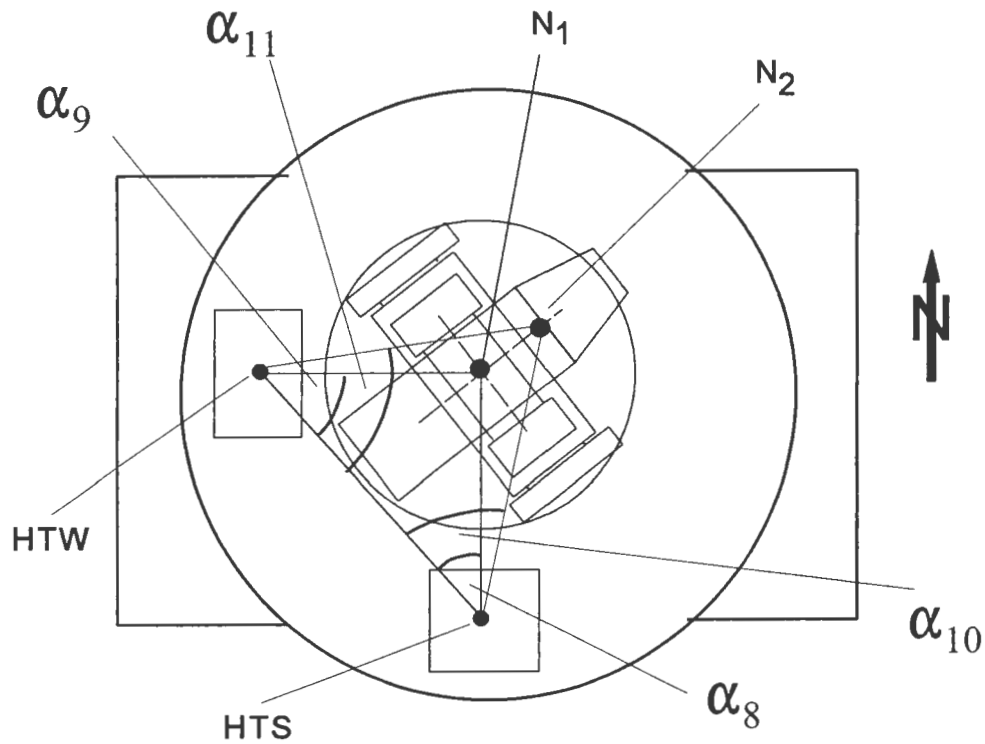


Abb. 8 Zur Höhenbestimmung am SBG: Winkel beim horizontalen Anzielen

Zusammenstellung der Messungen zur Höhenbestimmung des SBG

a) Höhen der GEODIMETER-Aufstellungen

Marke	Höhe des GEODIMETER über den Marken				
	Fehler aller Meßwerte: $\pm 0.001\text{m}$				
	1. Achse:	160°	160°	340°	340°
	2. Achse:	0°	30°	0°	30°
HTS		2.130m	2.130m	2.142m	2.142m
HTW		2.060m	2.060m	2.060m	2.060m

b) Horizontalwinkel (vgl. Abb. 8)

Winkel	Meßwert (Fehler: $\pm 0.02^\circ$)	
	1. Achse:	160°
α_8 (N_1)	45.9767°	46.2614°
α_9 (N_1)	43.3733°	43.4828°
α_{10} (N_2)	49.7403°	43.0656°
α_{11} (N_2)	38.7908°	48.6336°

c) Vertikalwinkel (vgl. Abb. 7)

Winkel	Meßwert (Fehler: $\pm 0.001^\circ$)	
	1. Achse:	160°
β_1 (N_1)	101.0972°	101.0464°
β_2 (N_1)	103.9525°	104.3564°
β_3 (N_2)	101.9778°	103.3214°
β_4 (N_2)	106.9708°	104.6989°

Bemerkung zur Berechnung der Koordinaten von N_1 und N_2 :

Bei der Berechnung ergab sich, daß sich die Koordinaten von N_1 für die zwei Orientierungen der ersten Achse horizontal und in der Höhe nur um 6 mm bzw. 1 mm unterschieden. Die Höhen der beiden entsprechenden Koordinaten für N_2 hatten ebenfalls nur eine Differenz von 1 mm. Das bedeutet, daß man bei der Höhenberechnung des Punktes SBG die Neigung der Dreiecksseite SBG- N_1 gegenüber der ersten Achse vernachlässigen kann (vgl. Abb. 6) und diese Strecke mit hinreichender Genauigkeit der Höhe der Nagelspitze über dem Punkt SBG bei Stellung der 2. Achse = 0° entspricht.

5.5. Anschluß der Ost-Pfeiler auf dem Gebäude A17

Die alten Ost-Pfeiler auf dem Gebäude A17 waren mit Stahlkonstruktionen zur Aufnahme einer GPS-Antenne (Pfeiler Nord-Ost, Marke PNO) bzw. einer PRARE-Bodenstationen (Pfeiler Süd-Ost, Marke PSO) versehen. Die darauf befindlichen Referenzpunkte sind an die Punkte PW und WTE terrestrisch angeschlossen worden. Außerdem wurde die Höhe von PNO über PON mit einem Lotstift gemessen. In der horizontalen Lage haben PON und PNO dieselbe Koordinate, weil PNO konzentrisch über PON errichtet war.

Die Koordinate des Markierungsbolzens POS wurde erst bestimmt, als im Zuge der Pfeilersanierung die Stahlkonstruktion über dem Pfeiler Süd-Ost abgebaut worden war. Diese Messungen sind im Abschnitt 5.6. protokolliert.

Die beiden Referenzpunkte PSO und PNO existieren seit der Pfeilersanierung nicht mehr (vgl. Abschnitt 3 und /6/). Zur Beschreibung und Vermessung der neuen PRARE-Aufstellung auf dem Pfeiler Süd-Ost siehe Abschnitt 5.7.

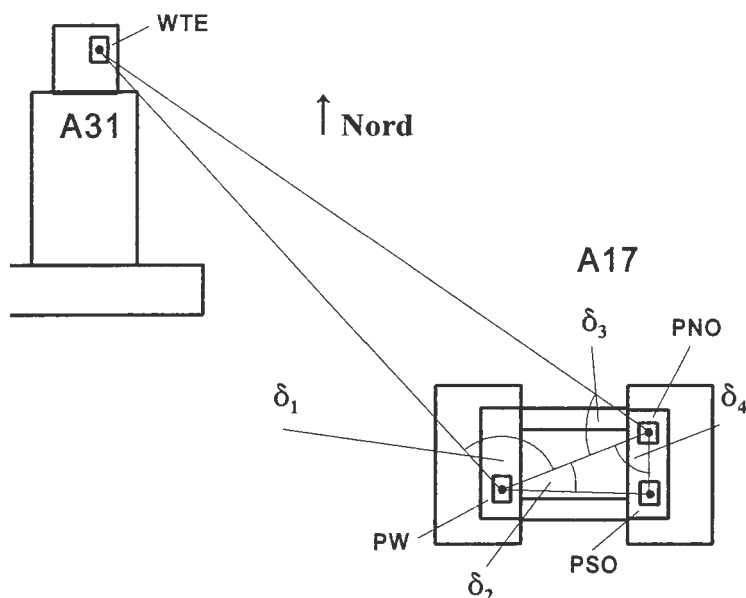


Abb. 9 Lage der Marken PNO und PSO

Horizontalstrecke/Winkel	Meßwert	Marke	Höhe [m]
δ_1	113.074° ± 0.01°		<u>relativ zu PW:</u>
δ_2	7.027° ± 0.005°	PNO	0.151 ± 0.001
δ_3	61.008° ± 0.005°		<u>relativ zu PNO:</u>
δ_4	82.879° ± 0.005°		
WTE-PW	202.721m ± 0.001m	PSO	0.081 ± 0.01
WTE-PNO	213.227m ± 0.001m		
PNO-PW	23.901m ± 0.001m		<u>relativ zu PNO:</u>
PNO-PSO	2.925m ± 0.002m	PON	0.122 ± 0.0005

5.6. Anschluß der Sicherungspunkte und der Markierung POS (Pfeiler Süd-Ost)

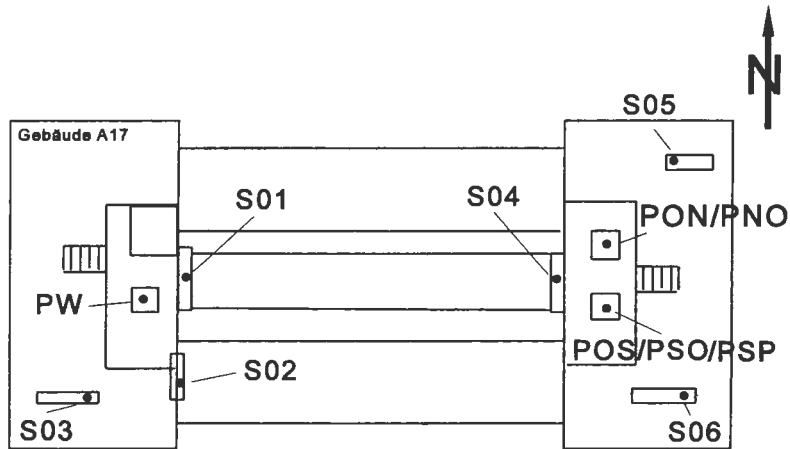


Abb. 10 Die Lage der Sicherungspunkte auf dem Dach von Gebäude A17

Im Zusammenhang mit der Pfeilersanierung wurden auf dem Dach von Gebäude A17 insgesamt sechs Sicherungsbolzen in Sandsteinkronen alter Lüftungsschächte und Schornsteine eingelassen, jeweils drei auf der Ost- bzw. Westseite. Abbildung 10 zeigt die Lage der Sicherungsbolzen gegenüber den Pfeilern.

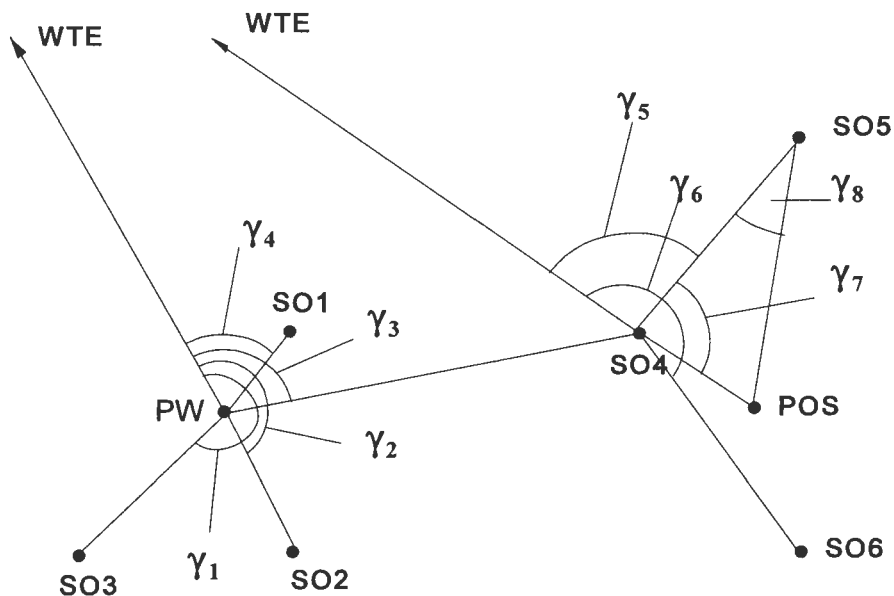


Abb. 11 Die ebenen Winkel der Anschlußmessung der Sicherungspunkte auf dem Dach von Gebäude A17

Die Koordinaten der Punkte SO1 ... SO6 sowie POS wurden auf der Basis der in der folgenden Tabelle zusammengestellten Entfernungs-, Richtungs- und Höhenmessungen berechnet (vgl. Abb. 11):

Horizontalstrecke/Winkel	Meßwert	Marke	Höhe [m]
γ_1	$238.784^\circ \pm 0.0005^\circ$		<u>relativ zu PW:</u>
γ_2	$198.901^\circ \pm 0.0005^\circ$	SO1	0.0865 ± 0.0005
γ_3	$116.244^\circ \pm 0.0005^\circ$	SO2	-0.9940 ± 0.0005
γ_4	$84.064^\circ \pm 0.0005^\circ$	SO3	-0.9915 ± 0.0005
γ_5	$66.416^\circ \pm 0.0005^\circ$		<u>relativ zu PON:</u>
γ_6	$183.657^\circ \pm 0.0005^\circ$	PNO	0.1220 ± 0.0005
γ_7	$103.744^\circ \pm 0.0005^\circ$		<u>relativ zu SO4:</u>
γ_8	$11.661^\circ \pm 0.0005^\circ$	PNO	0.0410 ± 0.0005
PW-SO1	$1.857\text{m} \pm 0.001\text{m}$	POS	-0.0865 ± 0.0005
PW-SO2	$6.879\text{m} \pm 0.001\text{m}$	SO5	-1.6730 ± 0.001
PW-SO3	$7.174\text{m} \pm 0.001\text{m}$	SO6	-1.7330 ± 0.001
PW-SO4	$22.245\text{m} \pm 0.001\text{m}$		<u>relativ zu POS:</u>
PW-WTE	$202.717\text{m} \pm 0.001\text{m}$	PSO	0.2070 ± 0.001
SO4-SO5	$9.531\text{m} \pm 0.001\text{m}$		
SO4-SO6	$9.137\text{m} \pm 0.001\text{m}$		
SO4-WTE	$213.490\text{m} \pm 0.001\text{m}$		

5.7. Die Position der PRARE-Station Potsdam1 (PR1, 7740) nach der Pfeilersanierung

Nach der Pfeilersanierung wurde die bereits vorher am alten Pfeiler Süd-Ost installierte PRARE-Stahlplattform auch am neu errichteten Pfeiler montiert. Da diese Plattform nicht justierbar ist, mußte die Koordinate des Bezugspunktes (Bohrung in der Mitte der Plattform) neu bestimmt werden. Die diesbezüglichen Horizontalwinkel- und Höhenmessungen sind im folgenden protokolliert.

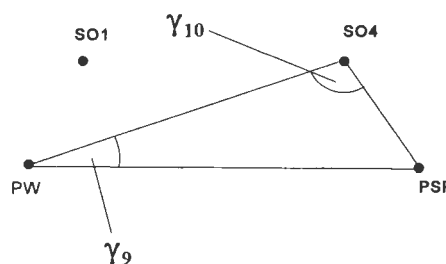


Abb. 12 Die Horizontalwinkel beim Anschluß des Punktes PSP

Horizontalstrecke/Winkel	Meßwert	Marke	Höhe [m] über PW
γ_9	$3.863^\circ \pm 0.0005^\circ$	PR1	0.2615 ± 0.002
γ_{10}	$131.485^\circ \pm 0.0005^\circ$	PSP	0.2035 ± 0.0005

6. Zusammenstellung der Koordinaten in verschiedenen Darstellungen

6.1. Topozentrische Darstellung

Nummer	Marke	Nord[m]	Ost[m]	Höhe[m]
2045	HTS	0.000	0.000	0.000
2046	PZ1	-27.2000	-26.3076	-15.1269
2053	PW	-108.8427	31.1317	-2.1590
2454	WTE	66.5310	-70.5466	7.8667
2060	HTW	2.068	-1.262	-0.002
2061	HTO	1.186	1.999	+0.002
1181	SBG	1.611	0.423	1.355
7836	LAS	-25.535	-26.577	-13.024
2062	PZ2	-27.199	-26.810	-15.127
2063	PZ3	-25.634	-26.369	-15.858
2064	PZ4	-25.633	-26.768	-15.858
2065	PZ5	-25.535	-26.577	-15.859
2051	PON	-105.918	54.853	-2.130
2052	POS	-108.8474	54.8425	-2.1355
2056	PSP	-108.8465	54.8433	-1.9555
2057	PWS	-109.6330	31.8130	-2.0670
2054	PNO	-105.918	54.853	-2.008
2055	PSO	-108.842	54.849	-1.927
7740	PR1	-108.8465	54.8433	-1.8995
7741	PR2	-109.633	31.813	-2.0055
2058	PRX	-108.842	54.849	-1.862
7742	PR3	-96.3093	58.9858	-3.290
2059	SNO	-96.3093	58.9858	-3.350
2071	SO1	-107.7501	32.6333	-2.0725
2072	SO2	-115.5906	32.4683	-3.1530
2073	SO3	-115.1366	27.6889	-3.1505
2074	SO4	-107.3474	53.3264	-2.0490
2075	SO5	-99.1734	58.2281	-3.7220
2076	SO6	-115.1121	58.1424	-3.7820
2455	WT	66.665	-70.561	7.832
2456	WTP	65.391	-71.747	7.880
7730	PRA	65.391	-71.747	7.938

6.2. Ellipsoidische Darstellung

Referenzellipsoid: **a = 6378140.000 m, 1/f = 298.25500**

Datum: **ITRF92**

Nummer	Marke	Breite [°]	Länge [°]	Ell. Höhe [m]
2045	HTS	52.380248350	13.065280971	143.6230
2046	PZ1	52.380003914	13.064894642	128.4962
2053	PW	52.379270226	13.065738133	141.4650
2454	WTE	52.380846231	13.064244973	151.4905
2060	HTW	52.380266935	13.065262438	143.6210
2061	HTO	52.380259008	13.065310326	143.6250
1181	SBG	52.380262828	13.065287182	144.9780
7836	LAS	52.380018877	13.064890686	130.5991
2062	PZ2	52.380003923	13.064887264	128.4961
2063	PZ3	52.380017987	13.064893740	127.7651
2064	PZ4	52.380017996	13.064887881	127.7651
2065	PZ5	52.380018877	13.064890685	127.7641
2051	PON	52.379296507	13.066086476	141.4941
2052	POS	52.379270182	13.066086322	141.4887
2056	PSP	52.379270190	13.066086333	141.6687
2057	PWS	52.379263124	13.065748138	141.5570
2054	PNO	52.379296507	13.066086476	141.6161
2055	PSO	52.379270231	13.066086417	141.6972
7740	PR1	52.379270190	13.066086333	141.7247
7741	PR2	52.379263124	13.065748138	141.6185
2058	PRX	52.379270231	13.066086417	141.7622
7742	PR3	52.379382856	13.066147167	140.3340
2059	SNO	52.379382856	13.066147167	140.2740
2071	SO1	52.379280045	13.065760184	141.5515
2072	SO2	52.379209585	13.065757760	140.4712
2073	SO3	52.379213666	13.065687576	140.4736
2074	SO4	52.379283662	13.066064058	141.5752
2075	SO5	52.379357118	13.066136040	139.9021
2076	SO6	52.379213883	13.066134779	139.8423
2455	WT	52.380847435	13.064244761	151.4558
2456	WTP	52.380835986	13.064227345	151.5038
7730	PRA	52.380835986	13.064227345	151.5618

6.3. Geozentrische kartesische Darstellung

Datum: **ITRF92**

Marke	Nummer	X [m]	Y [m]	Z [m]
2045	HTS	3800621.8352	882005.0026	5028857.4766
2046	PZ1	3800639.7745	881982.1590	5028828.8915
2053	PW	3800697.4940	882054.5197	5028789.3269
2454	WTE	3800591.1271	881925.4548	5028904.3194
2060	HTW	3800620.5237	882003.4027	5028858.7374
2061	HTO	3800620.4694	882006.7378	5028858.2021
1181	SBG	3800621.3023	882005.3132	5028859.5333
7836	LAS	3800639.8011	881981.8886	5028831.5735
2062	PZ2	3800639.8872	881981.6694	5028828.8921
2063	PZ3	3800638.1453	881981.7179	5028829.2683
2064	PZ4	3800638.2348	881981.3291	5028829.2690
2065	PZ5	3800638.1154	881981.4974	5028829.3280
2051	PON	3800689.8922	882077.1072	5028791.1352
2052	POS	3800692.1516	882077.6207	5028789.3427
2056	PSP	3800692.2577	882077.6462	5028789.4858
2057	PWS	3800698.0045	882055.3375	5028788.9174
2054	PNO	3800689.9647	882077.1240	5028791.2318
2055	PSO	3800692.2699	882077.6549	5028789.5111
7740	PR1	3800692.2910	882077.6539	5028789.5302
7741	PR2	3800698.0411	882055.3460	5028788.9661
2058	PRX	3800692.3085	882077.6639	5028789.5626
7742	PR3	3800680.8543	882079.2524	5028796.0817
2059	SNO	3800680.8187	882079.2441	5028796.0342
2071	SO1	3800696.3630	882055.7987	5028790.0624
2072	SO2	3800701.8074	882056.8928	5028784.4206
2073	SO3	3800702.5390	882052.1561	5028784.6997
2074	SO4	3800691.3884	882075.8872	5028790.3268
2075	SO5	3800682.9786	882078.9676	5028793.9912
2076	SO6	3800695.2602	882081.7298	5028784.2144
2455	WT	3800591.0063	881925.4120	5028904.3737
2456	WTP	3800592.2859	881924.4915	5028903.6340
7730	PRA	3800592.3204	881924.4995	5028903.6800

7. Überprüfung der Kalibrierung der SLR-Station 7836

Bezugspunkt der Laser-Entfernungsmessungen zu Satelliten ist der Kreuzungspunkt der ersten und zweiten Achse des 1m-Teleskops der Laserstation. Zur unabhängigen Überprüfung, ob das Lasermeßsystem der SLR-Station frei von systematischen Fehlern arbeitet, wurde ein Prisma des GEODIMETER-Systems auf dem Helmertturm über dem Punkt HTS aufgestellt und anschließend mit dem Laser-Teleskop die doppelte Lichtlaufzeit zwischen der SLR-Station und diesem Prisma bestimmt. Zur internen Eichung des Systems diente ein kleines, unmittelbar in den Strahlengang vor dem Hauptspiegel montiertes Prisma, dessen Position seiner Reflexionsebene bekannt war.

Auswertung der Laser-Messung:

Höhe des Prismas auf dem Helmertturm über der Marke HTS:		3.035 m
Mittelwert der Laufzeitmessung zum Prisma über HTS:		311.504 ns
Mittelwert der Messung zum Eichprisma vor dem Hauptspiegel:		50.867 ns
Entfernung der Reflexionsebene des Eichprismas von der 2. Achse		114.480 cm
RMS der Laser-Messung:		110 ... 160 ps
Differenz der Laufzeiten zu den verschiedenen Prismen:		311.504 ns
	-	50.867 ns
	=	<u>260.637 ns</u>
Berücksichtigung der Entfernung des Eichprismas von der 2. Achse:	+	7.632 ns
Um Systemdelay korrigierte Zwei-Wege-Laufzeit:	=	<u>268.269 ns</u>
Umrechnung in Ein-Weg-Strecke in trockener ² Luft: (Brechungsindex Luft: $n_{\text{Luft}}=1.00029$)	=	40.201 m

Vergleich mit den Ergebnissen der Einmessung mit GPS/GEODIMETER:

Marke / Topozentr. Koord.	Nord	Ost	Höhe
Prisma über HTS	0.000	0.000	3.035
Achsenkreuz SLR-Station	-25.535	-26.577	-13.024
Betrag des Abstandes			= 40.203 m
Differenz:			= 0.002 m

Die erhaltene Differenz liegt im Meßrauschen, d.h. die Messungen sind widerspruchsfrei und die SLR-Station arbeitet frei von systematischen Fehlern.

² Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit ist bei dieser kurzen Strecke vernachlässigbar.

8. Vergleich von terrestrischen mit GPS-Messungen

Bei der Durchführung der GEODIMETER-Anschlußmessungen an das GPS-Netz ergaben sich zwangsläufig Entfernungs- und Höhendifferenzmeßwerte, die vorher auch mit GPS bestimmt worden waren. Diese Werte sind im folgenden zusammengestellt. Der Vergleich der mit den verschiedenen Methoden gewonnenen Meßwerte sollte ein Maß für die Genauigkeit des vermessenen Netzes sein (vgl. auch Kap. 9).

Vektor	Meßsystem	Δr_{horiz} [m]	Δh [m]
PW→WTE	GPS	202.718	10.026
	GEODIMETER	202.723	10.041
LA1→HTS	GPS	37.836	15.127
	GEODIMETER	37.841	15.133

Δr_{horiz} : Horizontalentfernung
 Δh : Höhendifferenz

9. Zur Fehlerdiskussion

9.1. GPS-Messungen

Die oben beschriebenen Differenzen zwischen GPS und elektrooptischer Entfernungsmessung sowie die Klaffungen zwischen den Koordinaten der beiden in Kapitel 4 beschriebenen L1-Teillösungen sollten ein Maß für die Genauigkeit der GPS-Punkte sein. Danach kann man bei den Horizontalkomponenten von einer Unsicherheit von $\pm 5\text{mm}$ und bei den Höhen von $\pm 10\text{mm}$ ausgehen

Zwischen der terrestrischen und der GPS-Messung gab es bezüglich der Höhe der Marke LA1 zunächst eine unerklärbare Differenz von ca. 10 cm. Es war jedoch möglich, die Antennenaufstellung über LA1 zu rekonstruieren. Der Betrag der Antennenhöhe über LA1 ergab sich dabei zu 11.2cm größer als der ursprünglich angegebene Wert und stimmte nach einer erneuten Ausgleichung auf 5mm mit der GEODIMETER-Messung überein (siehe oben).

9.2. Terrestrische Anschlußmessungen

Zu allen im Kapitel 5 protokollierten Winkel- bzw. Streckenmessungen sind Fehler angegeben. Diese wurden aus der Streuung von Wiederholungsmessungen abgeschätzt. Dabei handelte es sich nicht allein um wiederholtes Anzielen in einer Aufstellung, sondern in der Regel um Wiederholungen in Neuaufstellungen an verschiedenen Tagen. Demnach repräsentieren die angegebenen Fehler in erster Linie die Ungenauigkeiten beim Abloten von Prismen und GEODIMETER auf die Marken.

Im Fall des sehr steilen Anzielens der Marken LA3, LA4 und LA5 ausgehend von LA1 und LA2 wurden die Horizontalwinkel mit dem GEODIMETER in doppelter Fernrohrlage gemessen. Die automatische Stehachsenkorrektur war dabei immer eingeschaltet. Es ergaben sich horizontal

Differenzen von maximal 0.004° . Das entspricht in diesem Fall bei einer Entfernung zwischen GEODIMETER und Marke von ca. 1.5m einer Unsicherheit von ca. 0.1mm. Dieser Wert ist als Unsicherheit des Auges beim Anzielen erklärbar. Das bestätigt die Genauigkeit der automatischen Stehachsenkorrektur, die das Messen in doppelter Fernrohrlage in der Regel überflüssig macht /3/.

Die Höhenfehler ergaben sich aus der Unsicherheit der Bestimmung des Bezugspunktes am GEODIMETER und der Ablesegenauigkeit am verwendeten Maßstab sowie ebenfalls aus Wiederholungsmessungen.

10. Vergleich einiger gemessener topozentrischer Vektoren mit früheren Messungen

Vektor		Nord [m]	Ost [m]	Höhe [m]	Δr_{total} [m]	Δr_{horiz} [m]
SBG→PW						
Korth 1983	/4/	-110.485	30.705	-3.544	114.727	114.672
Riesner 1990	/5/	-110.473	30.725	-3.513	114.720	114.666
Eigene Messung		-110.454	30.709	-3.514	114.697	114.643
SBG→WT						
Korth 1983	/4/	65.072	-71.007	6.468	96.530	96.313
Riesner 1990	/5/	65.048	-70.989	6.496	96.503	96.284
Eigene Messung		65.054	-70.984	6.477	96.502	96.285
WT→PW						
Korth 1983	/4/	-175.557	101.712	-10.012	203.140	202.893
Riesner 1990	/5/	-175.485	101.714	-10.009	203.078	202.832
Eigene Messung		-175.508	101.693	-9.991	203.0881	202.841

Δr_{total} : Räumlicher Abstand
 Δr_{horiz} : Horizontaler Abstand

11. Quellenverzeichnis:

- /1/ Wilfried Korth, persönliche Mitteilung
- /2/ Reinhardt Neubert, persönliche Mitteilung
- /3/ GEODIMETER System 500, Systembeschreibung
- /4/ Wilfried Korth, Handschriftliche Aufzeichnungen zur durchgeführten Vermessung, Potsdam 1983
- /5/ Angela Riesner, Anschlußmessung für ausgewählte Meßpunkte in Bezug auf den Mittelpfeiler des Helmertturmes, Praktikumsarbeit im Rahmen des Geodäsiestudiums an der TU Dresden, Handschriftliche Aufzeichnungen, Potsdam 1990
- /6/ Chr. Förste, Die Sicherung der alten Pfeiler und ihre Rekonstruktion auf dem Dach von Gebäude A17, GFZ Potsdam, Scientific Technical Report 97/04, 1997

