

Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikationsreihe
«Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz»)

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission
(Organ der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

Einundfünfzigster Band
Volume 51

DREIDIMENSIONALES TESTNETZ TURTMANN 1985 - 1993

TEIL II (GPS-NETZ)

F. Jeanrichard (Herausgeber)

Autoren:

Gerhard Beutler
Alain Geiger
Markus Rothacher
Stefan Schaer
Dieter Schneider
Adrian Wiget

1995



Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikationsreihe
«Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz»)

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission
(Organ der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

Einundfünfzigster Band

Volume 51

DREIDIMENSIONALES TESTNETZ TURTMANN 1985 - 1993

TEIL II (GPS-NETZ)

F. Jeanrichard (Herausgeber)

Autoren:

Gerhard Beutler
Alain Geiger
Markus Rothacher
Stefan Schaer
Dieter Schneider
Adrian Wiget

1995

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Eidg. Technische Hochschule Zürich
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich
Switzerland

Redaktion des 51. Bandes:

Dr. D. Schneider
Dr. B. Bürki

Druck: OWADRUCK, CH - 3173 Oberwangen

VORWORT

Im Band 45 dieser Publikationsreihe der Schweizerischen Geodätischen Kommission mit dem Titel: "Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1990", Teil I, sind die Anlage und Installation des Testnetzes Turtmann sowie die terrestrische Messung des Netzes beschrieben.

Der vorliegende zweite Band befasst sich mit der Beschreibung der 14 GPS-Messkampagnen, welche von 1985 - 1993 stattfanden (Kapitel 5), sowie mit der Auswertung der Messungen und der Beurteilung der Resultate (Kapitel 6). Das Kapitel 7 ist der kombinierten Ausgleichung der GPS-Messungen mit den terrestrischen Beobachtungen gewidmet.

Im Rahmen dieser 14 GPS-Messkampagnen, welche in Zusammenarbeit mit 15 verschiedenen schweizerischen und ausländischen Instituten durchgeführt worden sind, konnten 16 verschiedene Typen von GPS-Empfängern erprobt werden. Die Menge der dabei gewonnenen Messdaten ist beträchtlich und deren Auswertung und Analyse konnte nur mit einem enormen Effort bewältigt werden. Diese Arbeiten wurden von Herrn Professor G. Beutler, Direktor des Instituts für Astronomie der Universität Bern, den Herren Alain Geiger, Markus Rothacher, Stefan Schaer, Dieter Schneider und Adrian Wiget mit Brillanz geleitet, durchgeführt und in aller Gründlichkeit dokumentiert. Die Schweizerische Geodätische Kommission dankt allen Beteiligten wärmstens für die beispielhafte Arbeit, welche meist neben den täglichen Verpflichtungen geleistet werden musste. Ebenso gilt unser Dank allen schweizerischen und ausländischen Institutionen, welche sich an den Messkampagnen beteiligt hatten und damit einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der satellitengestützten Messverfahren in der Geodäsie und der praktischen Vermessung geleistet haben.

Die folgenden Ziele waren bei der Konzeption des Testnetzes Turtmann festgelegt worden:

1. Test und Evaluation von GPS-Empfängern
2. Test neuer geodätischer Messgeräte und Messmethoden
3. Untersuchung von rezenten Bewegungen der obersten Erdkruste

Ohne Zweifel konnten aufgrund der im Testnetz Turtmann gewonnenen Erfahrungen die grundsätzlich bei GPS-Messungen auftretenden Probleme erkannt werden. Diese betreffen die Wahl des Troposphärenmodells (besonders bei Netzen mit grossen Höhendifferenzen), die genaue Kenntnis der Satelliten-Bahndaten (wichtig bei grossen Netzen), die Bildung von Ionosphärenmodellen sowie die Berücksichtigung von Antennenkalibrierungen. Bei der kombinierten Ausgleichung der terrestrischen Messungen zusammen mit den GPS-Koordinatensätzen wurden einige interessante Ergebnisse erzielt. Die Korrelation zwischen den Residuen der Vertikalkomponente der GPS-Koordinaten und den Stationshöhen weist auf noch unvollkommen erfasste systematische Restfehler in den Messungen hin.

Zwischen den ersten Messkampagnen von 1985 und jener von 1993 hat sich die Konstellation der GPS-Satelliten stark verändert. Die Qualität der GPS-Empfänger sowie der Auswerteprogramme wurde wesentlich verbessert. Deswegen dürfte es z. Z. noch schwierig sein, kleinste Relativbewegungen der obersten Erdkruste aus den über eine relativ kurze Zeitspanne vorhandenen wiederholten Messungen aufzudecken. Aber die neueren Messungen im Testnetz Turtmann und deren Auswertung erreichen eine immer grössere Perfektion. In naher Zukunft werden diese eine Antwort auf die tektonischen Fragestellungen in dieser Region erlauben.

Die Schweizerische Geodätische Kommission dankt den Autoren des vorliegenden Bandes aufrichtig für den wichtigen Beitrag zur Entwicklung der geodätischen Wissenschaft in der Schweiz. Ihr Dank gilt auch Frau Christine Studer für die Bearbeitung des Manuskripts und Dr. Beat Bürki für die Vorbereitung der Drucklegung. Nicht zuletzt ist sie der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften für die Übernahme der Druckkosten dieses Bandes zu Dank verpflichtet.

Im Namen der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

Direktor F. Jeanrichard
Bundesamt für Landestopographie
Vizepräsident der SGK

Prof. Dr. H.-G. Kahle
ETH Zürich
Präsident der SGK

PRÉFACE

La mise en place du réseau de Tourtemagne ainsi que les mesures terrestres sont décrites dans le volume no 45 de la série des publications de la Commission géodésique suisse sous le titre "Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1990", Teil I.

Le présent deuxième volume est consacré à la description des 14 campagnes de mesures GPS effectuées de 1985 à 1993 (chapitre 5) ainsi qu'aux résultats de ces mesures (chapitre 6). Le chapitre 7 décrit les résultats obtenus en combinant les mesures terrestres et les mesures GPS.

Ces 14 campagnes de mesures GPS ont permis de tester 16 types de récepteurs et ont été conduites par 15 organisations suisses et étrangères. La somme des données accumulées est donc considérable et l'analyse de toutes ces données représente un énorme travail. Ce travail a été conduit de façon magistrale par le professeur G. Beutler, directeur de l'Institut d'astronomie de l'Université de Berne et documenté minutieusement par les auteurs MM. Alain Geiger, Markus Rothacher, Stefan Schaer, Dieter Schneider et Adrian Wiget. La Commission géodésique suisse remercie chaleureusement ces chercheurs pour le travail accompli de manière exemplaire et bien trop souvent en plus de leur labeur quotidien. Que toutes les institutions suisses et étrangères qui ont participé aux campagnes de mesures soient également remerciées de leur contribution, si importante pour le développement des méthodes de mesures géodésiques par satellites.

Les buts que l'on s'était fixés en réalisant le réseau de Tourtemagne étaient les suivants:

1. Le contrôle et l'évaluation de récepteurs GPS
2. Le contrôle de nouveaux appareils de mesures géodésiques et de nouvelles méthodes de mesures
3. La détection de mouvements récents de la croûte terrestre

Sans conteste, les expériences accumulées grâce au réseau de Tourtemagne ont permis de cerner les problèmes principaux rencontrés avec les mesures GPS: choix du modèle de la troposphère (important pour les réseaux avec de grandes différences d'altitudes), connaissance des paramètres orbitaux (important surtout pour les grands réseaux), et enfin la modélisation de l'ionosphère ainsi que la calibration des antennes. La compensation des mesures terrestres et GPS combinées a également révélé quelques problèmes intéressants, en particulier celui de la corrélation entre les résidus de la composante verticale des coordonnées et l'altitude des stations.

Entre les premières campagnes de 1985 et celles de 1993, la configuration des satellites a changé. La qualité des récepteurs GPS ainsi que les logiciels utilisés pour le traitement des mesures ont également été fortement améliorés. De ce fait, la détection de faibles mouvements de la croûte terrestre sur une période relativement courte, est difficile. Mais de nouvelles mesures seront effectuées dans le réseau de Tourtemagne avec des instruments de plus en plus performants et analysées avec des méthodes de plus en plus affinées. Elles permettront dès lors d'apporter une réponse plus précise à la question des mouvements de la croûte terrestre dans cette région.

La Commission géodésique suisse remercie très sincèrement les auteurs du présent volume de leur importante contribution au développement de la science géodésique en Suisse. Elle remercie également Mme Christine Studer pour l'élaboration du manuscrit et M. Beat Bürki pour la préparation des travaux d'impression. Enfin, elle exprime sa gratitude envers l'Académie suisse des sciences naturelles qui a pris les coûts d'impression de ce volume à sa charge.

Au nom de la Commission géodésique suisse:

F. Jeanrichard, directeur
de l'Office fédéral de topographie
Vice-président de la CGS

Prof. Dr. H.-G. Kahle
ETH Zurich
Président de la CGS

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		
5	GPS - Messkampagnen 1985 - 1993 (Autoren: A. Geiger, D. Schneider, A. Wiget)	1
5.1	Allgemeines	1
5.1.1	Zielsetzungen	1
5.1.2	GPS-Netzanlage	2
5.1.3	Vorgehen bei den GPS-Tests	7
5.1.4	GPS-Tests 1985-93: Übersicht	9
5.2	Messkampagnen 1985	10
5.2.1	Übersicht	10
5.2.2	Turt-85.1: Macrometer V-1000 und Sercel TR5S	11
5.2.3	Turt-85.2: Texas Instruments TI-4100	19
5.3	Messkampagne 1986	23
5.3.1	Übersicht	23
5.3.2	Turt-86: Trimble 4000S und WILD-Magnavox WM-101	24
5.4	Messkampagnen 1987	28
5.4.1	Übersicht	28
5.4.2	Turt-87.1: WILD-Magnavox WM-101	28
5.4.3	Turt-87.2: Trimble 4000SX	30
5.5	Messkampagnen 1988	33
5.5.1	Übersicht	33
5.5.2	Turt-88.1: Trimble 4000SL	34
5.5.3	Turt-88.2: Trimble 4000SL/SLD	37
5.5.4	Turt-88.3: Sercel NR52	38
5.6	Messkampagne 1989	41
5.6.1	Übersicht	41
5.6.2	Turt-89: WILD-Magnavox WM-102 und Trimble 4000ST/SLD	41
5.7	Messkampagnen 1990	44
5.7.1	Übersicht	44
5.7.2	Turt-90.1: Rogue SNR-8, Trimble 4000SLD	44
5.7.3	Turt-90.2: Ashtech LD-XII - L2	46
5.8	Messkampagnen 1991-92	50
5.8.1	Übersicht	50
5.8.2	Turt-91: WILD SR299	50
5.8.3	Turt-92: Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE, Wild SR299	52
5.9	Messkampagne 1993	57
5.9.1	Übersicht	57
5.9.2	Turt-93: Trimble 4000SSE: Permanentbetrieb 4 x 24 h	57
6	Auswertungen der GPS-Messkampagnen (Autoren: G. Beutler, A. Geiger, M. Rothacher, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget)	62
6.1	Einleitung	62
6.1.1	Zur Geschichte	62

6.1.1.1	Das GPS	62
6.1.1.2	Die Empfänger	62
6.1.1.3	Die Bahnen	63
6.1.1.4	Permanente GPS-Stationen	63
6.1.2	Die Berner GPS-Software	64
6.1.2.1	Allgemeines	64
6.1.2.2	Turtmann und die Modelle für die Vermessung kleiner Netze mit GPS	65
6.1.3	Firmensoftware	68
6.1.4	Das Bezugssystem	70
6.1.5	Vergleichskordinaten Turt-Terr-86 (ground truth)	73
6.1.6	Die alten GPS-Auswertungen im Überblick	75
6.1.7	Neuauswertungen 1994	76
6.2	Auswertungen 1985	77
6.2.1	Übersicht	77
6.2.2	Turt-85.1: Macrometer V-1000 und Sercel TR5S	77
6.2.3	Turt-85.2: Texas Instruments TI-4100	77
6.3	Auswertungen 1986	78
6.3.1	Übersicht	78
6.3.2	Turt-86.1: WILD-Magnavox WM-101	80
6.3.3	Turt-86.2: Trimble 4000S	82
6.4	Auswertungen 1987	84
6.4.1	Übersicht	84
6.4.2	Turt-87.1: WILD-Magnavox WM-101	86
6.4.3	Turt-87.2: Trimble 4000SX	88
6.5	Auswertungen 1988	91
6.5.1	Übersicht	91
6.5.2	Turt-88.1: Trimble 4000SL	91
6.5.3	Turt-88.2: Trimble 4000SL/SLD	91
6.5.4	Turt-88.3: Sercel NR52	93
6.6	Auswertungen 1989	94
6.6.1	Übersicht	94
6.6.2	Turt-89: WILD-Magnavox WM-102	96
6.7	Auswertungen 1990	100
6.7.1	Übersicht	100
6.7.2	Turt-90.1: Rogue SNR-8, Trimble 4000SLD	101
6.7.3	Turt-90.2: Ashtech LD-XII - L2	105
6.8	Auswertungen 1991-92	108
6.8.1	Übersicht	108
6.8.2	Turt-91: WILD SR299	108
6.8.3	Turt-92: Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE und WILD SR299	108
6.8.3.1	L1- und L3-Lösungen im Vergleich	112
6.9	Auswertungen 1993	115
6.9.1	Übersicht	115
6.9.2	Turt-93: Trimble 4000SSE (Permanentbetrieb)	117
6.9.2.1	Vergleich der L1-, L2- und L3-Gesamtlösungen mit stationsspezifischen Meteor-Schätzungen	119
6.9.2.2	Innere und äussere Genauigkeit	120
6.9.2.3	Analyse der Lösungen mit stationsspezifischen Zenitkorrektur-Schätzungen	120
6.9.2.4	Analyse der Lösungen mit höhenabhängigem Troposphärenmodell	123
6.9.2.5	Vergleich mit den terrestrischen Koordinaten	126
6.9.3	Nebenbetrachtung 1: Die Bahnqualität	128
6.9.4	Nebenbetrachtung 2: Die Ionosphäre	131

7	Gesamtauswertungen	133
	(Autoren: G. Beutler, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget)	
7.1	GPS-Auswertungen im Überblick	133
7.1.1	Die Neuauswertungen 1994	133
7.1.2	Beurteilung der Resultate	134
7.1.3	GPS-Schlussresultat (Turt-93)	141
7.2	Dreidimensionale Gesamtausgleichungen des hybriden Netzes	144
7.2.1	Zielsetzung der hybriden Gesamtausgleichungen	144
7.2.2	Modell der Gesamtausgleichung (Programm RAUMTRI)	145
7.2.2.1	Lagerung des GPS-Koordinatensatzes	145
7.2.2.2	Fehlergleichungen für die GPS-Beobachtungen	145
7.2.2.3	Verbesserungsgleichungen für die Gesamtausgleichung	146
7.2.2.4	Normalgleichungen für die Gesamtausgleichung	146
7.2.2.5	Resultate	146
7.2.3	Hybride Gesamtausgleichungen mit GPS-Koordinaten im Vergleich	147
7.2.4	Gesamresultat des hybriden Netzes (Turt-Terr-86 + GPS-93)	149
7.2.5	Beurteilung der Resultate und Schlussfolgerungen	165
8	Schlusswort	168
8.1	Epilog	168
8.2	Ausblick	168
8.3	Dank	169
	Literatur	



5 GPS - Messkampagnen 1985 - 1993

(Autoren: A. Geiger, D. Schneider, A. Wiget)

5.1 Allgemeines

5.1.1 Zielsetzungen

In Kap.1.2 (Teil I) sind die Zielsetzungen des 3D-Testnetzes Turtmann, wie sie von der Arbeitsgruppe GPS der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) definiert wurden, eingehend beschrieben. Als kurzfristiges Ziel wird die Bereitstellung eines GPS-Testnetzes postuliert. Dieses soll der Prüfung von GPS-Empfängern sowie der Mess- und Auswerteverfahren dienen.

Im Herbst 1985 waren die ersten geodätisch interessanten GPS-Empfänger auf dem Markt. Da sowohl das Institut für Geodäsie der ETH (IGP) wie auch das Bundesamt für Landestopographie (L+T) solche Geräte beschaffen und die neue Methode in ihrem Bereich einsetzen wollten, wurde beschlossen, alle verfügbaren Gerätetypen einem Test zu unterziehen. Das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB) war beim Entwurf der Testprogramme beratend beteiligt. Bei der Anlage der Tests waren die folgenden Fragestellungen und Zielsetzungen im Vordergrund:

- Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messmethode
- Verwendbarkeit der Messverfahren und Auswertemodelle im Gebirge
- Praktische Handhabung der Geräte im Feld
- Auswertung der GPS-Messdaten mit firmeneigenen Programmen und mit der Berner GPS-Software
- Kombinierte 3D-Ausgleichung der GPS-Resultate mit den terrestrischen Messungen im Netz
- Gewinnen von ersten praktischen Erfahrungen und Ausbildung der Mitarbeiter

Nachdem 1987 sowohl die beiden Institute an den ETH Lausanne und Zürich wie auch die L+T GPS-Empfänger (vom Typ WM-101 bzw. Trimble 4000SL/SLD) beschafft hatten, ging es einerseits um technische Abnahmetests und andererseits um die Erprobung verschiedener, neu auf dem Markt erschienener Geräte und Software. Im Herbst 1992 wurden weitere Messungen für die Evaluation im Rahmen der Nachfolgebeschaffung 1993 der L+T durchgeführt.

Bei der 3D-Ausgleichung der GPS-Vektoren zusammen mit den terrestrischen Beobachtungen zeigte sich deutlich, dass die bei der GPS-Auswertung angewendeten Troposphärenmodelle keine befriedigende Höhenbestimmung erlauben. Während beim Vergleich der 3D-Koordinatensätze aus GPS mit jenen aus der terrestrischen Ausgleichung ('ground truth'; s. Kap.2.8.6, Teil I) die Lageunterschiede im Bereich von wenigen mm lagen, blieben in der Höhe jeweils Klaffen von bis zu 1.5 cm. Ähnliche Probleme zeigten sich auch bei der Auswertung der Teilnetze des neuen GPS-Landesnetzes LV95 im Gebirge [Schneider, 1993].

Prof. Beutler (AIUB) regte im Frühjahr 1993 bei der SGK eine Fortsetzung der Erforschung von Troposphärenmodellierungen am AIUB an. Zu diesem Zweck empfahl er eine intensive Messkampagne mit Permanentmessungen während mehreren Tagen in Turtmann. Diese Idee wurde von der L+T unterstützt, da damit auch ein Beitrag an die Lösung des Höhenproblems im Rahmen von LV95 geleistet werden könnte. Herr Dr. Bürki (IGP) bot seine Unterstützung durch Ballonsondierungen oder falls terminlich möglich, durch simultane Messungen mit dem Wasserdampf-Radiometer an.

Die L+T organisierte im September 1993 die Messkampagne *Turt-93*, bei welcher mit 9 Trimble 4000SSE während 4 x 24 Stunden auf allen Stationen des Netzes permanent gemessen wurde. Berücksichtigt man die der Satellitenkonstellation entsprechende hohe Zahl der verwendeten Satelliten, so ist es sofort klar, dass mit diesen Messungen eine bis jetzt nicht erreichte Präzision der Punktbestimmung möglich wurde.

5.1.2 GPS-Netzanlage

Die Netzanlage und die Versicherung der Kontrollpunkte ist in Kap.1 (*Teil I*) ausführlich beschrieben. Für die GPS-Messung gelten andere Kriterien für die Standortwahl der Stationspunkte als bei den terrestrischen Messungen. Wichtig ist bei GPS-Stationen nicht mehr die gegenseitige Sichtbarkeit der Netzpunkte sondern der ungehinderte Empfang der Satellitensignale. Deshalb wurden bei den Stationen 3.JEIZ und 6.AGAR spezielle GPS-Stationen-Exzentren versichert (Bezeichnungen: 3.GPS, 6.GPS), bei welchen eine optimale Hindernisfreiheit erreicht werden konnte (s. Kap.2.7.3, *Teil I*). Die Kulisse und damit die relative Horizontfreiheit der verschiedenen GPS-Stationenpunkte ist in den Abbildungen 5.1-3 bis 5.1-10 ersichtlich. Diese Aufnahmen der sichtbaren Hemisphäre wurden im September 1994 von D. Schneider mit einem Spezialobjektiv Fisheye-Nikkor 8mm/2.8, Öffnungswinkel: 180° (Leihgerät der Fa. Nikon AG, Küsnacht) aufgenommen. Die Aufbereitung der Bilder erfolgte mit dem Programm "Photo-stop" auf einem PC (Apple Macintosh) durch S. Reusser (L+T).

Da ab 1987 bei gewissen Kampagnen eine grosse Zahl von GPS-Empfängern gleichzeitig eingesetzt werden musste, entstand das Bedürfnis nach zusätzlichen Stations-Exzentren. Zu diesem Zweck wurden weitere Exzentren oder geeignete Rückversicherungspunkte zu GPS-Stationenpunkten aufgewertet (2.GPS, 3.GPS.E, 8.1). Eine Liste der GPS-Stationenpunkte mit den zugehörigen geozentrischen Koordinaten ist in Tabelle 2.8-6 (*Teil I*) enthalten.

Speziell zur Untersuchung des Einflusses der troposphärischen Refraktion auf die Höhenbestimmung mit GPS wurde 1986 am Emshorn auf ca. 2265 m Höhe ein weiterer GPS-Stationenpunkt 9.EMSH installiert, der aber bis heute terrestrisch nicht bestimmt wurde (s. Kap.2.7.3, *Teil I*).

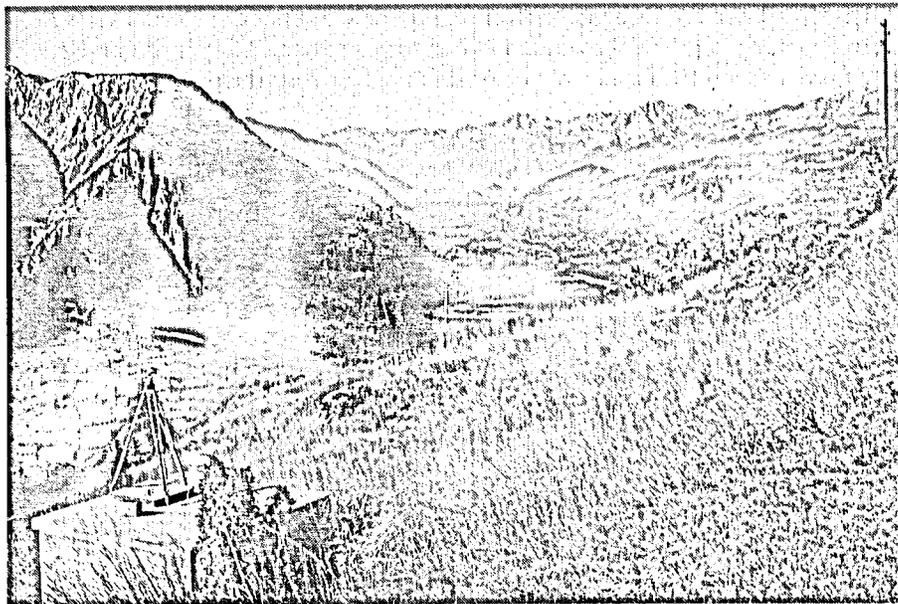


Abbildung 5.1-1: Sicht von Station 2.BRAE (Bräntsch) Richtung Sion (Foto IGP)

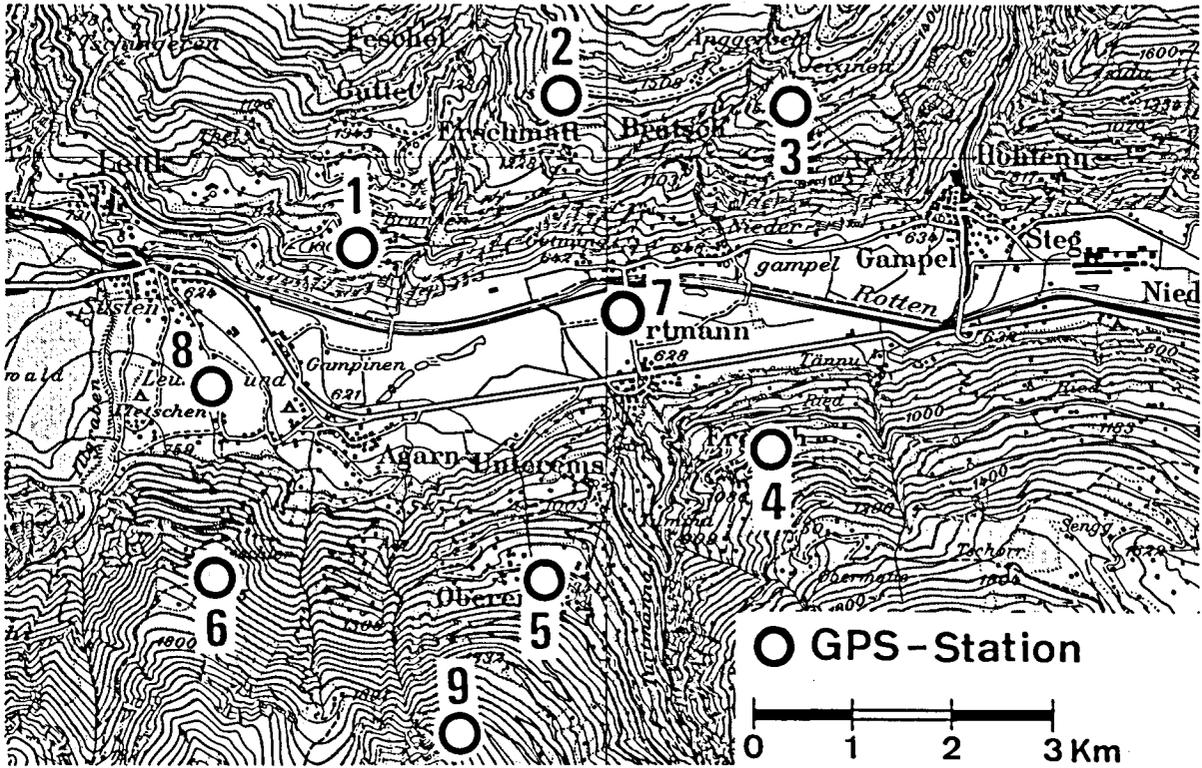


Abbildung 5.1-2: 3D-Testnetz Turtmann: Übersicht mit GPS-Stationen

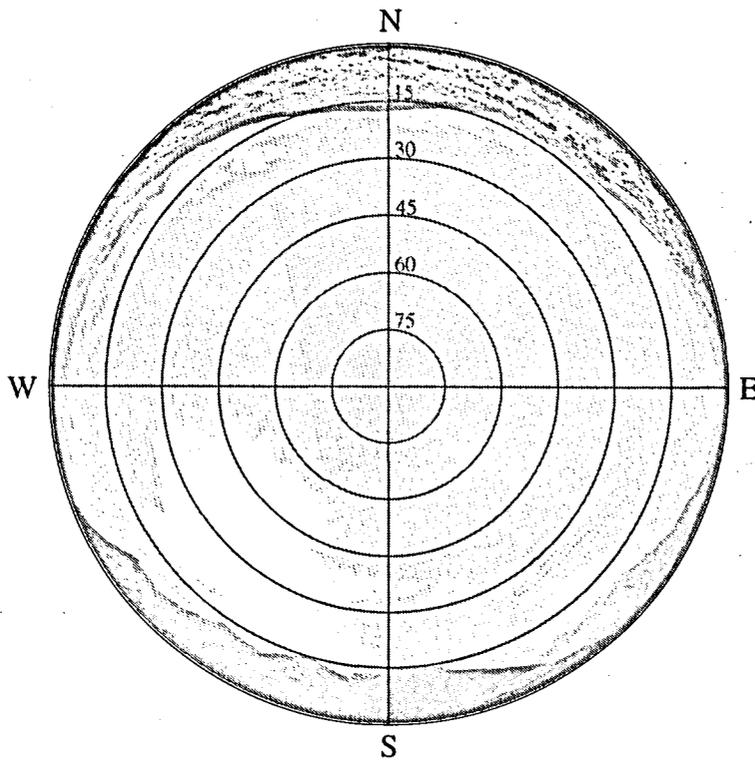


Abbildung 5.1-3: GPS-Station 1BRUN, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

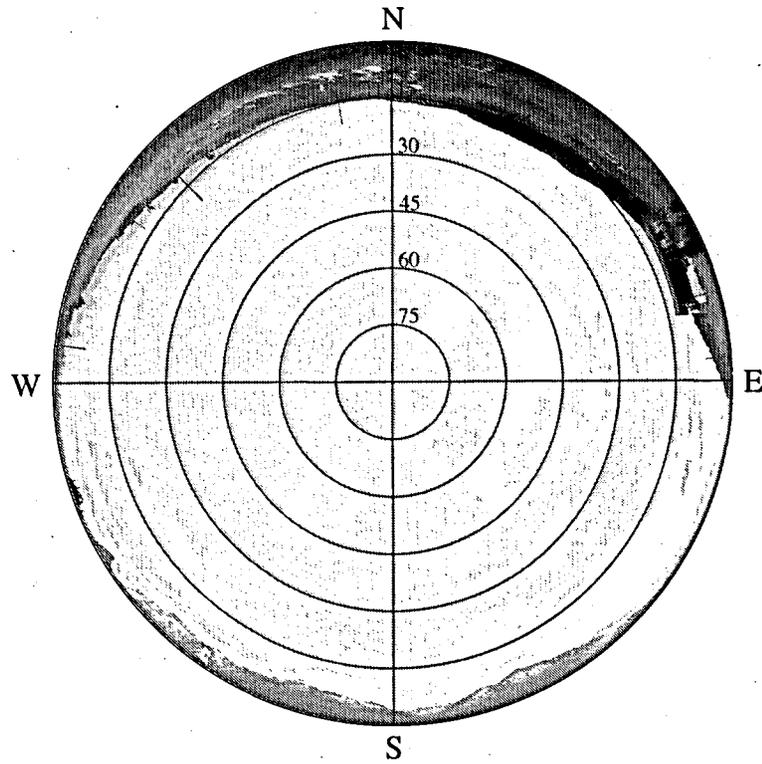


Abbildung 5.1-4: GPS-Station 2.BRAE, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

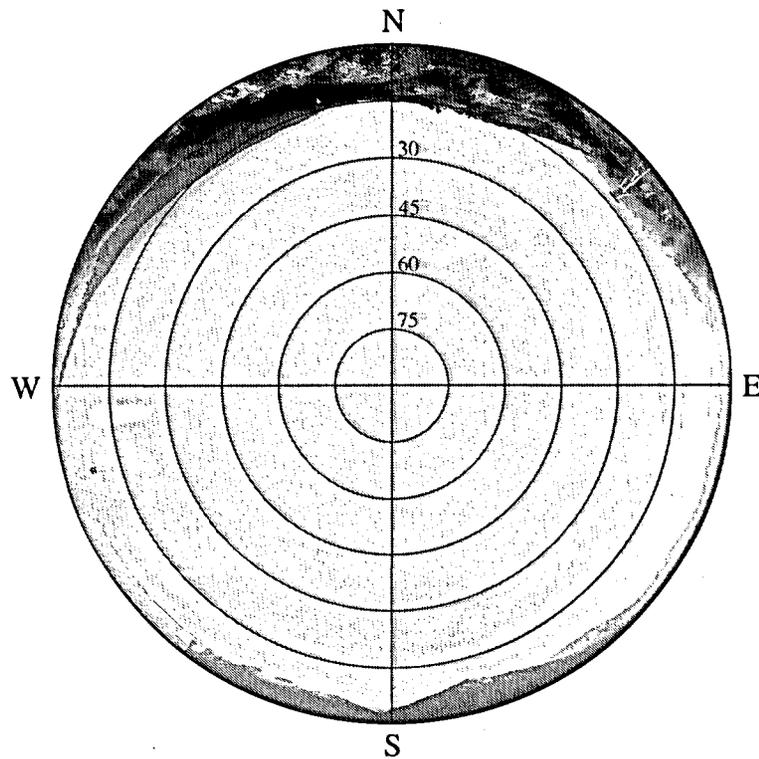


Abbildung 5.1-5: GPS-Station 3.GPS (Jeizinen), Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

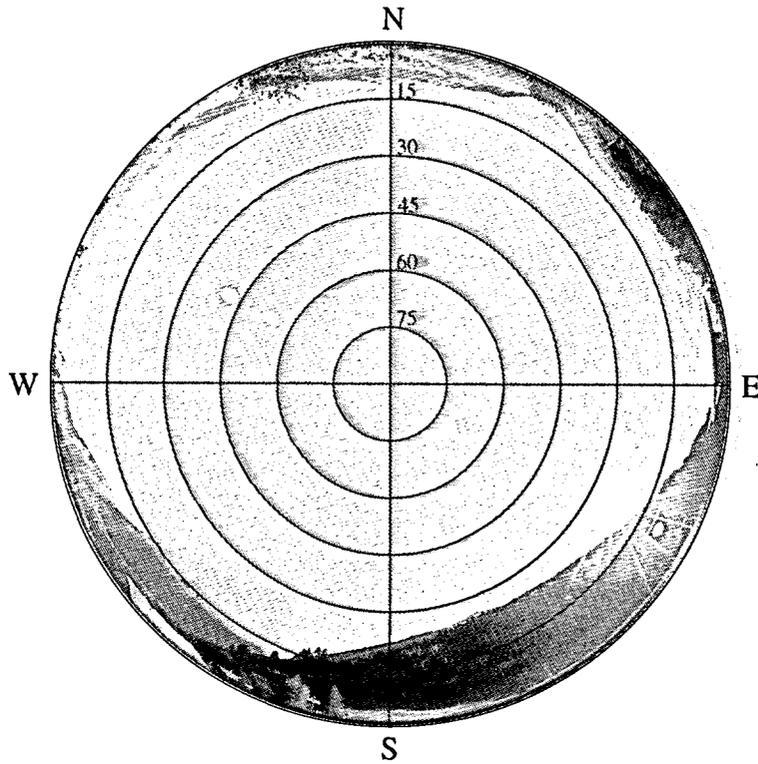


Abbildung 5.1-6: GPS-Station 4.ERGI, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

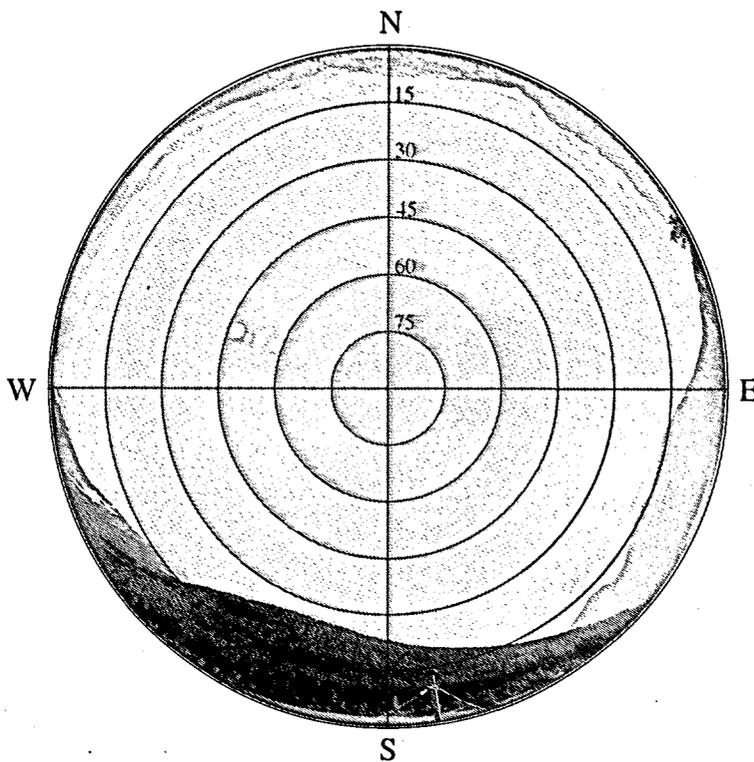


Abbildung 5.1-7: GPS-Station 5.OEMS, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

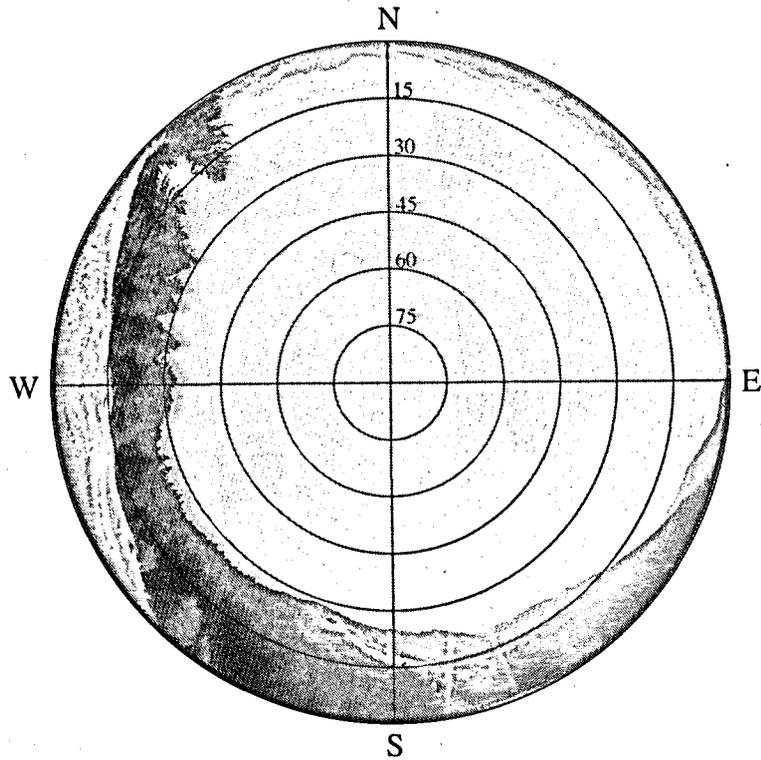


Abbildung 5.1-8: GPS-Station 6.GPS (Agarn), Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

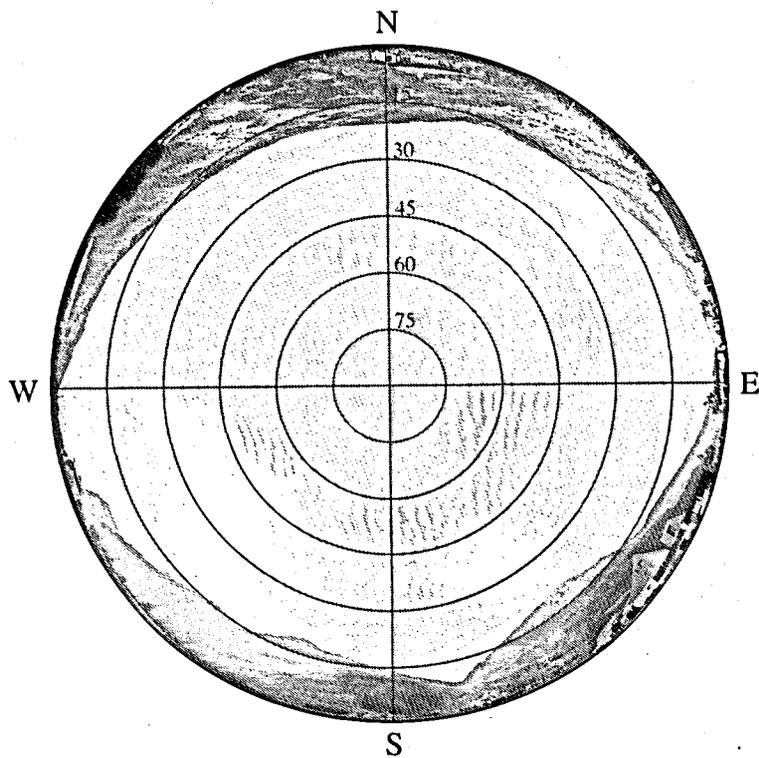


Abbildung 5.1-9: GPS-Station 7.TURT, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

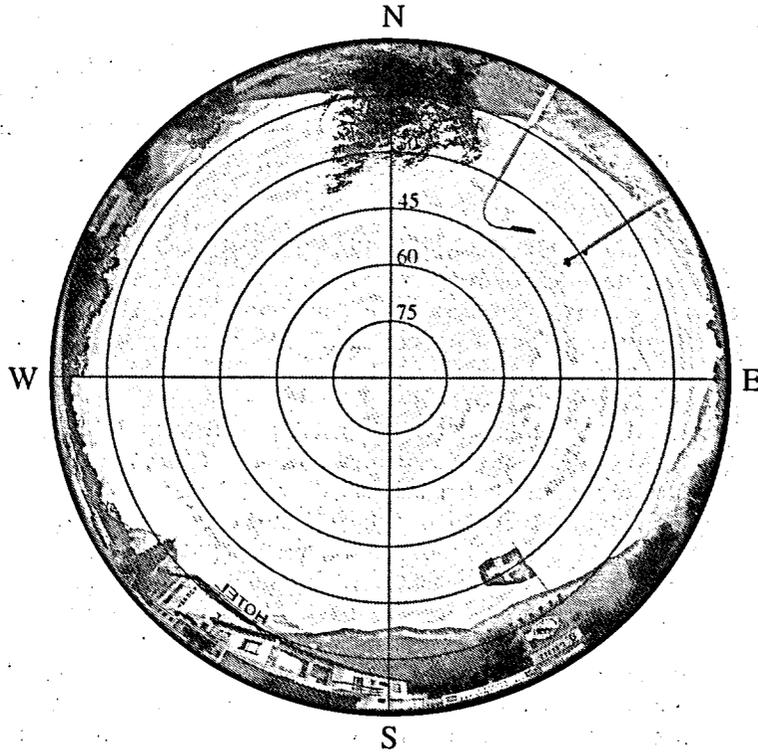


Abbildung 5.1-10: GPS-Station 8.SUST, Abschattung der Satellitensignale durch das Gelände (Fisheye-Aufnahme L+T)

5.1.3 Vorgehen bei den GPS-Tests

Bei den GPS-Messungen im Testnetz Turtmann wurden die folgenden Verfahren standardmässig angewandt:

Installation der Empfänger: Stationierung auf demontierbaren Stahlpfeilern (s. Kap.1.5.2, Teil I) mit Kreuzschlitten (System AIUB). Zwangszentrierung der Antennen mit Hilfe von Adaptern (unten: System KERN; oben: Schraube 5/8"). Bei den GPS-Exzentren 2.GPS, 3.GPS, 3.GPS.E, 6.GPS, 7.1, 7.2 und 8.1 wurde jeweils ein schweres KERN-Stativ mit Kreuzschlitten aufgestellt.

Zentrierung: Optische Präzisionszentrierung mit optischen Loten von Theodoliten oder mit dem automatischen Nadirlot WILD und mit Hilfe von Zentriersätzen (LEPONT-Zapfen; s. Kap.1.5.2, Teil I) sowie den Kreuzschlitten vor der Stationierung. Kontrolle nach der Messung.

Messung der Antennenhöhen: Vor der Stationierung wurde die Höhe der 3 Füsschen der KERN-Zentrierung auf den Kreuzschlitten mit Hilfe eines Präzisionsnivelements bestimmt. Als Referenzpunkt für die Antennenhöhe wurden konsequent immer die exzentrisch angelegten Niete verwendet. Als Grobkontrolle wurde meist die Höhe über dem zentrischen Kappenbolzen (Ring bei geöffneter Kappe) mit Hilfe des Doppelometers gemessen.

**Antennenausrichtung
und -prüfung:**

Die Antennen wurden bei allen Stationierungen mit dem Kompass nach Norden ausgerichtet. Nach 1987 wurden bei den meisten Messungen nur vorgängig auf der Teststrecke Thun geprüfte Antennen eingesetzt. Die Antennenoffsets wurden dann bei der Auswertung als Korrektur eingeführt.

Operating:

Bis und mit *Turt-92* wurden die Empfänger jeweils durch Operateure aufgestartet und während der Messung überwacht. Dabei wurden meist gut ausgebildete Vermessungsfachleute eingesetzt. Bei der Messkampagne *Turt-93* mit 4 x 24 h Permanentbetrieb musste von diesem Grundsatz abgewichen werden.

Stromversorgung:

Bei den Stationen 3.GPS, 4.ERGI, 5.OEMS, 7.TURT, 8.SUST und 9.EMSH ist eine Netzstromversorgung (220V) möglich. Bei diesen Punkten wurde anfänglich ein direkter Netzanschluss (mit Kabelrollen) hergestellt. Bei den übrigen Punkten musste die Stromversorgung anfänglich mit mehreren Autobatterien (12-24V) und später mit Geräte-eigenen Akkus hergestellt werden. Bei der Permanentmessung (*Turt-93*) musste die Netzstromversorgung wieder aktiviert werden.

Stations-Meteomessung:

Bei allen Messkampagnen mit Beteiligung der L + T wurde der Erfassung der Atmosphärendaten grosse Bedeutung beigemessen. Die angewendeten Messverfahren entsprechen der früher bei elektronischen Langdistanzmessungen gebräuchlichen Praxis. Im Abstand von 15 Minuten wurden jeweils Lufttemperatur und -feuchtigkeitsmessungen mit Haenni-Psychrometern (1.5 m über Boden) und Luftdruckmessungen mit Präzisions-Aneroidbarometern (Thommen) durchgeführt. Die Meteomessgeräte wurden jeweils vor der Messkampagne geprüft bzw. kalibriert.

5.1.4 GPS-Tests 1985-93: Übersicht

GPS-Testkampagnen 1985-93: Übersicht				
Kampagne	Zeit MM-JJ	Geräte	Institute, Firmen	Kapitel
TURT-85.1	10-85	Macrometer V-1000 Sercel TR55	IGP-ETHZ, L+T, Geosat (D), IGN (F), AIUB	5.2.2
TURT-85.2	10-85	Texas Instr.TI4100	IGP-ETHZ, L+T, Nortech (C)	5.2.3
TURT-86	10-86	Trimble 4000S WILD WM-101	IGP-ETHZ, L+T, GPSS (GB), Leica AG	5.3.2
TURT-87.1	10-87	WILD WM-101	L+T, IGP-ETHZ, Leica AG	5.4.2
TURT-87.2	10-87	Trimble 4000SX	L+T, LVANS (D)	5.4.3
TURT-88.1	03-88	Trimble 4000SL	L+T	5.5.2
TURT-88.2	09-88	Trimble 4000SL/SLD	L+T	5.5.3
TURT-88.3	05-88	Sercel NR52	KERN & Cie	5.5.4
TURT-89	07-89	WILD WM-102 Trimble 4000ST	L+T, IGP-ETHZ, Leica AG, IGM, Gester Elektron AG	5.6.2
TURT-90.1	03-90	Rogue SNR-8 Trimble 4000SLD	Statens Kartverk (N) L+T	5.7.2
TURT-90.2	05-90	Ashtech LD-XII	L+T, IGN (F), IPG (F)	5.7.3
TURT-91	10-91	WILD SR299	Leica AG, L+T	5.8.2
TURT-92	10-92	Ashtech LM-XII3 Trimble 4000SSE WILD SR299	L+T, Elektron AG, Leica AG	5.8.3
TURT-93	09-93	Trimble 4000SSE	L+T, IGP-ETHZ	5.9.2

Erläuterungen:

AIUB	Astronomisches Institut der Universität Bern, 3012 Bern
Elektron AG	Firma Elektron AG, 8804 Au
Geosat AG	Firma Geosat AG, Mülheim (Ruhr, D)
GPSS	Firma GPS-Survey Services Ltd. (GB)
IGM	Institut de géodésie et de mensuration, 1015 EPF Lausanne
IGN	Institut Géographique National, F-94160 Saint-Mandé
IGP-ETHZ	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, 8093 Zürich
IPG	Institut de Physique du Globe, France
KERN & Cie	Firma KERN & Cie AG, Aarau, (heute Leica AG)
Leica AG	Firma Leica Heerbrugg AG, 9435 Heerbrugg
LVANS	Landesverwaltungsamt Niedersachsen, Abt. Landesvermessung, D-30159 Hannover
L+T	Bundesamt für Landestopographie, 3084 Wabern
Nortech	Firma Nortech, Calgary, Canada
SK	Statens Kartverk, N-3500 Hønefoss

5.2 Messkampagnen 1985

5.2.1 Übersicht

Im Herbst 1985 war die Installation des 3D-Netzes in Turtmann soweit fortgeschritten, dass an erste GPS-Messkampagnen gedacht werden konnte. Die terrestrischen Messungen waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen, sodass erst provisorische Vergleichskordinaten zur Verfügung standen. Ziel dieser ersten Messkampagnen *Turt-85.1* und *Turt-85.2* war in erster Linie die praktische Erprobung der neuen Geräte sowie der Mess- und Auswertverfahren. Auf dem offiziellen Markt waren 1985 neben dem Pioniergerät *Macrometer V-1000* (L1, Codeless) erst ein einziger geodätischer Empfängertyp: *Texas Instruments TI-4100* (L1, L2, P-Code). Die Firma *Sercel* hatte zudem die Lancierung ihres ersten geodätischen Empfängers, *Sercel TR55* (L1), auf den Herbst angekündigt.

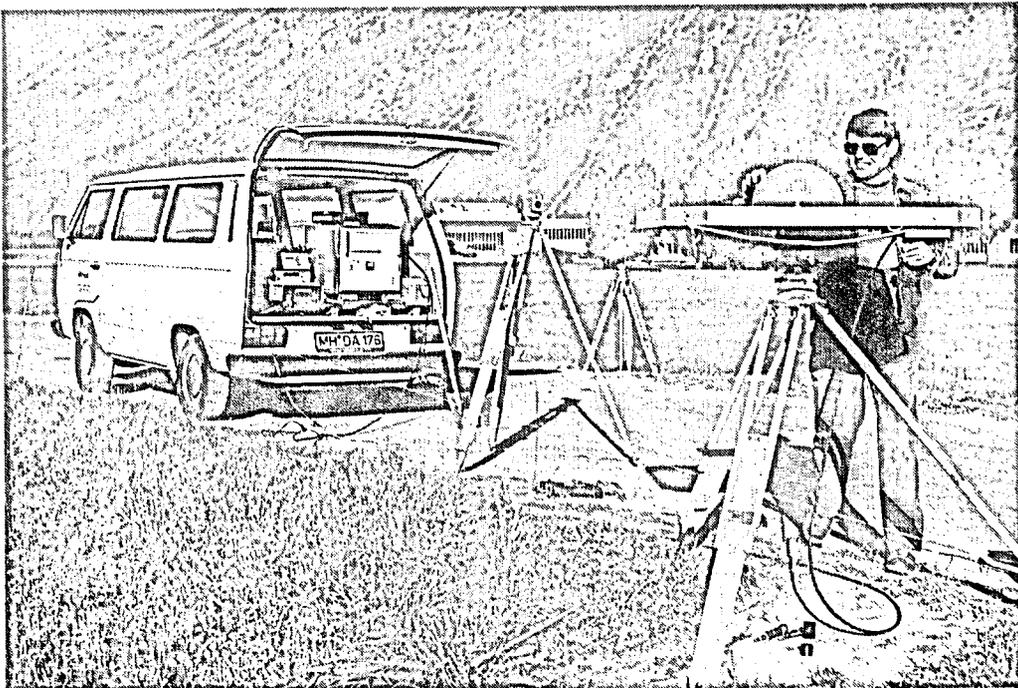


Abbildung 5.2-1: Die ersten GPS-Messungen mit dem *Macrometer V-1000* im Testnetz Turtmann 1985 (Foto L+T)

Im Dezember 1984 waren erste *Macrometer*-Messungen im LEP-Netz des CERN (z.T. auf Punkten in der Schweiz) durchgeführt worden. Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren vom CERN eingeladen worden, den Messungen und Auswertungen als Gäste (Teilnehmer: G. Beutler, W. Gurtner A. Geiger und D. Schneider) beizuwohnen. Im übrigen hatte damals in der Schweiz noch niemand auch nur die geringsten praktischen Erfahrungen mit der neuen Messmethode. Im Gegensatz dazu war am AIUB zu dieser Zeit bereits ein beträchtliches Wissen (was die GPS-Auswertung betrifft) vorhanden, wurden doch die Messungen im CERN-Netz mit der Berner GPS-Software mit grossem Erfolg ausgewertet und ihre Resultate publiziert [*Beutler et al., 1985c*]. Bei der Organisation von Testmessungen war vor allem an ein Engagement von Instituten, welche bereits über Geräte und erfahrene Operateure verfügten, zu denken. Bei der Konzeption der Messungen und vor allem bei der Auswertung sollte zudem die GPS-Gruppe am AIUB beigezogen werden.

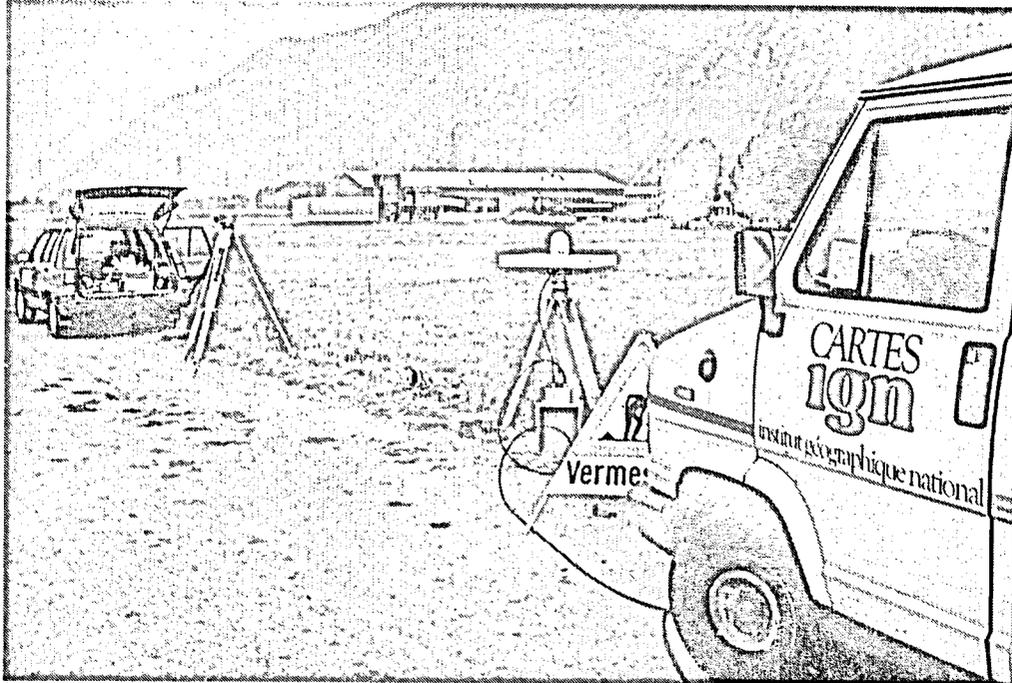


Abbildung 5.2-2: Session mit Sercel TR55 (IGN, France) auf der Station 7.TURT (Turtmann)
(Foto L+T)

5.2.2 Turt-85.1: Macrometer V-1000 und Sercel TR55

Die Firmen Geosat AG, Mülheim (Ruhr) und GeoHydro, Finnland, hatten 1984 schon die Testmessungen im Auftrag des CERN erfolgreich durchgeführt. Verschiedene Resultate, welche bis dahin mit dem Macrometer V-1000 erreicht und publiziert wurden, liessen erhoffen, dass mit diesen Geräten auch in Turtmann überzeugende Ergebnisse erzielt werden könnten. Diese könnten im Vergleich mit Resultaten von neueren Empfängern vielleicht sogar als Genauigkeitsstandard dienen. Deshalb war es naheliegend, die Firma Geosat AG mit der Durchführung einer Kampagne zu beauftragen, die sie mit der Berechnung von Basislinien (Software der AeroService, Macrometrics war dannzumal an AeroService übergegangen) erfolgreich abgeschlossen hat. Damit die Mitarbeiter des IGP und der L+T erste Operating-Erfahrungen sammeln konnten, wurden jeweils mehrere Personen als Begleiter und Hilfsoperateure eingesetzt.

Das IGN (F) erhielt im Oktober 1985 drei fabrikneue GPS-Empfänger vom Typ Sercel TR55, welche im Rahmen einer Zusammenarbeit mit unserer Arbeitsgruppe in Turtmann zum ersten Mal praktisch eingesetzt werden sollten. Die Gerätebedienung wurde von Mitarbeitern des IGN übernommen, welche bei dieser Gelegenheit erste Felderfahrungen sammeln konnten.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-85.1</i>																	
Datum:	08.-11.10.1985 (Tage: 281-284)																
Leitung:	A. Geiger / D. Schneider																
Teilnehmer:	<table border="0"> <tr> <td>Institute/Firmen:</td> <td>Operateure/Mitarbeiter:</td> </tr> <tr> <td>- Geosat (D)</td> <td>Larisch, Iserloh, Leser, Vogt</td> </tr> <tr> <td>- IGN (F)</td> <td>C. Boucher, Mme Le Coq, R. Picot,</td> </tr> <tr> <td></td> <td>G. Imbert, N. de Moegen</td> </tr> <tr> <td>- IGP-ETHZ</td> <td>A. Geiger, M. Müller, B. Wirth</td> </tr> <tr> <td>- L+T</td> <td>F. Eggenberg, P. Ehrenberg, B. Mattli</td> </tr> <tr> <td></td> <td>D. Schneider, H. Gilgen, E. Gubler,</td> </tr> <tr> <td></td> <td>T. Signer, B. Vogel (z.T.)</td> </tr> </table>	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:	- Geosat (D)	Larisch, Iserloh, Leser, Vogt	- IGN (F)	C. Boucher, Mme Le Coq, R. Picot,		G. Imbert, N. de Moegen	- IGP-ETHZ	A. Geiger, M. Müller, B. Wirth	- L+T	F. Eggenberg, P. Ehrenberg, B. Mattli		D. Schneider, H. Gilgen, E. Gubler,		T. Signer, B. Vogel (z.T.)
Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:																
- Geosat (D)	Larisch, Iserloh, Leser, Vogt																
- IGN (F)	C. Boucher, Mme Le Coq, R. Picot,																
	G. Imbert, N. de Moegen																
- IGP-ETHZ	A. Geiger, M. Müller, B. Wirth																
- L+T	F. Eggenberg, P. Ehrenberg, B. Mattli																
	D. Schneider, H. Gilgen, E. Gubler,																
	T. Signer, B. Vogel (z.T.)																



Abbildung 5.2-3: Macrometer V-1000 der Firma Geosat AG (D), fester Einbau im VW-Bus

Satellitenkonstellation <i>Turt-85.1</i>											
Satelliten:	Block I: 06, 08, 09, 11, 12, 13				Block II: --						
S/A:	--										
A/S:	--										
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)											
SV#	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h		
06	X	-----	X				X	---	X		
08		X	---	X			X	-----	X		
09		X	-----	X							
11			X	-----	X			X	-----	X	
12		X	-----	X							
13			X	-----	X				X	-----	X

Die GPS-Satellitenkonstellation im Oktober 1985 bestand lediglich aus 6 Satelliten (Block I), deren Bahngeometrie so angeordnet war, dass täglich zwischen 4 und 8 Uhr (Ortszeit) am frühen Morgen günstige Messbedingungen mit bis zu 6 gleichzeitig sichtbaren (über Horizont) Satelliten auftraten. Diese frühe Messzeit erschwerte den Stationsbezug der Gebirgspunkte und das Operating beträchtlich. Andererseits wurden die Messungen durch die zu erwartenden geringen Ionosphäreinflüsse begünstigt.

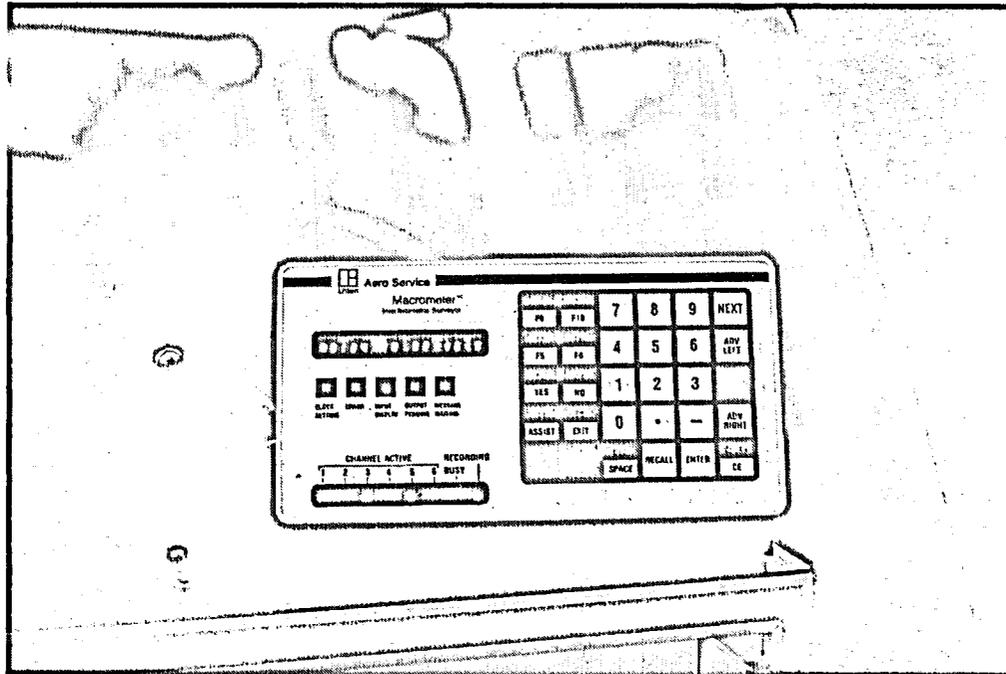


Abbildung 5.2-4: Terminal des Macrometer V-1000 (Foto IGP)

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-85.1</i>		
Empfänger:	Macrometer	Anzahl: 4
Typ:	V-1000	
Antenne:	Kreuz-Dipol	
Empfänger:	Sercel	Anzahl: 3
Typ:	TR5S	
Antenne:	Quadrifilar-Helix	

Bei der praktischen Feldarbeit mit dem Macrometer V-1000 wurden bald gewichtige Nachteile festgestellt. Die Messausrüstungen sind schwer und voluminös, sodass sie praktisch nur fest eingebaut in Transportfahrzeugen verwendet werden konnten. Besonders unhandlich ist die grosse und schwere Antenne (s. Abb.5.2-5). Für die Sessions auf den schwierig zugänglichen Punkten 2.GPS (Bräntschen), 3.GPS (Jeizinen) und 6.GPS (Agarn) wurde eine Macrometer-Ausrüstung in einem Geländefahrzeug der Armee (Pinzgauer 4WD) installiert. Da die Empfänger praktisch nicht aus den Fahrzeugen entfernt werden konnten, waren z.T. 30-m-Antennenkabel notwendig. Auf eine Session auf der mit Fahrzeugen nicht direkt zugänglichen Station 1.BRUN (Brunnen) wurde ganz verzichtet.

Als weitere Nachteile dieses Empfängers der ersten Generation sind die folgenden Punkte zu erwähnen:

- Synchronisation aller Empfänger-Oszillatoren vor und nach einer Messung notwendig
- keine direkte Decodierung der Satelliten-Messages und der Broadcast-Ephemeriden möglich
- sehr beschränkte Speicherkapazität für die Messdaten pro Session (max. 60 Epochen pro Session)
- hoher Stromverbrauch

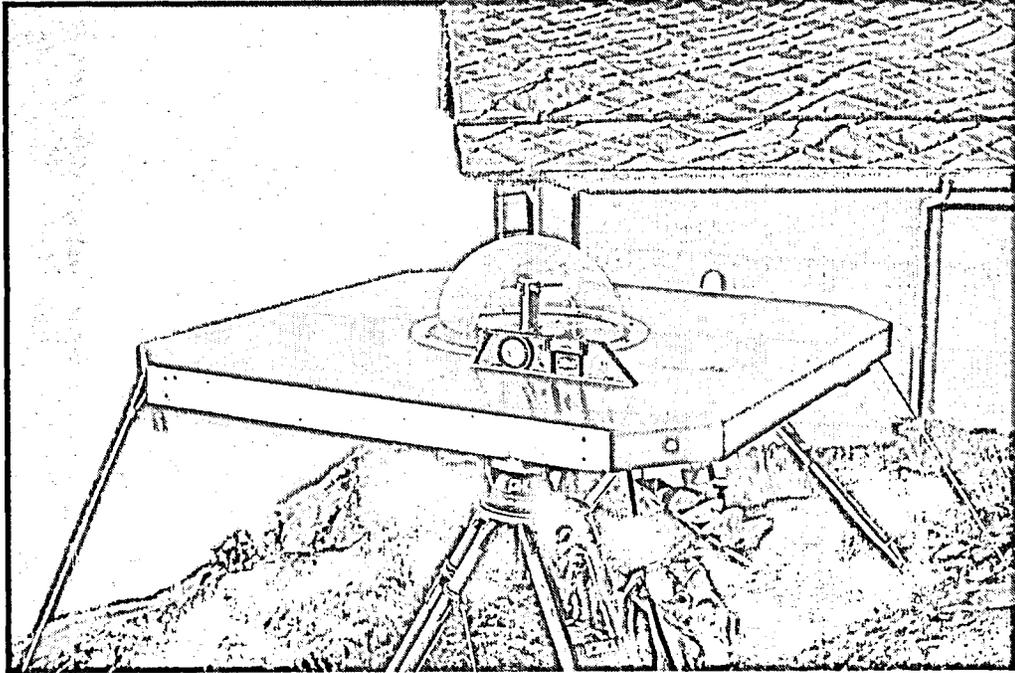


Abbildung 5.2-5: Antenne des Macrometer V-1000 auf Station 3.GPS (Jeizinen). Der Kreuzdipol ist deutlich sichtbar (Foto L+T)

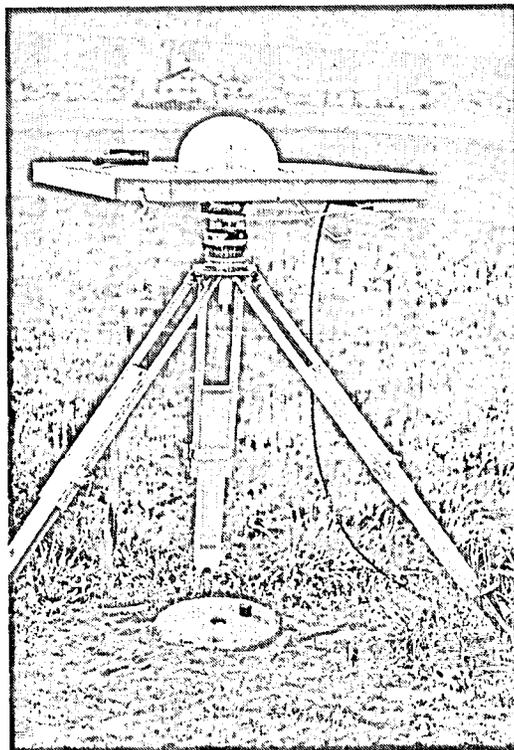


Abbildung 5.2-6: Antenne des Macrometer V-1000 auf Station 7.1 (Turtmann) optisch zentriert. (Der Hammer diente jeweils als Gegengewicht zum Vorverstärker unter der gegenüberliegenden Ecke der Antennenplatte.)

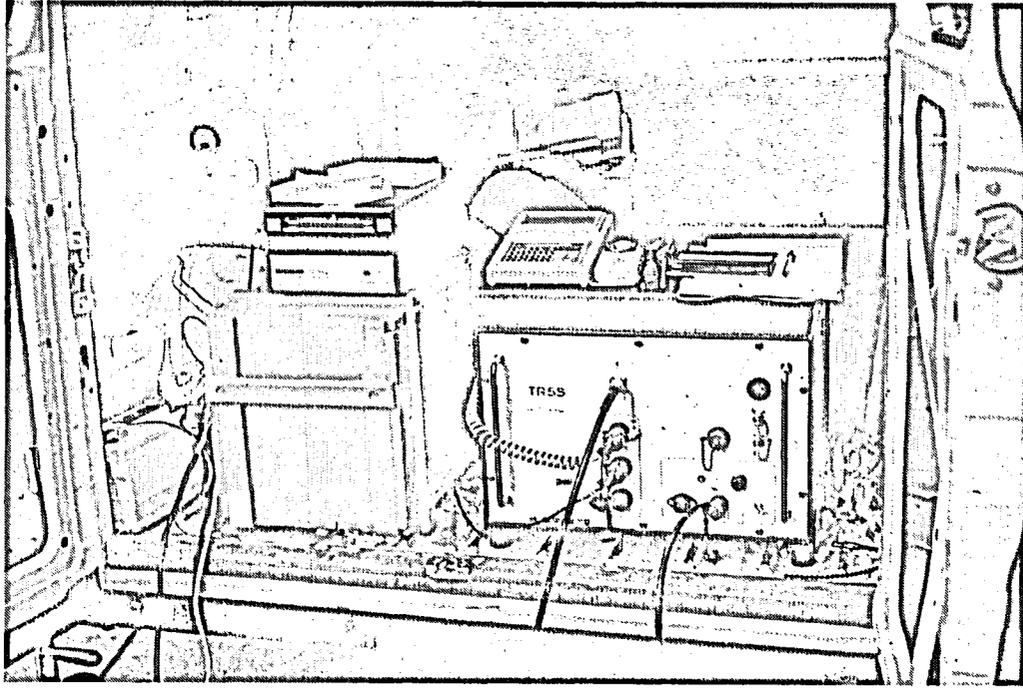


Abbildung 5.2-7: Sercel TR55 eingerichtet im Transporter des IGN (Foto L+T)

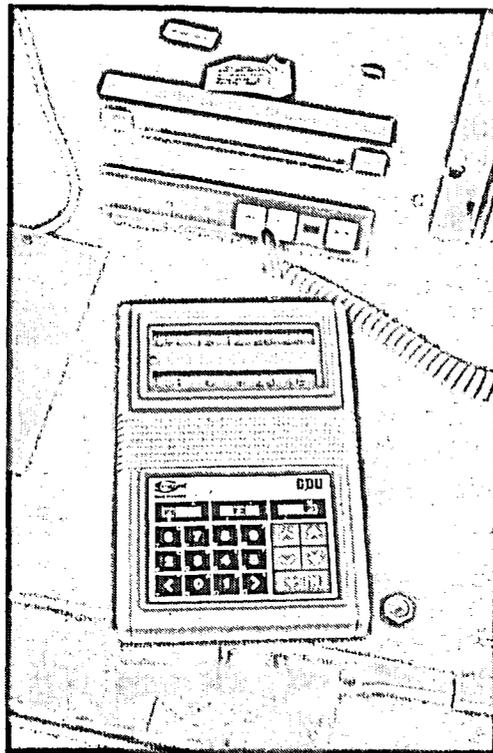


Abbildung 5.2-8: Handcontroller des Sercel TR55 (Foto IGP)

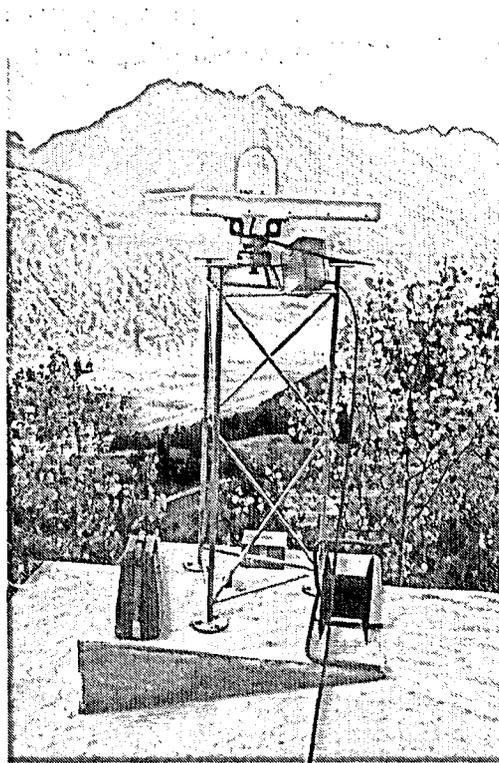


Abbildung 5.2-9: Antenne des Sercel TR55 auf Station 5.OEMS (Oberems) optisch zentriert mit Zentrierschlitten (AIUB) und Stahlpfeiler (L+T) (Foto IGP)

Messprogramm <i>Turt-85.1</i>					
Station:	Dat:	8.10.	9.10.	10.10.	11.10.
	Sess:	281.1 281.2	282.1 282.2	283.1 283.2	284.1 284.2
1. BRUN					
2. BRAE		Ser.2->Ser.2			Ser.2->Ser.2
2. GPS					Mac.2 Mac.2
3. GPS				Ser.2->Ser.2	
3. GPS.E				Mac.2 Mac.2	
4. ERGI			Ser.3->Ser.3		Mac.4 Mac.4
5. OEMS		Ser.3->Ser.3		Mac.3 Mac.3	Ser.3->Ser.3
6. GPS				Ser.3->Ser.3	Mac.3 Mac.3
7. TURT		Ser.1->Ser.1	Ser.1->Ser.1	Ser.1->Ser.1	Ser.1->Ser.1
7.1				Mac.1 Mac.1	Mac.1 Mac.1
7.2					
8. SUST			Ser.2->Ser.2	Mac.4 Mac.4	
Sessionen/Tag:	Macrometer:	2	Messdauer/Sess.:	Macrometer:	2 h
	Sercel:	1		Sercel:	5 h
Messzeiten:	Macrometer:	03:40h - 05:40h und 05:50h - 07:50h UT			
	Sercel:	03:30h - 08:30h UT			
Messintervall:	Macrometer:	60 sec	Elevationsmaske:	> 15°	
	Sercel:	0.6 sec			
Observablen:	Macrometer:	Phase(L1,--); P-Code(--,--)			
	Sercel:	Phase(L1,--); P-Code(--,--)			

Die Handhabung des Sercel TR55 war im Vergleich zum Macrometer V-1000 schon wesentlich besser. Neben dem geringeren Gewicht und Volumen ist das einfachere Operating und die automatische Datenregistrierung auf Magnetbandkassetten zu erwähnen.

Bei den terrestrischen Messungen 1985-86 mussten grosse Anstrengungen zur Erfassung und Korrektion der troposphärischen Einflüsse auf die Distanzmessungen (simultane Flug-Meteoerfassung bei den Präzisions-EDM mit Mekometer KERN ME-5000; *s.Kap.3, Teil I*) unternommen werden, um die geforderte hohe Genauigkeit des terrestrischen Netzes zu erreichen. Bei der Konzeption des GPS-Tests *Turt-85.1* wurde es sofort klar, dass zur Erreichung einer vergleichbaren Genauigkeit mit GPS (insbesondere in der Höhe) der Erfassung und Modellierung der troposphärischen Einflüsse auf die empfangenen Mikrowellensignale grosse Beachtung geschenkt werden muss.

Bei der Organisation der Messkampagne wurden folgende bei der L+T vorhandenen technischen Mittel für die Meteo-Erfassung vorgesehen (*s. Kap.5.1.3*):

- Manuelle Meteo-Erfassung auf allen GPS-Stationen mit Psychrometern (Haenni) mindestens 1.5 m über Boden und Barometern (Thommen)
- Automatische Meteo-Erfassung mit Meteosonden (Typ L+T) auf Kurbelmasten und 'online' Datenerfassung mit PC (EPSON HX-20) während den GPS-Sessionen. Regelmässige Kalibrierung der Sonden
- Automatische Meteo-Profilaufnahmen mit Meteosonden L+T auf der Luftseilbahn Gampel-Jeizinen.

Die Meteo-Sondierungen von der Kabine der Luftseilbahn aus, welche für die L+T Extrafahrten durchführte, waren sehr aufschlussreich, zeigten diese Messungen doch die an frühen Herbstmorgen im Wallis typischen Inversionslagen mit Bodennebel (*s. Abb.5.2-11*).

Meteo-Erfassung <i>Turt-85.1</i>	
Stations-Meteoerfassung:	t,p,f (Intervall: 15 min)
Meteosonde (Typ L+T): Stat. 7.TURT:	t,p,f (Höhe über Boden: 5 m, Intervall: 15 min)
Meteoprofile: Gampel-Jeizinen:	t,f (Erfassung mit der Luftseilbahn; Höhe aus Luftdruckmessung, Intervall: 30 min)

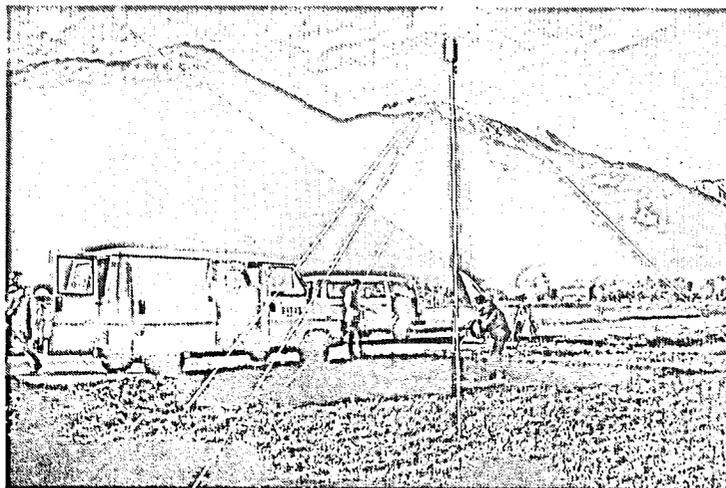


Abbildung 5.2-10: Meteo-Sonde (L+T) neben der Station 7.TURT (Foto IGP)

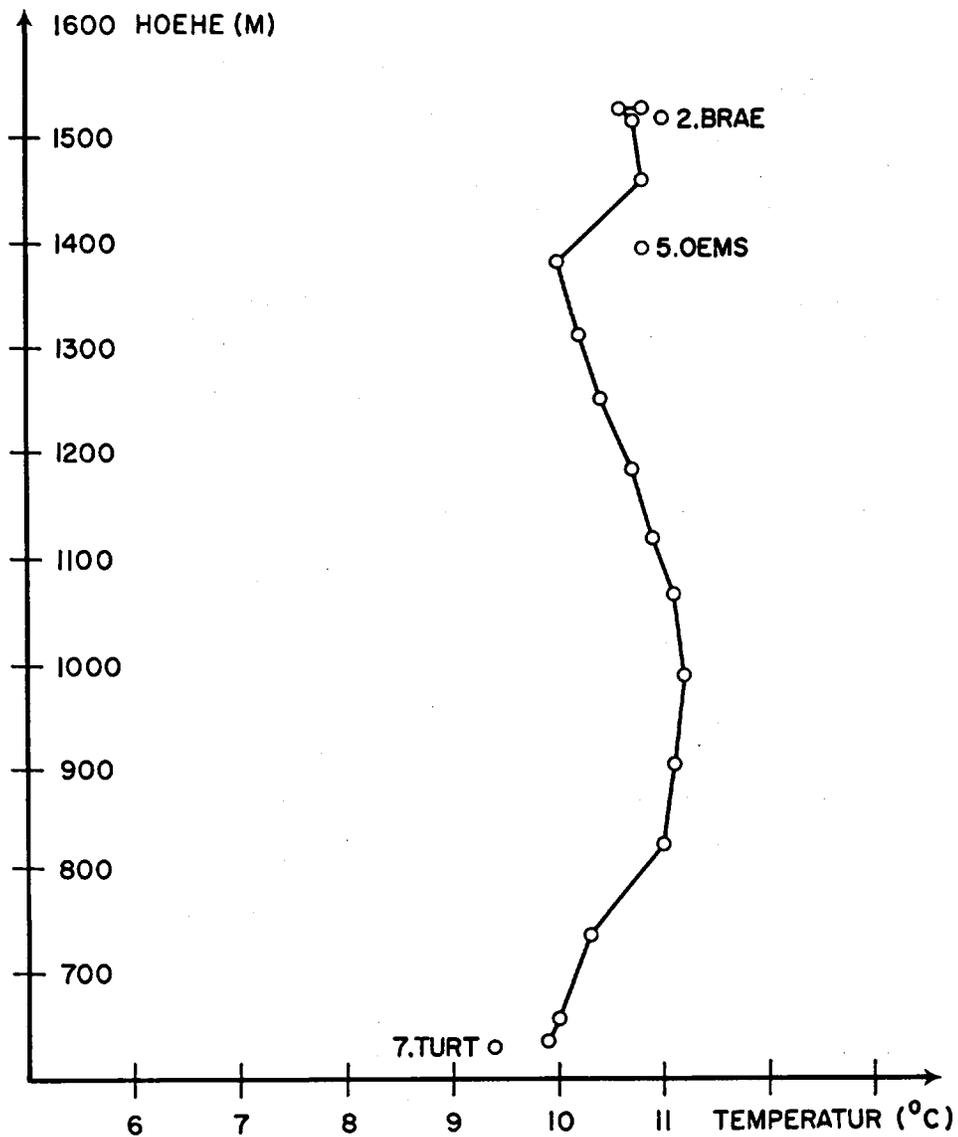


Abbildung 5.2-11: Vertikales Meteoprofil im Netz Turtmann am 8.10.1985 um 05:59h - 06:08h aufgenommen von der Kabine der Luftseilbahn Gampel - Jeizinen mit automatischer Meteosonde L+T und 'online' Datenerfassung

Wetter Turt-85.1
Tage 281-284: Schönes und trockenes Herbstwetter mit wenig Wind und regelmässigem Bodennebel am frühen Morgen bis Sonnenaufgang.

5.2.3 Turt-85.2: Texas Instruments TI-4100

Aus organisatorischen Gründen konnten die Messungen mit der Firma Nortech und den Texas Instruments TI-4100 erst eine Woche nach der Kampagne *Turt-85.1* durchgeführt werden. Unabhängig von den Turtmann-Messungen führten die beiden englischen Operateure von Nortech auch die ersten GPS-Versuche über eine längere Distanz in der Schweiz durch. Gemessen wurde auf den bereits 1984 mit SLR bestimmten Basislinien Monte Generoso - Jungfrauoch - Zimmerwald. Dabei zeigten sich allerdings Interferenz-Probleme im Gebiete des Monte Generoso. Nortech lieferte befriedigende Basislinien-Lösungen ab, die mit einer der frühen 'phaser' Versionen des NGS berechnet wurden.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-85.2</i>	
Datum:	15.-16.10.1985 (Tage: 288-289)
Leitung:	A. Geiger, D. Schneider
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter:
	- IGP-ETHZ A. Geiger, B. Wirth, M. Müller
	- Nortech (CAN) M. Ashton, I. Grenlin
	- L+T P. Ehrenberg, H. Gilgen, D. Schneider, T. Signer

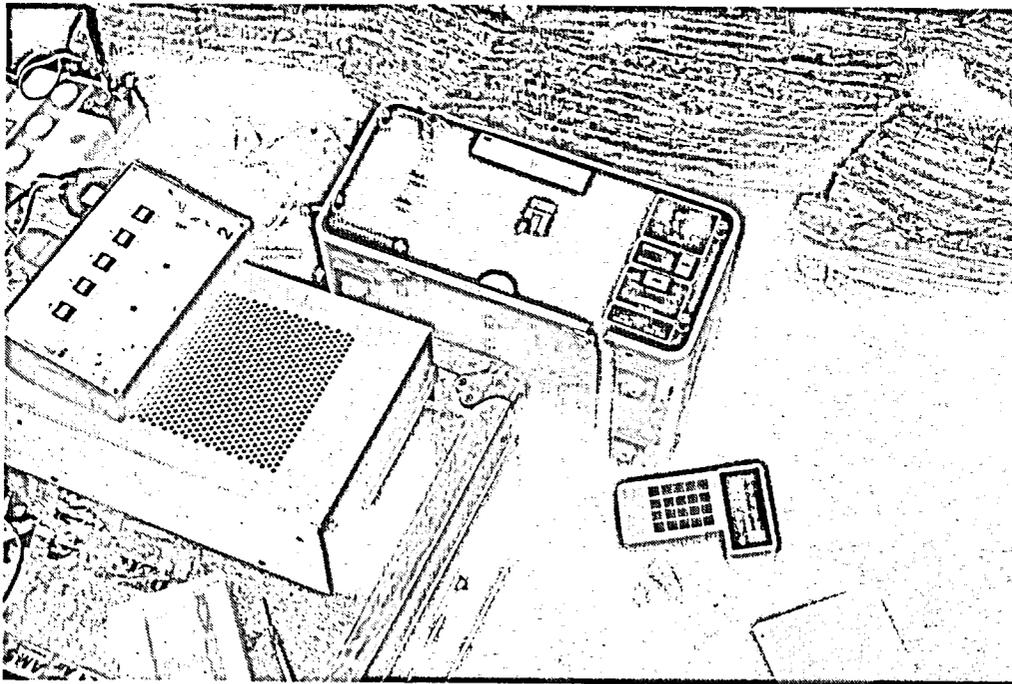


Abbildung 5.2-12: Texas Instruments TI-4100 mit Handcontroller, Stromversorgung und Magnetkassettenstation (Foto IGP)

Satellitenkonstellation <i>Turt-85.2</i>
siehe <i>Turt-85.1</i> (Kap.5.2.2)

Mit dem TI-4100 stand 1985 bereits ein Zweifrequenzen-Empfänger mit P-Code zur Verfügung. Der Einsatz dieses Typs war von besonderem Interesse, konnten doch bei der Auswertung dieser Messungen erste Erfahrungen mit der zukünftigen Zweifrequenztechnologie gesammelt werden. Was die Geräteevaluation betrifft, schien es andererseits von vornherein klar, dass dieses Produkt für eine Beschaffung kaum in Frage kam, da eine Abhängigkeit vom P-Code, dessen Verfügbarkeit vom DoD nicht garantiert war, für die zivilen Anwendungen in der Landesvermessung nicht akzeptabel war.

Beim praktischen Gebrauch erwies sich die TI-Ausrüstung und vor allem die handliche Antenne als sehr feldtauglich. Als Nachteil erwiesen sich der hohe Stromverbrauch (das Gerät wurde bei der Messung fühlbar heiss) und die Begrenzung auf 2x4 Empfangskanäle.

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-85.2</i>		
Empfänger:	Texas Instruments	Anzahl: 2
Typ:	TI-4100	
SW-Version:		
Antenne:	Konische Spirale	

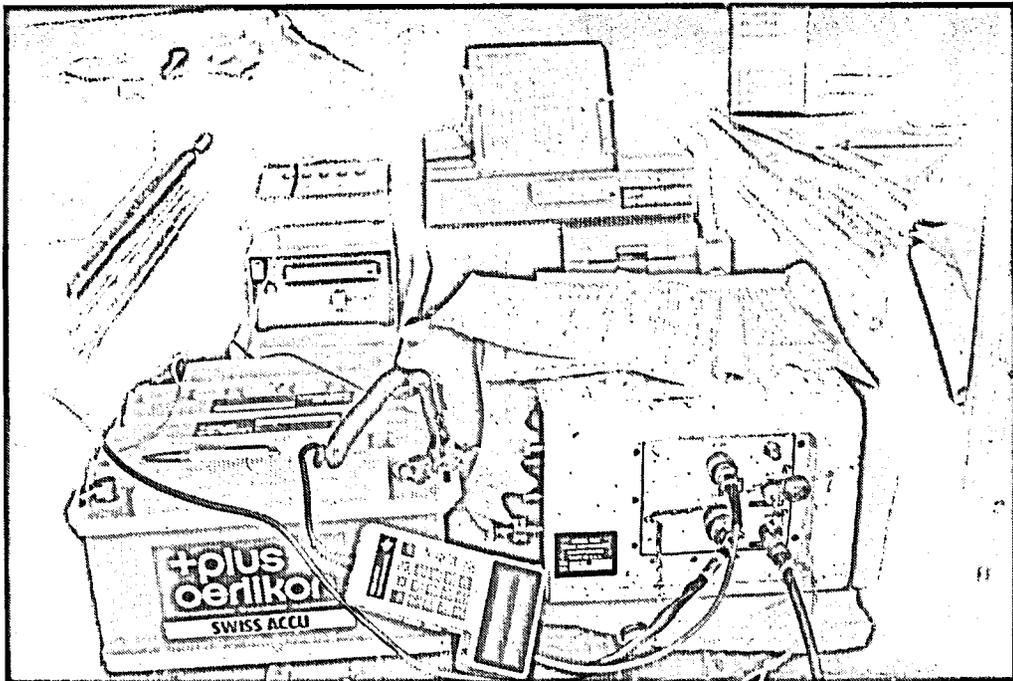


Abbildung 5.2-13: Texas Instruments TI-4100 im Fahrzeug. Rechts Empfänger, links Handcontroller (Foto IGP)

Messprogramm <i>Turt-85.2</i>				
Station:	Dat:	15.10.	16.10.	
	Sess:	288.1	288.2	289.1 289.2
1.BRUN				
2.BRAE			TI.2	
3.GPS				TI.2
4.ERGI	TI.2			
5.OEMS		TI.2		
6.GPS				
7.TURT	TI.1	TI.1	TI.1	TI.1
8.SUST				
Sessionen pro Tag:	2	Messdauer pro Sess.: 2h xxmin		
Messzeiten:	03:00h - 05:00h und 05:00h - 07:00h UT			
Messintervall:	3 sec	Elevationsmaske: > 15°		
Observablen:	Phase(L1,L2); P-Code(P1,P2)			

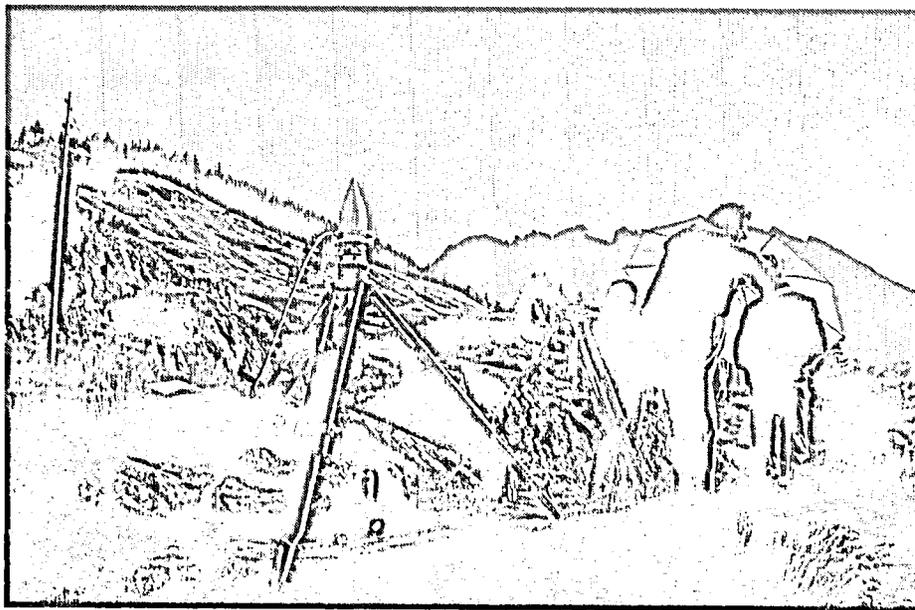


Abbildung 5.2-14: Antenne des TI-4100 auf der Station 3.GPS (Jeizinen) (Foto IGP)

Wetter <i>Turt-85.2</i>
Tage 288-289: Schönes und trockenes Herbstwetter mit wenig Wind und regelmässigem Bodennebel am frühen Morgen bis Sonnenaufgang.

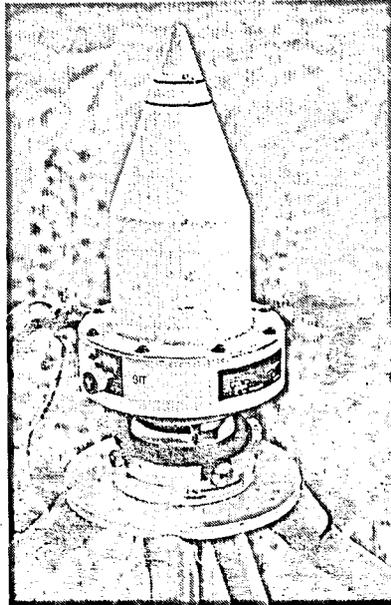


Abbildung 5.2-15: Antenne (Helix) des TI-4100 (Foto IGP)

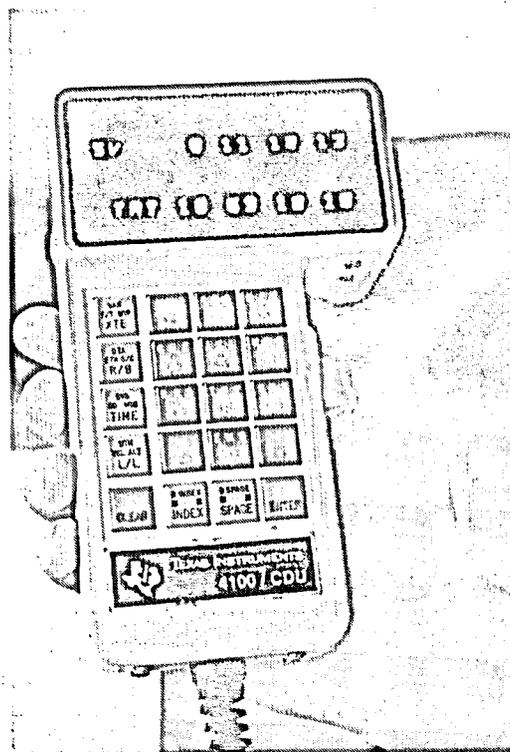


Abbildung 5.2-16: Handcontroller des TI-4100

5.3 Messkampagne 1986

5.3.1 Übersicht

Bei den Tests 1985 konnte noch keiner der geprüften Empfänger bezüglich Feldtauglichkeit überzeugen. Als grösste Nachteile erwiesen sich der hohe Stromverbrauch und das grosse Gewicht der Hardware.

Im Laufe des Jahres 1986 kam eine neue Empfängergeneration in den Handel, welche für die Verwendung in der praktischen Vermessung schon wesentlich besser geeignet war und für eine Beschaffung durch die beiden ETHs und die L+T in Frage kam. Als wichtigste Konkurrenten sind die beiden Einfrequenz-Empfänger Trimble 4000S und WILD-Magnavox WM-101 zu erwähnen. Bei beiden Typen wurden spätere Ausbauoptionen auf die zweite Trägerfrequenz L2 angekündigt.

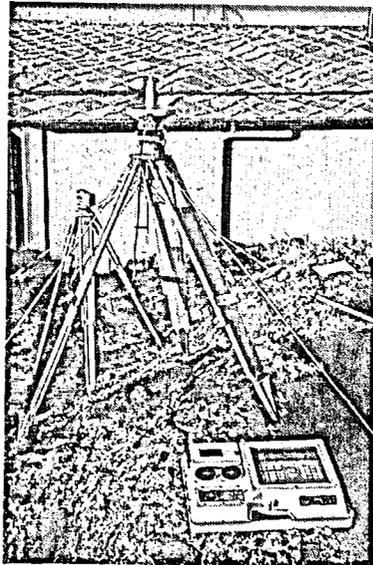


Abbildung 5.3-1: WILD-Magnavox WM-101 auf Station 3.GPS (Jeizinen) (Foto IGP)

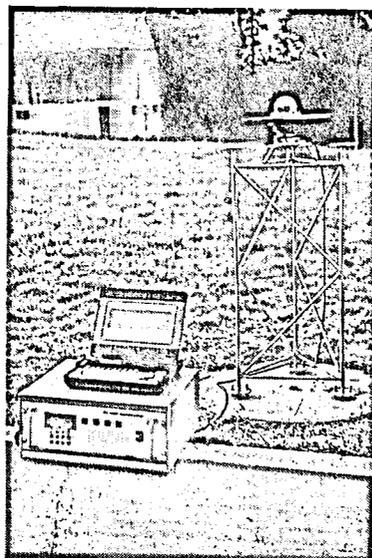


Abbildung 5.3-2: Trimble 4000S mit Laptop und Antenne auf Station 8.SUST (Susten) (Foto IGP)

5.3.2 Turt-86: Trimble 4000S und WILD-Magnavox WM-101

Die Firma WILD Heerbrugg (heute Leica) hatte im Herbst 1986 die ersten Geräte der neuen Serie WM-101 zu Testzwecken bereit. Sie war selber sehr stark an den Tests in Turtmann interessiert und stellte der Arbeitsgruppe mehrere Mitarbeiter für das Operating und die Felddauswertung zur Verfügung.

Um auch den Trimble 4000S beurteilen zu können, wurde die Firma GPS Survey Services (GPSS) aus England, welche bereits praktische Erfahrungen mit diesen Geräten hatte, zur Durchführung einer Messkampagne in Turtmann und zur Auswertung der Messungen mit der Firmensoftware Trimvec verpflichtet.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-86</i>	
Datum:	13.-17.10.1986 (Tage: 286-260)
Leitung:	D. Schneider / A. Geiger / R. Scherrer
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter:
	- GPSS (GB) B. Hogarth, M. Barnes, T. Price, W. West
	- WILD Heerbrugg R. Scherrer, P. Fricker, G. Hoar, J. Reiner
	- IGP-ETHZ A. Geiger, A. Wiget, M. Müller
	- L+T D. Schneider, U. Gerber, H. Gilgen, D. Gutknecht, B. Mattli, W. Santschi, B. Vogel

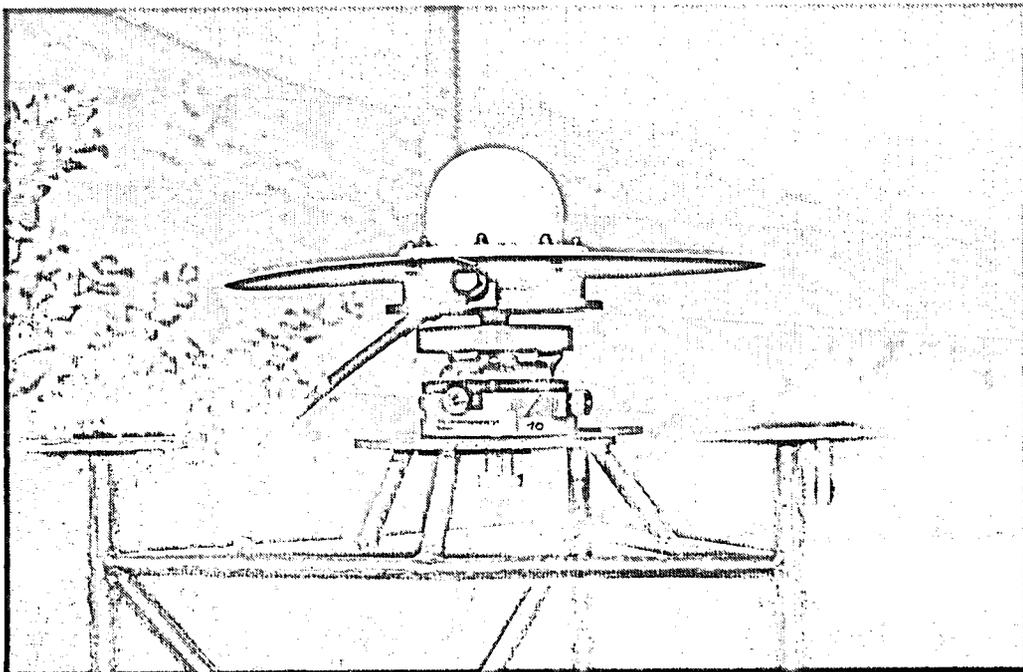


Abbildung 5.3-3: Trimble 4000S-Antenne mit Kreuzschlitten (AIUB) auf Station 5.OEMS (Oberems) zentriert (Foto IGP)

Satellitenkonstellation <i>Turt-86</i>									
Satelliten:	Block I: 03, 06, 08, 09, 11, 12, 13				Block II: --				
S/A:	--								
A/S:	--								
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)									
SV#	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h
03		X--X				X-----X			
06			-----X				X-X		X--
08		X==X					X-----X		
09	X-----X								
11		X-----X						X-----X	
12		X-----X							
13		X-----X						X-----X	

Die Satellitenkonstellation war mit 3 operationellen Block-I-Satelliten schon leicht besser als im Vorjahr. Mit dem WM-101 wurden an 4 Tagen während je 3 Stunden 5 Satelliten und mit dem Trimble 4000S an 3 Tagen während je 2 Stunden und 40 Minuten 7 Satelliten beobachtet.

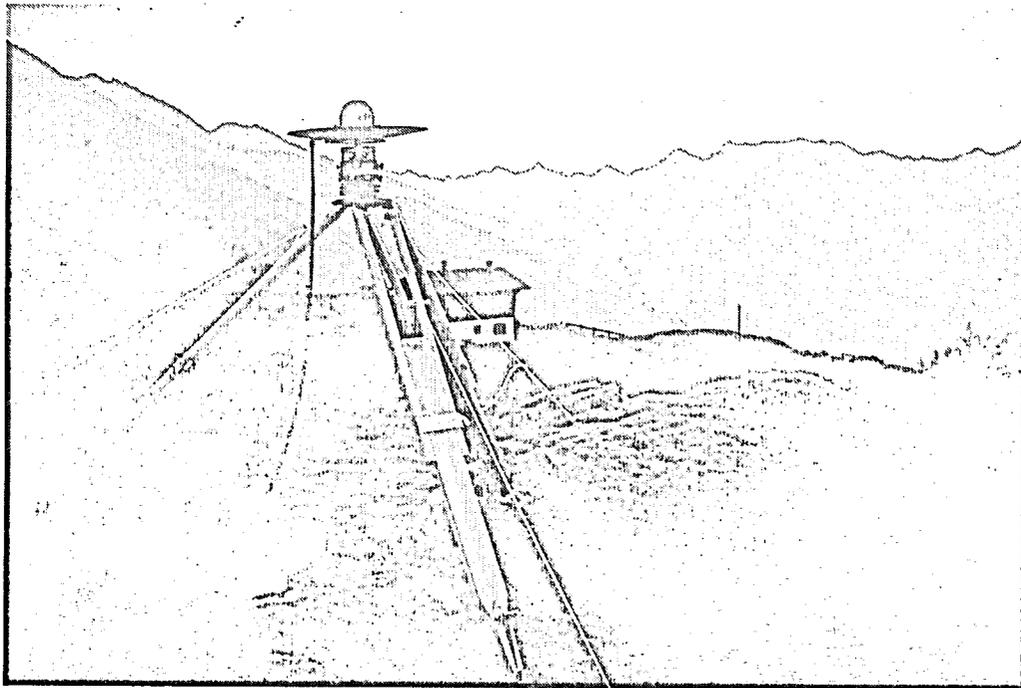


Abbildung 5.3-4: Trimble 4000S-Antenne vor Sonnenaufgang auf Station 3.GPS (Jeizinen)
(Foto IGP)

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-86</i>		
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 4
Typ:	4000S	
Antenne:	Dipol	
Empfänger:	WILD-Magnavox	Anzahl: 5
Typ:	WM-101	
Antenne:	Quadrifilar-Helix	

Die Handhabung der Empfänger der Generation 1986 (Trimble 4000S und WM-101) war spürbar leichter als jene der Vorjahre. Die Geräte und Batterien konnten jeweils von einem Operateur zur Station gebracht werden. Das Operating war einfach und leicht erlernbar. Beim WM-101 wurden die Messdaten mit einem eingebauten Kassettenrecorder erfasst, was z.T. noch zu Schwierigkeiten und kleinen Unterbrüchen bei der Datenerfassung führte. Im Unterschied dazu verfügte der Trimble 4000S über einen eingebauten RAM-Speicher, dessen Kapazität für eine Speicherung der Messungen (Intervall 15sec) einer Session von 2 - 3 Stunden genügte.

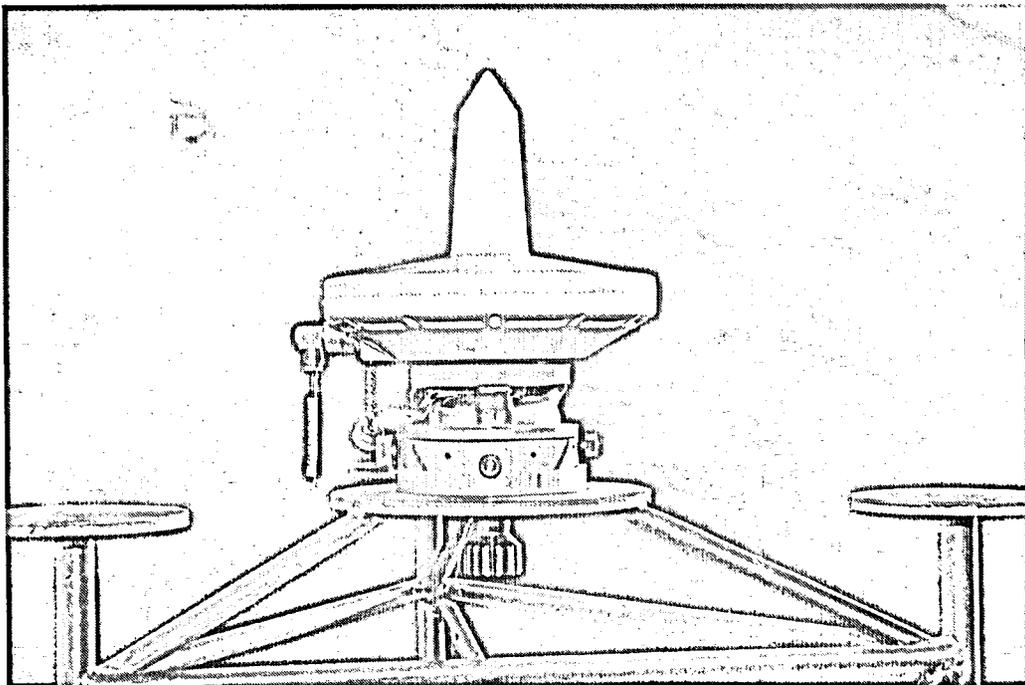


Abbildung 5.3-5: Antenne des WM-101 auf Kreuzschlitten (AIUB) und Stahlpfeiler (L+T)
(Foto L+T)

Messprogramm Turt-86						
Station:	Dat:	13.10.	14.10.	15.10.	16.10.	17.10.
Sess:		286	287	288	289	290
1.BRUN			WM #138	WM #104		
2.BRAE			WM #143	Tr.4497		WM #104
3.GPS			Tr.4459	Tr.4492		
3.GPS.E			WM #104	WM #143	WM #143	
4.ERGI			Tr.4442	WM #129	WM #104	
5.OEMS			WM #129	Tr.4442	WM #138	
6.GPS			Tr.4492	WM #138	WM #129	
7.TURT	Tr.4459		Tr.4459	Tr.4459		WM #138
7.1	Tr.4442		WM #101	WM #101	WM #101	WM #101
8.SUST	Tr.4492					WM #143
8.1	Tr.4497					WM #129
Sessionen/Tag:	Trimble:	1	Messdauer/Sess.:		Trimble:	2h 40min
	WM-101 :	1			WM-101 :	3h 00min
Messzeiten:	Trimble:	03:05h - 05:45h UT				
	WM-101 :	03:15h - 06:15h UT				
Messintervall:	Trimble:	15 sec	Elevationsmaske: > 15°			
	WM-101 :	60 sec				
Observablen:	Trimble:	Phase(L1,--); P-Code(--,--)				
	WM-101 :	Phase(L1,--); P-Code(--,--)				

Wetter Turt-86	
13.10.86 (Tag 286):	teilweise bedeckt, leichter Wind, z.T. Böen
14.10.86 (Tag 287):	klar, windstill, z.T. leichter Wind
15.10.86 (Tag 288):	klar, windstill, Bodennebel am frühen Morgen
16.10.86 (Tag 289):	klar, windstill, Bodennebel am frühen Morgen
17.10.86 (Tag 290):	klar

Anschliessend an die Messungen wurden Feldauswertungen mit Hilfe der firmeneigenen Auswerteprogramme PoPS (WM-101) und Trimvec (Trimble) auf PC durchgeführt. Die Firma GPSS verwendete dazu einen tragbaren GRID-PC und verblüffte mit Resultaten einer Schnellauswertung, welche auf der Rückfahrt von der Session ins Hotel entstanden.

Eine weitere Auswertung der WM-Daten mit der PoPS-Software erfolgte im Rahmen einer Semester- und Diplomarbeit am IGP [Cocard, 1987].

5.4 Messkampagnen 1987

5.4.1 Übersicht

Im Sommer und Herbst 1987 führte das Bundesamt für Landestopographie im Hinblick auf die Beschaffung von eigenen GPS-Empfängern verschiedene Tests und Untersuchungen durch. Nachdem sich die Evaluation auf die Empfänger vom Typ WILD-Magnavox WM-101 und Trimble 4000SX eingeschränkt hatte, wurden sowohl zur Erarbeitung von Felderfahrungen wie auch als Ausbildungskurse für angehende Operateure der L+T im Hinblick auf die spätere Beschaffung mit beiden Typen Testmessungen im Netz Turtmann durchgeführt.

5.4.2 Turt-87.1: WILD-Magnavox WM-101

Mitte Oktober 1987 war die Evaluation der L+T abgeschlossen. Unter der Voraussetzung eines erfolgreichen Vertragsabschlusses mit der Lieferfirma sollten WM-101-Empfänger beschafft werden. Deshalb schien es notwendig, die Mitarbeiter im Rahmen eines Operateurkurses mit der Handhabung der neuen Geräte und der Auswertesoftware vertraut zu machen. Diese Ausbildung wurde unter der Kursleitung von A. Wiget und unter der Kampagnenleitung von D. Schneider mit 11 Mitarbeitern der L+T durchgeführt. Bei der Instruktion wie auch bei den Messungen und anschliessend den Auswertungen mit der Software PoPS konnte auf die Erfahrungen von Herrn Max V. Müller vom IGP/ETHZ zurückgegriffen werden.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-87.1</i> (Operateur-Kurs)							
Datum:	21.-23.10.1987 (Tage: 294-296)						
Leitung:	D. Schneider; (Kursleitung: A. Wiget)						
Teilnehmer:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Institute/Firmen:</td> <td style="width: 50%;">Operateure/Mitarbeiter:</td> </tr> <tr> <td>- L+T</td> <td>F. Eggenberg, H. Gilgen, D. Gutknecht, B. Mattli, Ch. Müller, W. Santschi, D. Schneider, T. Signer, B. Vogel, A. Wiget, T. Burgess (Praktikantin)</td> </tr> <tr> <td>- IGP-ETHZ</td> <td>M. Müller</td> </tr> </table>	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:	- L+T	F. Eggenberg, H. Gilgen, D. Gutknecht, B. Mattli, Ch. Müller, W. Santschi, D. Schneider, T. Signer, B. Vogel, A. Wiget, T. Burgess (Praktikantin)	- IGP-ETHZ	M. Müller
Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:						
- L+T	F. Eggenberg, H. Gilgen, D. Gutknecht, B. Mattli, Ch. Müller, W. Santschi, D. Schneider, T. Signer, B. Vogel, A. Wiget, T. Burgess (Praktikantin)						
- IGP-ETHZ	M. Müller						

Satellitenkonstellation <i>Turt-87.1</i>					
Satelliten:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Block I:</td> <td style="width: 50%;">Block II:</td> </tr> <tr> <td>03, 06, 08, 09, 11, 12, 13</td> <td>--</td> </tr> </table>	Block I:	Block II:	03, 06, 08, 09, 11, 12, 13	--
Block I:	Block II:				
03, 06, 08, 09, 11, 12, 13	--				
S/A:	--				
A/S:	--				
Beobachtungsfenster (UT [h]: - sichtbar; = beobachtet)					
SV#	00h 03h 06h 09h 12h 15h 18h 21h 24h				
03				
06	-----X				
08	X-----X				
09	X-----X				
11	X-----X				
12	X-----X				
13	X-----X				

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-87.1</i>		
Empfänger:	WILD-Magnavox	Anzahl: 4
Typ:	WM-101	
Antenne:	Quadrifilar-Helix	

Die gesamte GPS-Messausrüstung (4 Empfänger, Antennen, Kabel, Batterien) wie auch die Software (PoPS) für die Auswertung wurden vom IGP der ETHZ (3) und von der WILD + Leitz AG (1) ausgeliehen. Erstmals wurden die von der L+T konstruierten Adapterscheiben "KERN-WILD-GPS" zur Orientierung der Antennen nach Norden verwendet, bei denen die 5/8"-Schraube mittels Imbussschlüssel in beliebiger Orientierung angezogen werden kann. Weitere Details zur Messkampagne können dem internen Evaluationsbericht der L+T entnommen werden.

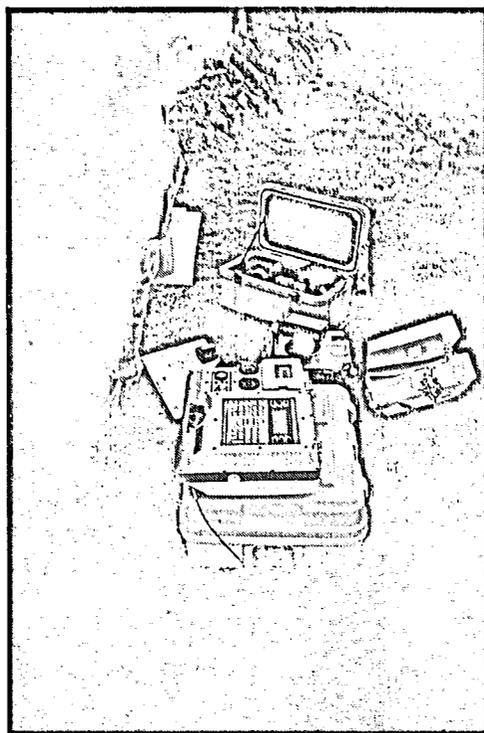


Abbildung 5.4-1: WILD-Magnavox WM-101

Messprogramm <i>Turt-87.1</i>				
Station:	Dat:	21.10.	22.10.	23.10.
	Sess:	294	295	296
1.BRUN		WM 175		
2.BRAE				WM 171
3.GPS			WM 171	
4.ERGI		WM 164		
5.OEMS		WM 171		
6.GPS				WM 175
7.TURT		WM 166	WM 166	WM 166
8.SUST			WM 164	
9.EMSH			WM 175	WM 164
Sessionen pro Tag:		1	Messdauer pro Session: 4 h	
Messzeiten:		01:30h - 05:30h UT		
Messintervall:		60 sec	Elevationsmaske: > 15°	
Observablen:		Phase(L1,--); P-Code(--,--)		

Wetter <i>Turt-87.1</i>	
Tag 294: Bewölkt (leicht föhnig) bis bedeckt, wenig Wind	
Tag 295: Nebel, Regen	
Tag 296: Bedeckt, in höheren Lagen leichter Schneefall, leichter Wind	

5.4.3 Turt-87.2: Trimble 4000SX

Anlässlich der Evaluation von GPS-Empfängern durch die L+T führte diese in Zusammenarbeit mit dem Landesverwaltungsamt (LVA) Niedersachsen, Abteilung Landesvermessung, Hannover, bereits im August 1987 Testmessungen mit Trimble 4000SX GPS-Empfängern durch. Es handelte sich dabei um sog. Antennentests in einem Kleinst-Netz in Hannover. Dabei konnte die hohe relative Genauigkeit der Microstrip-Antennen im mm-Bereich demonstriert werden. Für das LVA Niedersachsen war es daher interessant zu testen, mit welchen Genauigkeiten reale Netze von einigen Kilometern Ausdehnung realisiert werden könnten. Für die L+T stand der Kauf von Trimble Empfängern als Variante immer noch offen, solange die Vertragsverhandlungen mit der WILD Leitz AG (heute Leica AG) noch nicht abgeschlossen waren. Zudem war es auch für die L+T und mit ihr für die SGK von Interesse, welchen Genauigkeitsgewinn diese Empfänger neuester Technologie im Testnetz Turtmann ausweisen würden.

Dank den guten Kontakten zwischen dem LVA Niedersachsen (Dr. W. Augath) und der L+T (E. Gubler) kamen Ende Oktober 1987 drei Operateure des LVA Niedersachsen unter der Leitung von Herrn W. Seifert zusammen mit einem Fahrer in die Schweiz. Seitens der L+T wurden von Herrn Seifert vier Operateure in die Bedienung der Trimble-Empfänger eingeführt. Die gesamte GPS-Messausrüstung (6 Empfänger, Antennen, Kabel, Batterien) wie auch die Software (TRIMVEC) für die Auswertung wurden vom LVA Niedersachsen mitgebracht. Weitere Details zur Messkampagne können dem internen Evaluationsbericht der L+T entnommen werden.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-87.2</i> (Test LVANS)	
Datum:	28.-30.10.1987 (Tage: 301-303)
Leitung:	A. Wiget
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter: - LVA Niedersachsen Herren W. Seifert, Meliss, Bogusz, Olliges - L+T D. Schneider, T. Signer, B. Vogel, A. Wiget, T. Burgess (Praktikantin)

Satellitenkonstellation <i>Turt-87.2</i>
Siehe <i>Turt-87.1</i> (Kap.5.4.2)

Messprogramm <i>Turt-87.2</i>				
Station:	Dat:	28.10.	29.10.	30.10.
	Sess:	301	302	303
		Empf/Ant	Empf/Ant	Empf/Ant
1. BRUN		5018/267		
2. BRAE			5020/259	5018/267
3. GPS		5016/177		5020/259
4. ERGI		5019/180		
5. OEMS			5019/180	5016/177
6. GPS			5018/267	
7. TURT		5017/226	5017/226	5017/226
8. SUST		5020/259	5021/261	5021/160
9. EMSH		5021/261	5016/177	5019/180
Sessionen pro Tag:	1	Messdauer pro Sess.:		4h 10min
Messzeiten:	Sess.301:	02:02h - 06:12h MEZ (01:02h - 05:12h UT)		
	Sess.302:	01:55h - 06:05h MEZ (00:55h - 05:05h UT)		
	Sess.303:	01:56h - 06:04h MEZ (00:56h - 05:04h UT)		
Messintervall:	15 sec	Elevationsmaske:		> 15°
Observablen:	Phase(L1,--); P-Code(--,--); C/A-Code (L1)			

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-87.2</i>			
Empfänger:	Trimble	Anzahl:	6
Typ:	4000SX		
SW-Version:	NP: 3.01	SP:	2.00
Antenne:	Microstrip L1		

Wetter Turt-87.2

Tag 301: Klare Nacht, Föhn, bei Morgendämmerung leicht verschleiert

Tag 302: Klare Nacht, leicht föhnig

Tag 303: Klare Nacht, windstill

5.5 Messkampagnen 1988

5.5.1 Übersicht

Da der unter 5.4.2 erwähnte Kaufvertrag mit der Fa. Leica nicht zustandekam, beschaffte die L+T im Dezember 1987 vier Einfrequenz-Empfänger des Typs Trimble 4000SL mit der Option einer späteren Aufrüstung zu Zweifrequenz-Empfängern 4000SLD. Im März 1988 fanden die Abnahmetests der neuen Geräte auf der Antennenteststrecke in Thun und im Testnetz Turtmann (*Turt-88.1*) statt. Ziel dieser Tests war die Überprüfung der von der Lieferfirma garantierten hohen Messgenauigkeit.

Gemäss Liefervertrag des Herstellers wurden im Sommer 1988 die 2 ersten Trimble 4000SL der L+T mit zusätzlichen Empfangskanälen für die zweite Frequenz (L2) aufgerüstet (neue Typenbezeichnung 4000SLD). Zudem wurden die Antennen ausgewechselt und die Empfänger-Software aufgerüstet. Um die neue Zweifrequenzmethode zu testen, führte die L+T im September 1988 mit den 2 neuen Trimble 4000SLD und den 2 bisherigen 4000SL verschiedene Testmessungen auf der Antennenteststrecke in Thun, im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg und schliesslich auch im Testnetz Turtmann (*Turt-88.2*) durch.

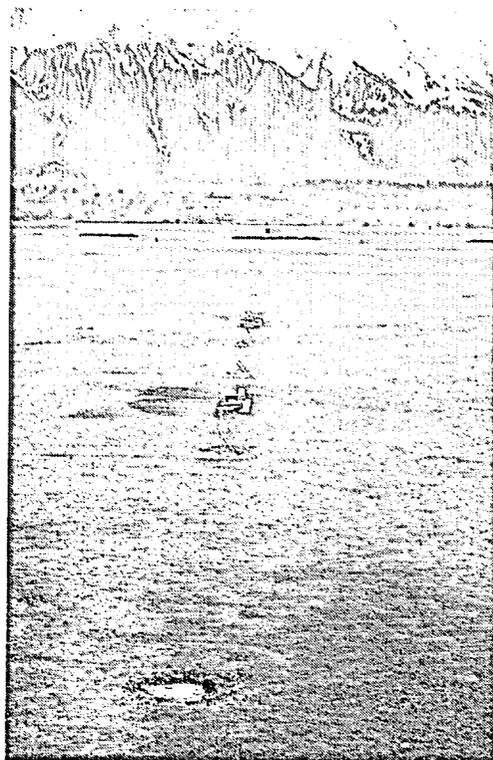


Abbildung 5.5-1: Antennenteststrecke auf der Allmend Thun für die Untersuchung von Phasenoffsets der GPS-Antennen



Abbildung 5.5-2: Präzisions-Distanzmessungen mit dem KERN-Mekometer ME-5000 auf der Antennenteststrecke

Schliesslich hat die Firma KERN & Cie, Aarau (heute Leica) im Mai 1988 Sercel NR52-Geräte getestet (Kampagne *Turt-88.3*).

5.5.2 Turt-88.1: Trimble 4000SL

Aufgrund der Wetterverhältnisse im März 1988 mit starken Regenschauern und Schneefällen bis 1000 m wurde beschlossen, nur ein sehr reduziertes Messprogramm mit Stationierungen auf den den beiden Talpunkten 7.TURT und 8.SUST (bzw. auf den zugehörigen Exzentren) durchzuführen.



Abbildung 5.5-3: Trimble 4000SL mit Antenne und Batterie auf der Teststrecke Thun (Operateur: A. Wiget) (Foto L+T)

Organisation der Messkampagne <i>Turt-88.1</i> (Abnahmetest)	
Datum:	24.-25.03.1988 (Tage: 084-085)
Leitung:	A. Wiget
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter: - L+T A. Wiget, D. Schneider

Satellitenkonstellation <i>Turt-88.1</i>	
Satelliten:	Block I: 03, 06, 08, 09, 11, 12, 13 Block II: --
S/A:	--
A/S:	--
Beobachtungsfenster (UT [h]: - sichtbar; = beobachtet)	
SV#	16h 17h 18h 19h
03	
06	-----X
08	-----X
09	-----X
11	-----X
12	-----X
13	X-----

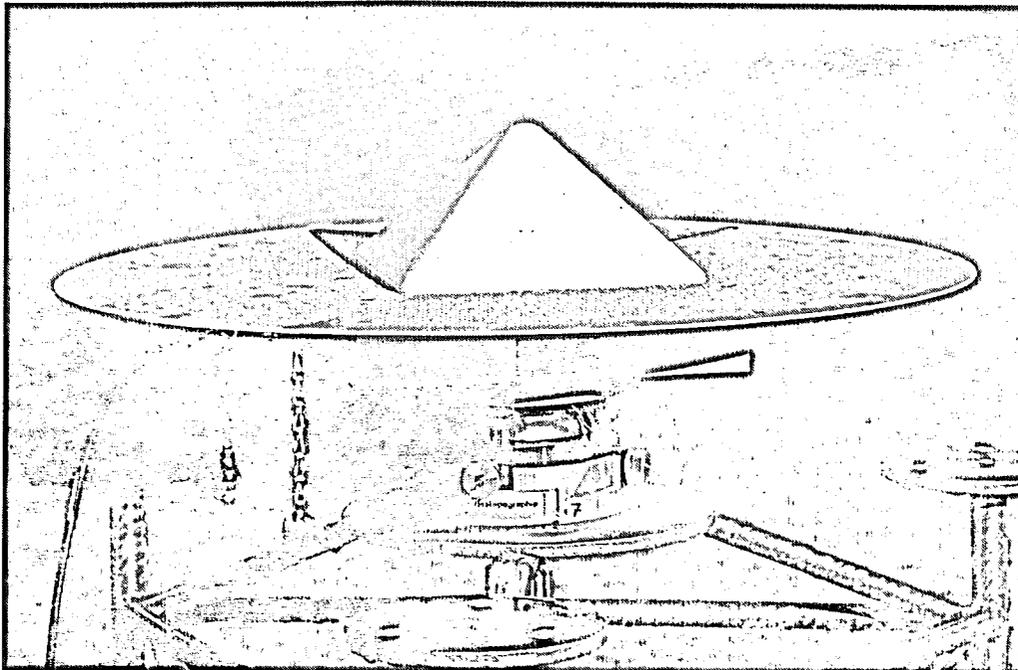


Abbildung 5.5-4: Antenne des Trimble 4000SL auf Kreuzschlitten und Stahlpfeiler

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-88.1</i> (L1-Abnahmetest)		
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 4
Typ:	4000SL	
SW-Version:	NP: 3.01	SP: 2.00
Antenne:	Microstrip L1	

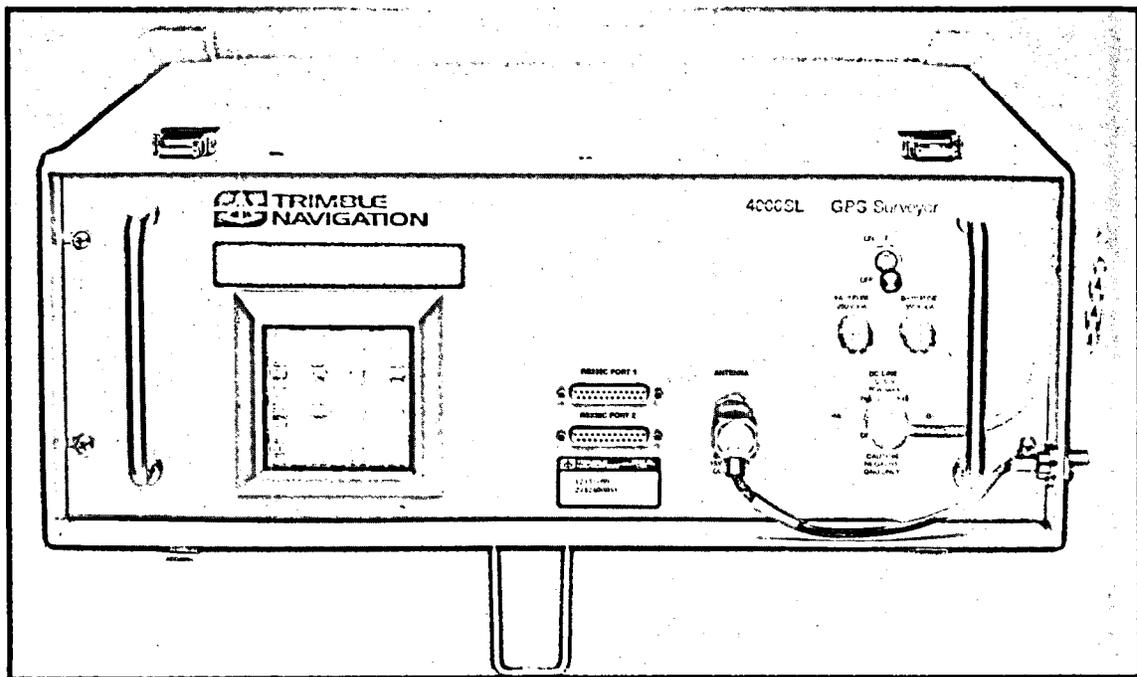


Abbildung 5.5-5: Trimble 4000SL-Empfänger

Messprogramm <i>Turt-88.1</i>		
Station:	Dat: 24.03.	25.03.
	Sess: 084	085
7.TURT	Tr.4000SL #127	Tr.4000SL #124
7.1	Tr.4000SL #122	Tr.4000SL #123
8.SUST	Tr.4000SL #123	Tr.4000SL #122
8.1	Tr.4000SL #124	Tr.4000SL #127
Sessionen pro Tag:	1	Messdauer pro Sess.: 3h 05min
Messzeiten:	17:00h - 20:05h MEZ (16:00h - 19:05h UT)	
Messintervall:	15 sec	Elevationsmaske: > 15°
Observablen:	Phase(L1,--); P-Code(--,--)	

Wetter Turt-88.1
Tag 084: Bedeckt, Regen, leichter Wind Tag 085: Bedeckt, Regen, starker Wind

5.5.3 Turt-88.2: Trimble 4000SL/SLD

Im August 1988 wurden die ersten zwei Zweifrequenzen-Empfänger vom Typ Trimble 4000SLD an die L+T ausgeliefert. Diese wurden anschliessend in Testnetzen verschiedenster Ausdehung (Thun, Turtmann, Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg) eingesetzt, um sowohl die Empfänger wie auch die neue Software eingehend testen zu können.

Organisation der Messkampagne Turt-88.2 (L2-Abnahmetest)	
Datum:	14.-16.09.1988 (Tage: 258-260)
Leitung:	A. Wiget
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter: - L+T E. Gubler, D. Schneider, F. Walser, A. Wiget

Satellitenkonstellation						
Satelliten:	Block I:				Block II:	
	03, 06, 08, 09, 11, 12, 13				--	
S/A:	--					
A/S:	--					
Beobachtungsfenster (UT [h]: - sichtbar; = beobachtet)						
SV#	03h	04h	05h	06h	07h	08h
03		.		.		.
06		=====X				
08		=====X				
09					=====X	
11		X=====				X
12					=====	
13			X=====			

GPS-Empfänger und Software Turt-88.2		
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 2
Typ:	4000SL	
SW-Version:	NP: 3.01	SP: 2.00
Antenne:	Microstrip L1	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 2
Typ:	4000SLD	
SW-Version:	NP: 3.04	SP: 3.00
Antenne:	Microstrip L1/L2	

Messprogramm <i>Turt-88.2</i>				
Station:	Dat:	14.09.	15.09.	16.09.
	Sess:	258	259	260
1.BRUN			Tr.4000SL #124	
2.BRAE				Tr.4000SLD #123
3.GPS		Tr.4000SL #122		
4.ERGI			Tr.4000SL #122	
5.OEMS				Tr.4000SL #122
6.GPS			Tr.4000SLD #127	
7.TURT		Tr.4000SLD #127	Tr.4000SLD #123	Tr.4000SL #124
8.SUST		Tr.4000SL #124		
9.EMSH		Tr.4000SLD #123		Tr.4000SLD #127
Sessionen pro Tag:		1	Messdauer pro Sess.: 4h 00min	
Messzeiten:		Sess.258:	05:30h - 09:30h MESZ (03:30h - 07:30h UT)	
		Sess.259:	05:30h - 09:30h MESZ (03:30h - 07:30h UT)	
		Sess.260:	05:20h - 09:20h MESZ (05:20h - 03:20h UT)	
Messintervall:		15 sec	Elevationsmaske: > 15°	
Observablen:		4000SL : Phase(L1,--); P-Code(--,--)		
		4000SLD: Phase(L1,L2); P-Code(--,--)		

Wetter <i>Turt-88.2</i>	
Tag 258: Leicht bewölkt, leichter Wind	
Tag 259: Bedeckt, Nebel, Regen, böiger Westwind	
Tag 260: Schön bis bedeckt, windstill bis leichter Wind	

5.5.4 Turt-88.3: Sercel NR52

Im Mai 1988 wurde die L+T durch die Firma KERN & Cie, Aarau (heute Leica) angefragt, ob die Messanlage in Turtmann für firmeneigene Gerätetests mit dem neuen Einfrequenz-Empfänger Sercel NR52 verwendet werden dürfe. Die L+T bewilligte diese Messungen und bot ihre Unterstützung an. Die Firma KERN hat in der Folge eine eigene Messkampagne in Turtmann (*Turt-88.3*) durchgeführt und die Messungen mit der Software GPSMIS der Lieferfirma ausgewertet.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-88.3</i>	
Datum:	18.-20.05.1988 (Tage: 139-141)
Leitung:	H. Riemensperger
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter:
	- KERN & Cie. unbekannt
	- SERCEL unbekannt

Satellitenkonstellation <i>Turt-88.3</i>						
Satelliten:	Block I: 03, 06, 08, 09, 11, 12, 13			Block II: --		
S/A:	--					
A/S:	--					
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)						
SV#	11h	12h	13h	14h	15h	16h
03		
06		=====	X			
08		=====	X			
09		=====				X
11		X=====				X
12		=====				
13			X=====			

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-88.3</i>		
Empfänger:	Sercel	Anzahl: 2
Typ:	NR52	
Antenne:	Quadrifilar-Helix	

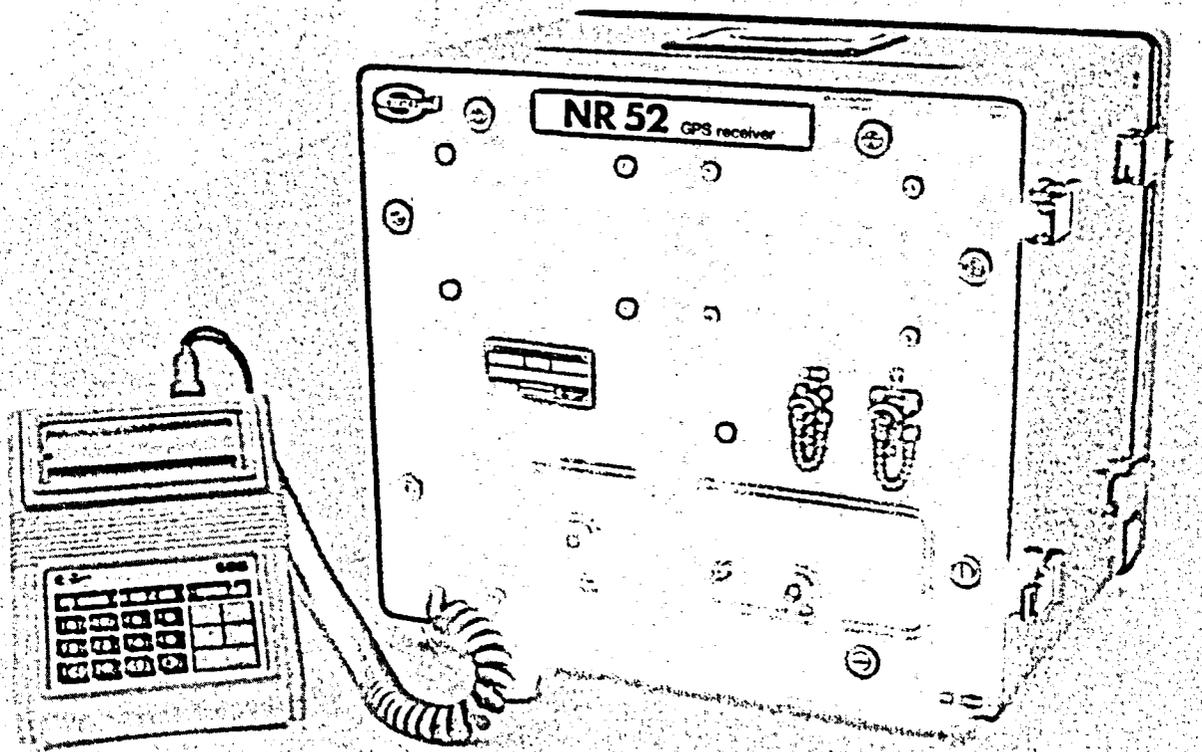


Abbildung 5.5-6: Sercel NR52-Empfänger

Messprogramm Turt-88.3				
Station:	Dat:	18.5.	19.5.	20.5.
	Sess:	139	140	141
4.ERGI			Nr. 28	Nr. 27
7.TURT		Nr. 27	Nr. 27	
8.SUST		Nr. 28		Nr. 28
Sessionen pro Tag:	1-2	Messdauer pro Sess.: 1h 30min		
Messintervall:	0.6 sec	Elevationsmaske: > 15°		
Observablen:	Phase(L1,--); P-Code(--,--)			

Die Erfahrungen und Resultate wurden in einem internen Bericht der Fa. KERN dokumentiert (s. *Archivdossier L + T*).

5.6 Messkampagne 1989

5.6.1 Übersicht

Im Sommer 1989 kam auch die Firma Leica mit einer Zweifrequenzen-Version ihres GPS-Empfängers (WM-102) auf den Markt. Im gleichen Zeitpunkt brachte die Firma Trimble Navigation (Vertretung für die BRD: AEG, Hamburg; Vertretung für die Schweiz: Elektron AG, Au (ZH)) den neuen Typ Trimble 4000ST (mit Aufrüstooption auf zwei Trägerfrequenzen: 4000SST) heraus.

Die L+T war an einem Test der neuen Geräte interessiert, da im Rahmen der technischen Instruktion in der Triangulation 4. Ordnung Auskünfte über die Leistungsfähigkeiten der neuen Geräte gewünscht wurden.

5.6.2 Turt-89: WILD-Magnavox WM-102 und Trimble 4000ST/SLD

Organisation der Messkampagne <i>Turt-89</i>		
Datum:	05.-07.07.1989 (Tage: 186-188)	
Leitung:	D. Schneider	
Teilnehmer:	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:
	- Elektron AG/AEG	B. Graber, N. Devos, B. Hogarth, Hr. Pellenwessel
	- Gester	C. Aeschlimann, S. Dunant
	- IGM/EPFL	H. Dupraz, I. Sancho, L. Huguenin
	- IGP/ETHZ	A. Geiger, Ettlín
	- Leica AG	R. Scherrer, H. Schwarz, M. Vögeli, J. Yau, Rutishuser, Oberbeck
	- L+T	E. Gubler, D. Schneider, A. Wiget, B. Mattli, T. Hardmeier

Satellitenkonstellation <i>Turt-89</i>						
Satelliten:	Block I: 03, 06, 08, 09, 11, 12, 13			Block II: --		
S/A:	--					
A/S:	--					
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)						
SV#	07h	08h	09h	10h	11h	12h
		.		.		.
06	X	=====	X			
09	X	=====				X
12	X	=====				X
08		X	=====	X		
11			X	=====	X	
13				X	=====	X
03					X	=====

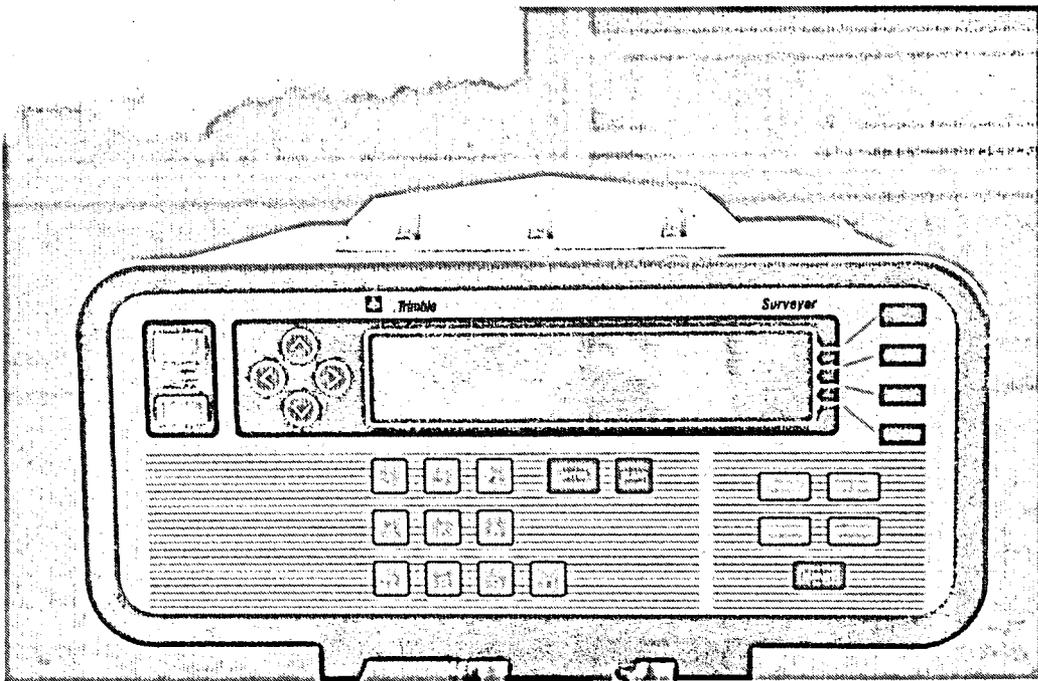


Abbildung 5.6-1: Trimble 4000ST mit festeingebauter Microstrip-Antenne (Foto IGP)

GPS-Empfänger und Software Turt-89		
Empfänger:	WILD-Magnavox	Anzahl: 10
Typ:	WM-102	
Antenne:	Microstrip L1/L2	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 1
Typ:	4000SLD	
SW-Version:	NP: 3.12	SP: 3.10
Antenne:	Microstrip L1/L2	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 1
Typ:	4000SL	
SW-Version:	NP: 3.12	SP: 3.10
Antenne:	Microstrip L1	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 4
Typ:	4000ST	
SW-Version:	NP: 3.23	SP: 3.23
Antenne:	Microstrip L1 (intern)	

Messprogramm Turt-89				
Station:	Dat:	5.7.	6.7.	7.7.
	Sess:	186	187	188
1.BRUN		WM-102	WM-102	4000ST
2.BRAE		WM-102	WM-102	WM-102
2.GPS			4000ST	4000ST
3.GPS		WM-102	WM-102	WM-102
3.GPS.E			4000SLD	4000SL
3.JEIZ				WM-102
4.ERGI		WM-102	WM-102	WM-102
5.OEMS		WM-102	WM-102	WM-102
6.GPS		WM-102	4000ST	WM-102
7.TURT			WM-102	WM-102
7.1		4000SLD	4000SL	4000ST
7.2		WM-102	WM-102	4000SLD
8.SUST		WM-102	WM-102	WM-102
8.1			4000ST	WM-102
8.5				4000ST
9.EMSH		WM-102	WM-102	WM-102
9.EMSH.E			4000ST	
Sessionen pro Tag:		1	Messdauer pro Sess.: 4h 10min	
Messzeiten:	Sess.186:	09:10h - 13:30h MEZ (07:10h - 11:30h UT)		
	Sess.187:	09:05h - 13:30h MEZ (07:05h - 11:30h UT)		
	Sess.188:	09:10h - 13:20h MEZ (07:10h - 11:20h UT)		
Messintervall:	15/30/60 sec	Elevationsmaske: > 15°		
Observablen:	WM-102:	Phase(L1,L2); C/A-Code(L1), P-Code(L2)		
	4000SLD:	Phase(L1,L2); C/A-Code(L1)		
	4000SL:	Phase(L1) ; C/A-Code(L1)		
	4000ST:	Phase(L1) ; C/A-Code(L1)		

Wetter Turt-89	
Tag 186:	Schön, schwacher Wind
Tag 187:	Bedeckt, leichter Sommerregen zu Messbeginn; später bewölkt
Tag 188:	Stark bewölkt bis bedeckt, mässiger Wind, leichter Regen

5.7 Messkampagnen 1990

5.7.1 Übersicht

Im Zusammenhang mit den Bestrebungen des AIUB, einen europäischen Satelliten-Bahndienst (CODE) aufzubauen, beschloss die L+T 1990, in Zimmerwald eine GPS-Permanentstation einzurichten. Zu diesem Zweck wurde im Laufe des Jahres eine Geräteevaluation mit verschiedenen für permanentes GPS-Tracking geeigneten Empfängern durchgeführt.

5.7.2 Turt-90.1: Rogue SNR-8, Trimble 4000SLD

Das norwegische "Statens Kartverk" betrieb als eine der ersten Organisationen in Europa schon 1990 zwei GPS-Permanentstationen. Als Empfänger wurde der damals als für diese Anwendung besonders prädestinierte Rogue SNR-8 verwendet. Dank den guten Beziehungen mit dem Statens Kartverk war es im März 1990 möglich, mit den beiden neu beschafften Geräten Testmessungen auf der Antennenteststrecke in Thun (*Thun-90.1*), auf den Stationen Zimmerwald und ETH Höggerberg (je gemeinsam mit Trimble 4000SLD und WM-102 Empfängern) sowie einen kurzen Test im Testnetz Turtmann zusammen mit Trimble 4000SLD durchzuführen.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-90.1</i>							
Datum:	24.3.1990 (Tag: 083)						
Leitung:	A. Wiget						
Teilnehmer:	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:					
	- Statens Kartverk	S. Rekkedal					
	- L+T	D. Schneider, A. Wiget, U. Wild					

Satellitenkonstellation <i>Turt-90.1</i>								
Satelliten:	Block I: 03, 06, 09, 11, 12, 13				Block II: 16, 18, 19			
S/A:	--				"off"			
A/S:	--				"off"			
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)								
SV#	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	
							
03					X=====		X	
06	X=====			X				
09	X=====			X	X=====	X		
11		X=====		X	X=====	X		
12	X=====			X	X=====	X=====	X	
13			X=X	X=X	X=====	X=====	X	
16	X=====							
18						X=====	X	
19			X=X	X=X	X=====	X=====	X	

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-90.1</i>		
Empfänger:	Rogue	Anzahl: 2
Typ:	SNR-8	
SW-Version:	V2.3	
Antenne:	Dorne-Margolin mit Choke-Ring	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 2
Typ:	4000SLD	
SW-Version:	NP: 3.24	SP: 3.20
Antenne:	Microstrip L1/L2	

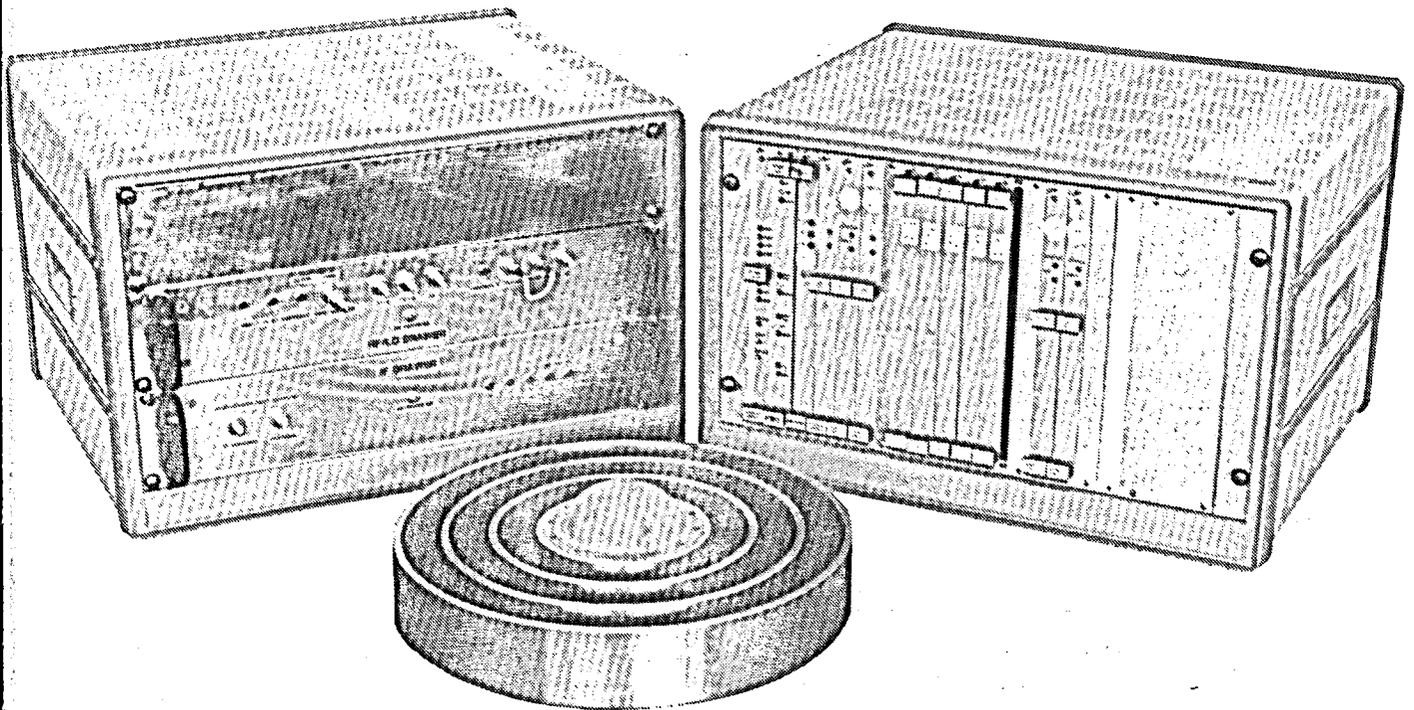


Abbildung 5.7-1: Rogue SNR-8-Empfänger

Messprogramm <i>Turt-90.1</i>			
Station:	Dat:	24.3.	24.3.
	Sess:	083.1	083.2
7.TURT	Rogue SNR-8 Nr.6	Rogue SNR-8 Nr.6	
7.1	Trimble 4000SLD	Trimble 4000SLD	
8.SUST	Rogue SNR-8 Nr.7	Rogue SNR-8 Nr.7	
8.1	Trimble 4000SLD	Trimble 4000SLD	
Sessionen pro Tag:	2	Messdauer pro Sess.: 2h 40min, 3h 10min	
Messzeiten:	Sess. 083.1: 14:10h - 16:50h MEZ (13:10h - 15:50h UT)		
	Sess. 083.2: 17:10h - 20:20h MEZ (16:10h - 19:20h UT)		
Messintervall:	18 sec resp. 12 sec	Elevationsmaske: > 2°	
Observablen:	Phase(L1,L2); C/A-Code (L1), P-Code(L1,L2)		

Wetter <i>Turt-90.1</i>	
Tag 083: Sonnig, leichter Wind	

5.7.3 Turt-90.2: Ashtech LD-XII - L2

1990 hat sich das Institut Géographique National (IGN) (Service Géodésie Nivellement), Paris, interessiert gezeigt, im Testnetz Turtmann seine eigenen Ashtech-Empfänger sowie diejenigen des Institut de Physique du Globe (IPG) zu testen. Da die L+T mehr über die Leistungsfähigkeit dieser Empfänger erfahren wollte, hat sie sich an den Testmessungen beteiligt. Vorgängig wurden die Ashtech-Empfänger gemeinsam mit Trimble-Empfängern der L+T an zwei Tagen auf der Teststrecke in Thun (*Thun-90.2*) eingesetzt.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-90.2</i>			
Datum:	30.5.-1.6.1990 (Tage: 150-152)		
Leitung:	A. Wiget		
Teilnehmer:	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:	
	- IGN	S. Botton, F. Bourassin	
	- IPG	J.-B. de Chaballier, P. Briole	
	- IGM-EPFL	H. Dupraz	
	- L+T	S. Dunant, D. Schneider, A. Wiget	

Satellitenkonstellation <i>Turt-90.2</i>								
Satelliten:	Block I:	03, 06, 09, 11, 12, 13			Block II:	02, 16, 18, 19, 20		
S/A:	--				"on"			
A/S:	--				"off"			
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)								
SV#	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h 15h	
							
02	X==X							
03					X-----X			
06	X-----X						X-----X	
09	X-----X						X-----X	
11			X-----X					
12			X-----X		X-----X			
13			X-----X		X-----X			
16	X-----X						X-----X	
18			X-----X		X-----X			
19					X-----X		X-----X	
20					X-----X			

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-90.2</i>		
Empfänger:	Ashtech	Anzahl: 4
Typ:	LD-XII - L2	
Antenne:	Microstrip L1/L2	

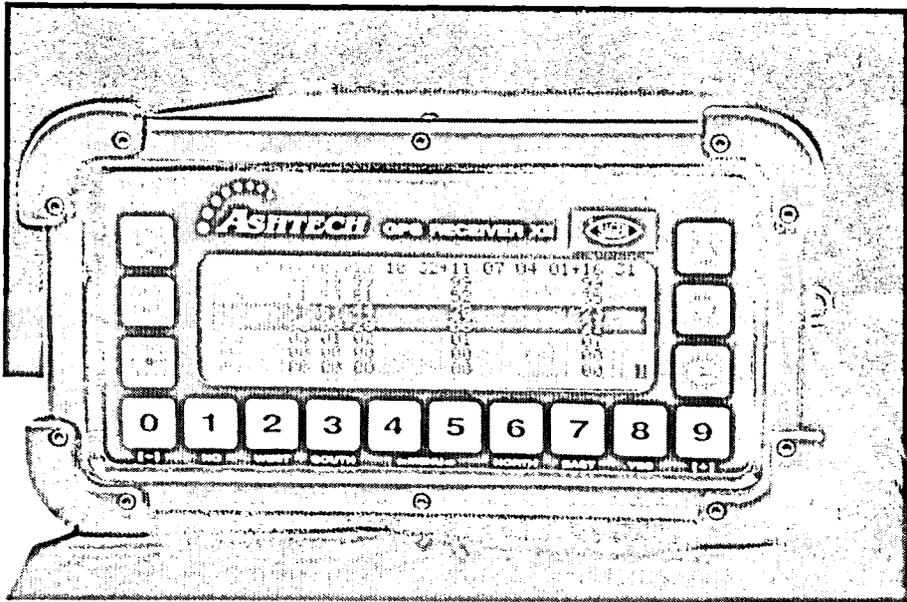


Abbildung 5.7-2: Ashtech LD-XII-Empfänger

Messprogramm <i>Turt-90.2</i>					
Station:	Dat:	30.5.	31.5.	31.5.	1.6.
	Sess:	150	151.1	151.2	152
1. BRUN			LD-XII 525	LD-XII 525	LD-XII 517
2. BRAE	LD-XII 517			LD-XII 522	
3. GPS			LD-XII 522		LD-XII 518
4. ERGI	LD-XII 518		LD-XII 517		
5. OEMS				LD-XII 517	LD-XII 525
6. GPS					LD-XII 522
7. TURT	LD-XII 525	LD-XII 518	LD-XII 518		
8. SUST	LD-XII 522				
9. EMSH					
Sessionen pro Tag:	1-2	Messdauer	Sess. 150:	6h 10min	
			▪ Sess. 151.1:	2h 45min	
			▪ Sess. 151.2:	2h 45min	
			▪ Sess. 152:	5h 40min	
Messzeiten:	Sess.150 : 10:30h - 16:40h MESZ (08:30h - 14:40h UT)				
	Sess.151.1: 10:30h - 13:15h MESZ (08:30h - 11:15h UT)				
	Sess.151.2: 13:45h - 16:30h MESZ (11:45h - 14:30h UT)				
	Sess.152 : 10:20h - 16:00h MESZ (08:20h - 14:00h UT)				
Messintervall:	10 sec	Elevationsmaske: > 10°			
Observablen:	Phase(L1,L2); C/A-Code (L1)				

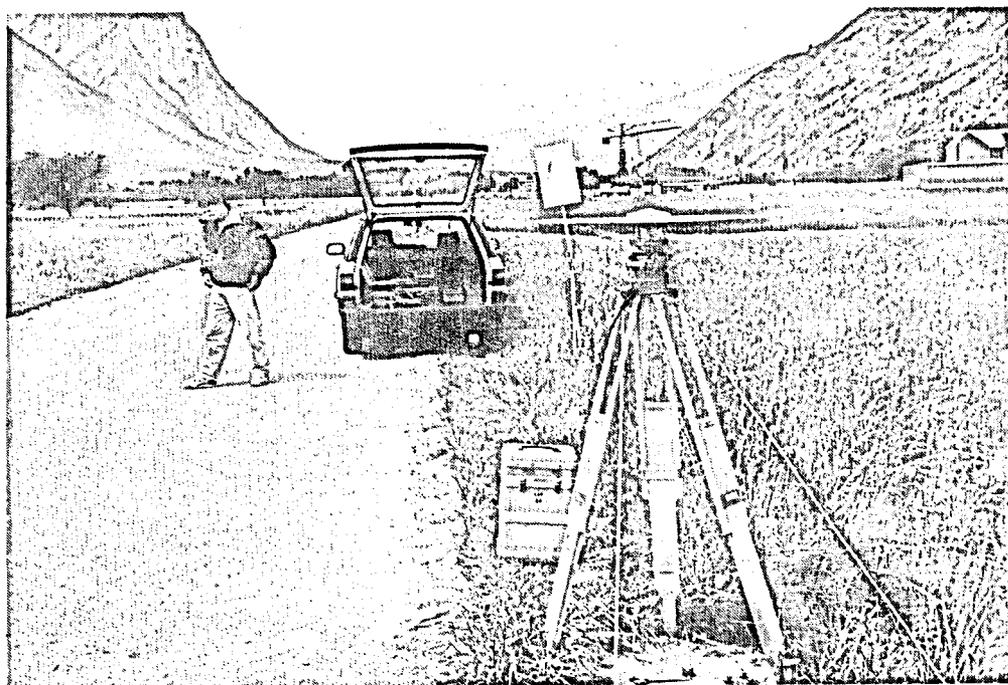


Abbildung 5.7-3: Stationierung auf Station 7.TURT mit dem Ashtech LD-XII (Operateur: S. Botton, IGN, France)

Wetter Turt-90.2

Tag 150: Sonnig, leicht bewölkt bis verschleiert, leichter Wind

Tag 151: Sonnig, dunstig, z.T. leichte Brise

Tag 152: Sonnig, leicht bewölkt, leichter Wind

5.8 Messkampagnen 1991-92

5.8.1 Übersicht

Im Laufe des Jahres 1991 kam der neue GPS-Empfänger WILD SR299 und die zugehörige Auswertesoftware SKI von Leica Heerbrugg AG auf den Markt. SKI erlaubte erstmals die Auswertung von Messungen nach dem 'Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA)' [Frei, 1991]. Die Firma Leica Heerbrugg AG führte daher einen eingehenden Test (Kampagne *Turt-91*) im Testnetz Turtmann durch.

Ende Oktober 1992 wurden anlässlich der Evaluation neuer Empfänger des Bundesamtes für Landestopographie diverse Testmessungen im Netz Turtmann durchgeführt. Zuvor wurden an zwei Tagen (26./27. Okt. 1992) in Thun (Kurzbasislinsen-Tests *Thun-92.2*) die Ablagen der Phasenzentren bestimmt. Anlässlich der Kampagne *Turt-92* wurden zudem die Punktgruppen und Rückversicherungsbolzen der Punkte 7.TURT und 1.BRUN durch A. Schlatter (Praktikant L+T) und H. Gilgen neu eingemessen und einzelne Flanschen durch H. Grünig repariert.

5.8.2 Turt-91: WILD SR299

Die Kampagne vom Herbst 1991 wurde von der Firma Leica Heerbrugg AG in eigener Regie durchgeführt. Sie wurde als intern und für die Öffentlichkeit prinzipiell nicht zugänglich erklärt. Die L+T begleitete die Messkampagne mit logistischer Unterstützung.

Organisation der Messkampagne <i>Turt-91</i>	
Datum:	2.-3.10.1991 (Tage: 275-276)
Leitung:	R. Scherrer
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter:
	- Leica AG: E. Frei, H. Rainer, R. Braun, St. Sieber, M. Schubernigg, R. Scherrer, M. Vögeli;
	- L+T: Ch. Aeschlimann, St. Nebiker (Gäste) Th. Signer, A. Wiget, U. Wild; H. Gilgen, F. Roth (Montage)

Satellitenkonstellation <i>Turt-91</i>	
Satelliten:	Block I: 03, 06, 11, 12, 13 Block II: 02, 14 bis 19, 21, 23, 24
S/A:	-- "on"
A/S:	-- "off"
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)	
SV#	14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h

02	X-----X
06	
11	X-----X
13	
14	X-----X
15	X-----X
16	
18	X-----X
19	
21	X-----X
24	X-----X

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-91</i>	
Empfänger:	WILD GPS-System 200: Anzahl: 8
Sensor:	SR299, inkl. Microstrip L1/L2-Antenne
Controller:	CR233

Der Beobachtungsplan wurde entsprechend der Zielsetzung, unter anderem dem Testen der FARA-Methode, speziell gewählt. Alle Hauptstationen 1 bis 8 waren mit einem Empfänger besetzt. Die Stationen 1.BRUN und 7.TURT beobachteten während allen Sessionen an beiden Tagen im Dauerbetrieb (*Referenzstationen*). Auf den übrigen Stationen waren die Empfänger entweder im Dauerbetrieb (*Dauernd*) oder es wurde eine *rapid static* Messung simuliert, ohne die Empfänger jedoch zu bewegen (*Intervall*). Die Messintervalle in der ersten Session beider Tage zwischen 14:10h und 15:10h waren wie folgt geplant:

Zeitintervall: 10 Min. 5 Min. 4 Min. 3 Min. 2 Min. 90 Sek. 60 Sek.
 Anzahl Epochen: 60 30 24 18 12 9 6

Nach dem einminütigen Intervall war die Anzahl der Epochen in umgekehrter Reihenfolge (6, 9, 12, 18, etc.) wieder zu erhöhen, bis max. 60. Anschliessend wurde das ganze Programm wiederholt, bis zum Sessionsende. In der dritten Session am 3.10. (*Spezial*) wurden nach speziellem Programm *kinematische* Untersuchungen und *Stop and Go* Tests durchgeführt, wobei die Empfänger auf 1-Sekunden-Messintervalle gesetzt wurden.

Messprogramm <i>Turt-91</i>				
Station:	Dat:	2.+3.10.91	2.+3.10.91	2.+3.10.91
	Sess:	14:10-15:10	16:30-17:50	18:40-20:00
1.BRUN	Wild SR299	Referenzstation	Referenzstation	Referenzstation
2.BRAE	Wild SR299	Intervall	Dauernd	Dauernd/Spezial
3.GPS	Wild SR299	Intervall	Dauernd	Dauernd/Spezial
4.ERGI	Wild SR299	Interv./Dauernd	Dauernd	Dauernd/Spezial
5.OEMS	Wild SR299	Intervall	Dauernd	Dauernd/Spezial
6.GPS	Wild SR299	Intervall	Dauernd	Dauernd/Spezial
7.TURT	Wild SR299	Referenzstation	Referenzstation	Referenzstation
8.SUST	Wild SR299	Intervall	Dauernd	Dauernd/Spezial
9.EMSH				
Sessionen pro Tag:	3	Messdauer Sess. 275.1 / 276.1:	1h	
		" Sess. 275.2 / 276.2:	1h 20min	
		" Sess. 275.3 / 276.3:	1h 20min	
Messzeiten:	1. Session:	14:10h - 15:10h MEZ	(13:10h - 14:10h UT)	
	2. Session:	16:30h - 17:50h MEZ	(15:30h - 16:50h UT)	
	3. Session:	18:40h - 20:00h MEZ	(17:40h - 19:00h UT)	
Messintervall:	10 sec.	Elevationsmaske:	> 15°	
Observablen:	Phase(L1,L2); P-Code (L1/L2)			

5.8.3 Turt-92: Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE, Wild SR299

Statische Messungen im Netz Turtmann fanden jeweils am Nachmittag des 28. und 29. Okt. 1992 während ca. 3 Stunden statt. Da die Messungen der Evaluation neuer Empfänger für die L+T dienten, wurden die Felddauglichkeit und andere Kriterien (z.B. die Stromversorgung) von allen Operateuren kritisch beurteilt und in einem Kurzbericht festgehalten. Am Morgen wurden sog. *rapid static* Tests auf den Strecken 7.TURT - 8.SUST und 7.TURT - Lalden gemessen. Die Tests sowie deren Resultate wurden von Th. Signer in einer Vergleichsstudie kommentiert [Signer, 1993].

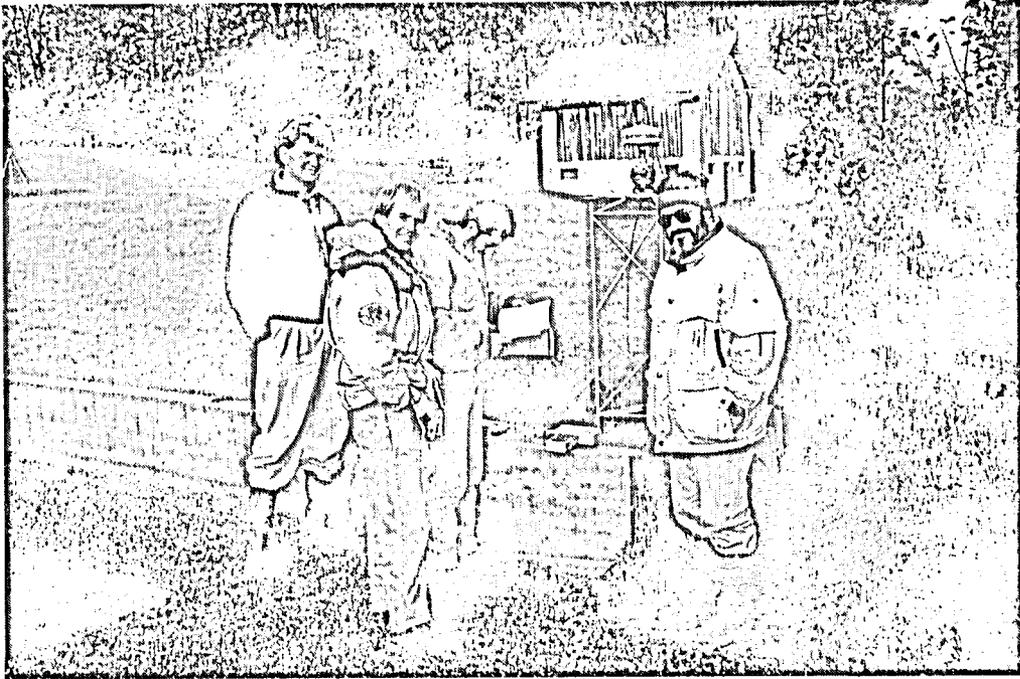


Abbildung 5.8-1: Die Test-Crew (Teil) bei den *rapid static* Tests auf der Station 8.SUST (Foto L+T)

Organisation der Messkampagne <i>Turt-92</i>	
Datum:	28.-29.10.1992 (Tage: 302-303)
Leitung:	T. Signer (Feld), A. Wiget (Auswertung)
Teilnehmer:	Institute/Firmen: Operateure/Mitarbeiter:
	- L+T: D. Schneider, T. Signer, B. Vogel, A. Wiget, U. Wild; H. Gilgen, A. Schlatter, H. Grünig
	- Leica AG: R. Scherrer, M. Vögeli
	- Elektron AG: R. Dingetschweiler, P. Koren

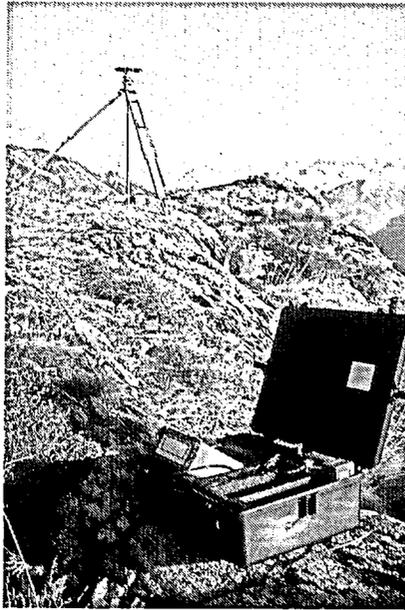


Abbildung 5.8-2: Ashtech P-12 (LM-XII3) auf der Station 3.GPS (Jeizinen) (Foto L+T)

Satellitenkonstellation <i>Turt-92</i>					
Satelliten:	Block I:		Block II:		
	13		14, 15, 18, 19, 24, 25, 27		
S/A:	--		"on"		
A/S:	--		"off"		
Beobachtungsfenster (UT [h]; - sichtbar; = beobachtet)					
SV#	13h	14h	15h	16h	17h
				
13	X=====X				
14	X=====X				
15	X=====X				
18	X=====X				
19			X=====X		
24			X=====X		
25	X=====X				
27				X=====X	

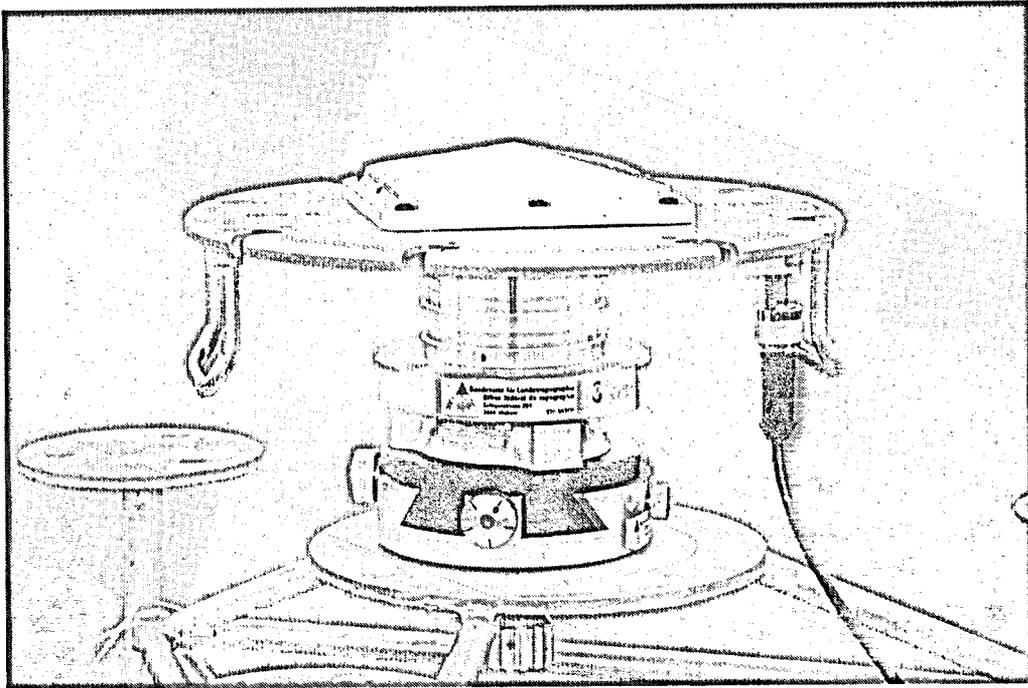


Abbildung 5.8-3: Antenne des Empfängers Ashtech LM-XII3 auf Kreuzschlitten und Stahlpfeiler (Bild L+T)

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-92</i>		
Empfänger:	Ashtech P-12	Anzahl: 3
Typ:	LM-XII3	
SW-Version:	Nav: 6M, Channel: P5, Options: C21	
Antenne:	Microstrip L1/L2	
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 3
Typ:	4000SSE (Geodetic Surveyor)	
SW-Version:	NP: 5.51, SP: 1.10, Boot: 3.29	
Antenne:	Microstrip: Geodetic L1/L2 (2) / Kinematic L1/L2 (1)	
Empfänger:	WILD GPS-System 200:	Anzahl: 4
Sensor:	SR299, Vers. 1.41, inkl. Microstrip L1/L2-Antenne	
Controller:	CR233, Vers. 1.04	
SW-Version:	Boot: Vers. 1.20	

Die Ashtech-Empfänger wurden durch die Firma Zeiss, Oberkochen (D) dank den Bemühungen von Herrn K. Fritzensmeier, die Trimble-Geräte durch die Firma Elektron, Au (ZH) und die WILD-Ausrüstungen durch die Firma Leica Glattbrugg AG kostenlos zur Verfügung gestellt.

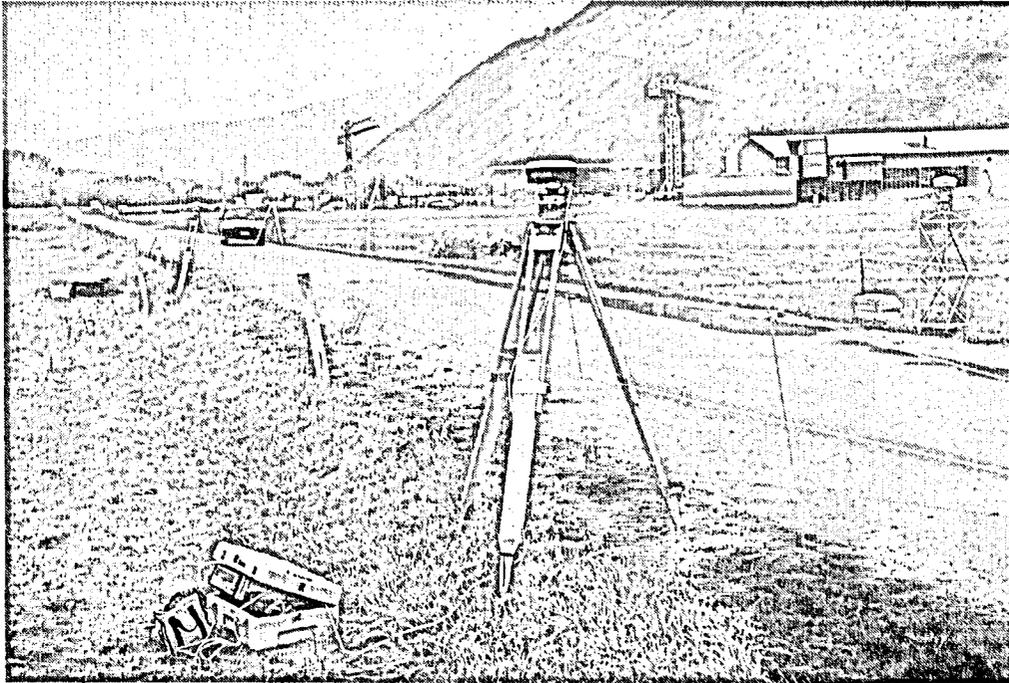


Abbildung 5.8-4: Die 3 verschiedenen Testempfänger auf den Fixpunkten in Turtmann. Im Vordergrund der Trimble 4000SSE in Transportkiste mit Batterie und Antenne auf Kreuzschlitten und Stativ (Foto L+T)

Messprogramm <i>Turt-92</i>			
Station:	Dat:	28.10.	29.10.
	Sess:	302	303
1. BRUN		Ashtech LM-XII3	WILD System 200
2. BRAE		Trimble 4000SSE	WILD System 200
3. GPS		WILD System 200	Ashtech LM-XII3
4. ERGI		Ashtech LM-XII3	WILD System 200
5. OEMS		WILD System 200	Trimble 4000SSE
6. GPS		WILD System 200	Trimble 4000SSE
7. TURT		WILD System 200	WILD System 200
7.1		Trimble 4000SSE	Ashtech LM-XII3
7.2		Ashtech LM-XII3	Trimble 4000SSE
8. SUST		Trimble 4000SSE	Ashtech LM-XII3
Sessionen pro Tag:		1	Messdauer pro Sess.: 3h
Messzeiten:		Sess.302: 14:10h - 17:10h MEZ (13:10h - 16:10h UT)	Sess.303: 14:06h - 17:06h MEZ (13:06h - 16:06h UT)
Messintervall:		15 sec	Elevationsmaske: > 15°
Observablen:		Ashtech: Phase(L1,L2); P-Code(L1,L2) Trimble: Phase(L1,L2); P-Code(L1,L2) WILD: Phase(L1,L2); P-Code(L1,L2)	

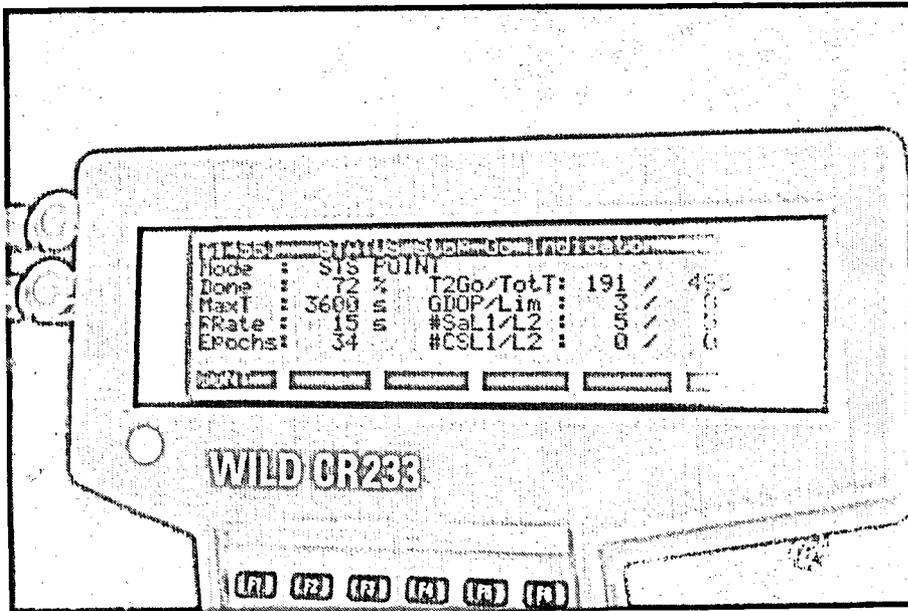


Abbildung 5.8-5: Controller CR233 des Systems WILD 200

Wetter <i>Turt-92</i>
Tag 302: Bedeckt, leichter Regen Tag 303: Schön, leichter Wind

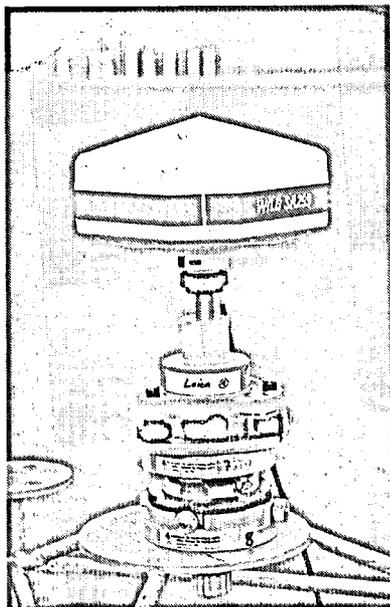


Abbildung 5.8-6: Sensor SR299 des Systems WILD 200 auf Träger, WILD-Dreifuss, Kreuzschlitten und Stahlpfeiler

5.9 Messkampagne 1993

5.9.1 Übersicht

Die Vorgeschichte und die Gründe zur Initialisierung der Messkampagne *Turt-93* mit permanentem Messbetrieb sind in Kap.5.1.1 dargelegt. Neben dem Hauptziel, aussagekräftige Messdaten für die Erprobung der Troposphärenmodellierung zu beschaffen, bot die Messaufgabe auch die Möglichkeit, operationelle Erfahrungen im Rahmen des Permanentbetriebs mit einer grösseren Zahl von Empfängern über mehrere Tage zu erhalten. Ein permanenter Messeinsatz über mehrere Tage war erstmals bei der Messkampagne EUREF-CH-92 mit Trimble 4000SLD-Empfängern erfolgreich eingesetzt worden. Die neuen Trimble 4000SSE sind wegen ihrem geringen Stromverbrauch, dem neuen 'power controller', den grösseren Datenspeichern und der grösseren Anzahl Empfangskanälen für solche Operationen bestens geeignet. Es konnte damit im Testnetz Turtmann zum ersten Mal eine Messkampagne mit maximalem Geräte- und minimalem Personaleinsatz (3 Operateure) durchgeführt werden.

5.9.2 Turt-93: Trimble 4000SSE: Permanentbetrieb 4 x 24 h

Organisation der Messkampagne <i>Turt-93</i>		
Datum:	27.9.-1.10.1993 (Tage: 270-274)	
Leitung:	D. Schneider	
Teilnehmer:	Institute/Firmen:	Operateure/Mitarbeiter:
	- L+T: (ständig)	D. Schneider, U. Wild, G. Lütolf (Praktikant), B. Mattli, A. Wiget, G. Danuser (Praktikant), H. Gilgen (Installation)
	(teilweise)	B. Bürki (Ballonsondierung)
	- IGP-ETHZ	

Ursprünglich war bei der Kampagne *Turt-93* auch der Einsatz der Wasserdampf-Radiometer des IGP-ETHZ vorgesehen. Da diese Geräte aber in diesem Jahr umgebaut wurden, konnte ihr Einsatz nicht zugesichert werden. Eine Verschiebung der Kampagne bis zum Frühsommer 1994 kam aber nicht in Frage, da die Messdaten für die Forschungsarbeiten des AIUB so bald als möglich zur Verfügung stehen sollten.

Als weitere Massnahme zur Erfassung der Meteodaten im Messgebiet wurden Ballonsondierungen in Zusammenarbeit mit dem IGP (B. Bürki) während eines ganzen Messtages vorgesehen. Das IGP verfügt über eine Messeinrichtung, mit welcher eine Erfassung und 'online' Auswertung der Messdaten möglich ist, sodass der interessierende 'path delay' für die GPS-Trägerwellenlängen in vertikalen Messprofilen anfällt. Aus organisatorischen Gründen wurde der Mittwoch, 29.9.93 (Tag 272) für diese intensive Erfassung ausgewählt. Insgesamt wurden 6 freie Sondenaufstiege im Abstand von je 4 Stunden vorgesehen. Bei allen früheren Messkampagnen der L+T wurde der Erfassung von Stationsmeteodaten grosse Beachtung geschenkt (s. Kap.5.1.3); eine periodische Messung der Bodenmeteo war aber beim Permanentbetrieb nicht mehr möglich.

Satellitenkonstellation <i>Turt-93</i>		
Satelliten:	Block I: 03, 12, 13	Block II: 01, 02, 05, 07, 09, 14 bis 29, 31
S/A:	--	"on"
A/S:	--	"off"
Beobachtungsfenster:	vgl. Figur 6.9-1	

GPS-Empfänger und Software <i>Turt-93</i>		
Empfänger:	Trimble	Anzahl: 9
Typ:	4000SSE (Geodetic Surveyor)	
SW-Version:	NP: 5.60, SP: 1.23, Boot: 3.11	
Antenne:	Microstrip: Geodetic L1/L2	

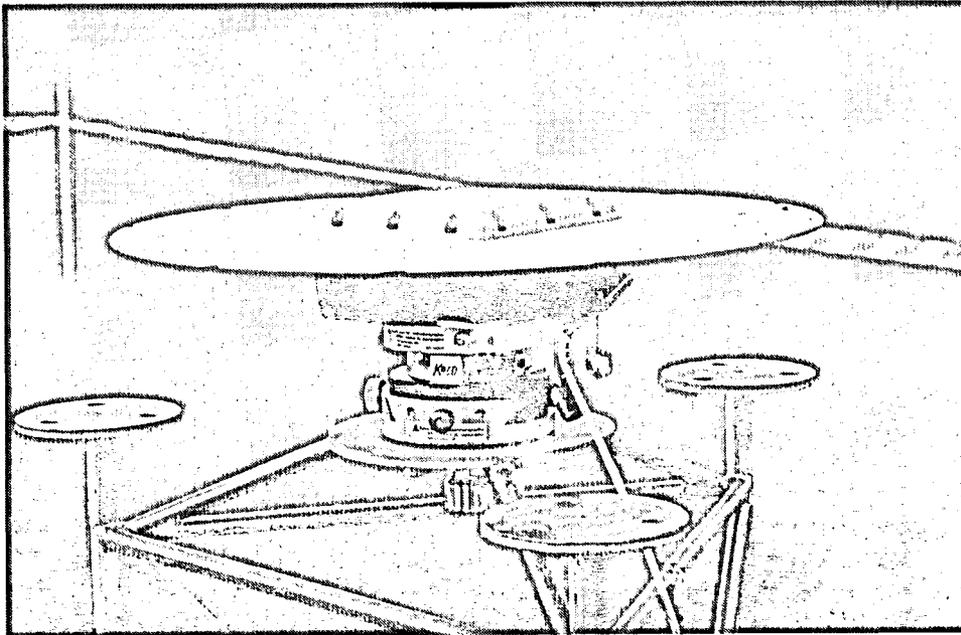


Abbildung 5.9-1: Antenne des Trimble 4000SSE auf Kreuzschlitten und Stahlpeiler (Foto L+T)

Messprogramm <i>Turt-93</i>		
Station:	Dat:	27.9. - 1.10.
	Sess:	270 - 274
1. BRUN	Tr.4000SSE	Nr.301
2. BRAE	Tr.4000SSE	Nr.302
3. GPS	Tr.4000SSE	Nr.303
4. ERGI	Tr.4000SSE	Nr.304
5. OEMS	Tr.4000SSE	Nr.309 (Elektron AG)
6. GPS	Tr.4000SSE	Nr.306 (Grunder AG)
7. TURT	Tr.4000SSE	Nr.307 (Grunder AG)
8. SUST	Tr.4000SSE	Nr.308 (Grunder AG)
9. EMSH	Tr.4000SSE	Nr.305
Sessionen pro Tag:	1	Messdauer pro Sess.: 23h 59min
Messzeiten:	Sess.270-274 jeweils: 13:00h - 12:59h MEZ 12:00h - 11:59h UT	
Messintervall:	30 sec	Elevationsmaske: > 15°
Observablen:	Phase(L1,L2); P-Code(L1,L2)	

Ballonsondierungen Turt-93	
Leitung:	B. Bürki (IGP-ETHZ)
Standort:	Flugplatz Turtmann (200 m von Stat. 7.TURT)
Messprogramm:	Messdatum: 29.9. Messzeiten: 00h, 04h, 08h, 12h, 16h, 20h
Sonden:	Sprenger Radiosonden (freier Aufstieg) 'online' Registrierung und Auswertung mit PC

Aufstieg	Launch (UT)	Max. Höhe [m]	Zeit (max.Höhe) (UT)	Path Delay [cm]
1	2:25:38	5219	3:11:07	6.7
2	6:24:13	8162	7:03:08	7.2
3	10:48:18	7429	11:29:25	6.6
4	14:20:15	7205	14:53:59	5.9
5	18:11:32	8562	18:48:33	8.3
6	22:10:08	6303	22:28:24	7.9

Tabelle 5.9-1: Path delays aus Ballonsondierungen bei der Station 7.TURT am 29.9.93 (Auswertungen Dr. Bürki, IGP-ETHZ)

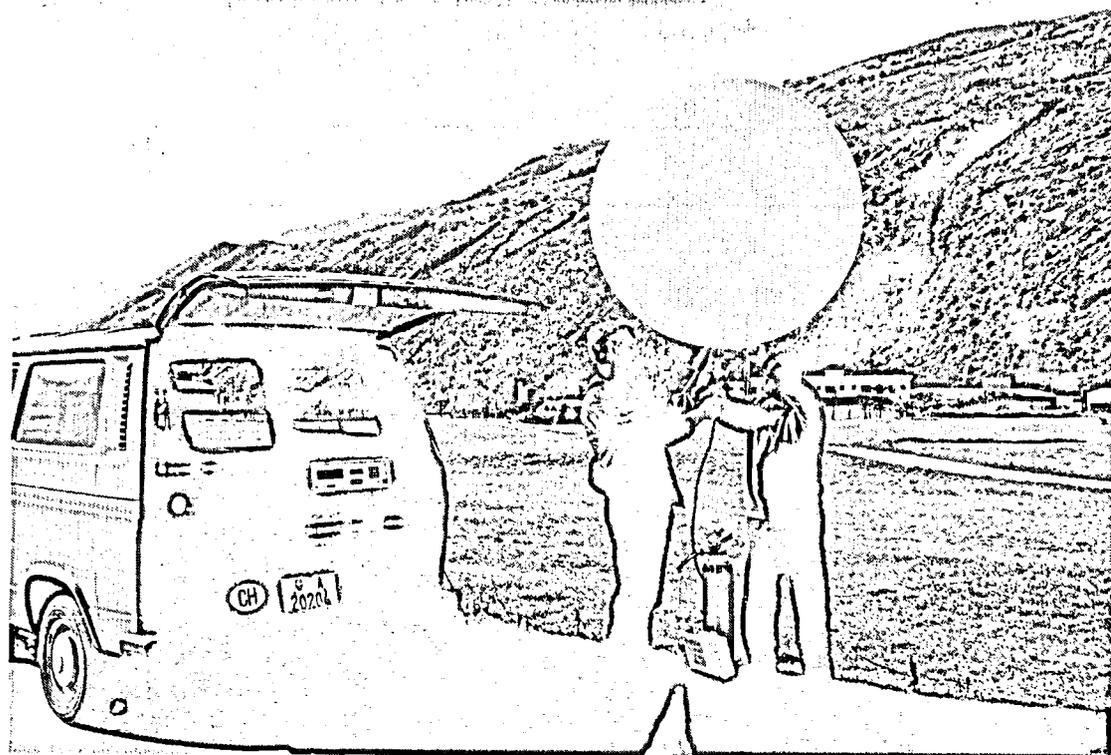


Abbildung 5.9-2: Ballonsondierung des IGP-ETHZ (Dr. Bürki) im Intervall von 4 Stunden vom Flugplatz Turtmann aus (300 m von der Station 7.TURT entfernt)

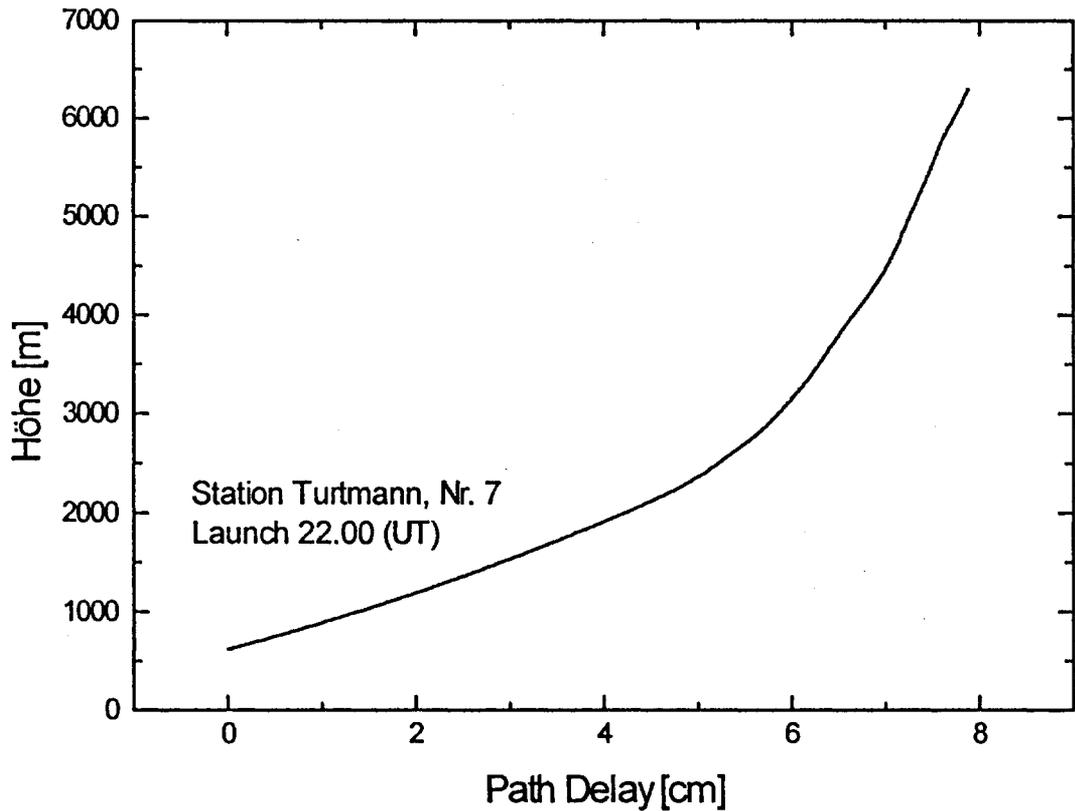


Abbildung 5.9-3: Path delay berechnet aus der Ballonsondierung vom 29.9.93 (22:10 - 22:28 Uhr) bei der Station 7.TURT

Wetter Turt-93
Montag, 27.9.93 (Tag 270): VM: Sonnig und mild nach starken Regenschauern. Restbewölkung in Auflösung, windstill. NM: Aufziehende Bewölkung von Westen her. Leichter Westwind. Am Abend starke Regenfälle. Schnee ab ca. 1500 m.
Dienstag, 28.9.93 (Tag 271): VM: Nachlassende Niederschläge am Morgen. Dann Aufhellungen im Tal und z.T. am Nordhang. Starke Restbewölkung am Südhang. Leichter Wind. NM: Am Nordhang z.T. sonnig. Am Südhang Nebel ab ca. 1500 m und leichter Schneefall. Wenig Wind.
Mittwoch, 29.9.93 (Tag 272): VM: Schön und mild. Windstill. NM: Aufziehen von hoher Schleierbewölkung. Im Tal windstill.

Wetter Turt-93 (Forts.)**Donnerstag, 30.9.93 (Tag 273):**

VM: Schön und mild. Typische Föhnlage mit hoher Schleierbewölkung und mittlerem bis starkem SE-Wind.

NM: Starker Föhn. Zunehmende Bewölkung von Westen her. Leichte Regenschauer am Abend. Schnee ab ca. 2000 m.

Freitag, 1.10.93 (Tag 274):

VM: Föhnige Aufhellung. Starker SE-Wind. Zeitweise sonnig. Gegen Mittag von Westen aufziehende Bewölkung.

6 Auswertungen der GPS-Messkampagnen

(Autoren: G. Beutler, A. Geiger, M. Rothacher, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget)

6.1 Einleitung

6.1.1 Zur Geschichte

6.1.1.1 Das GPS

Das Global Positioning System (GPS) ist der Nachfolger des Transit Doppler Systems NNSS (Navy Navigation Satellite System). Das System wurde Ende 1993 als operationell erklärt. Der erste Block-I-Satellit wurde 1978 gestartet, ab etwa 1982 war eine Testkonfiguration verfügbar, welche es erlaubte, pro Tag während einiger Stunden an verschiedenen Orten der Erdoberfläche vier oder gar fünf Satelliten simultan zu verfolgen. Die Testkonfiguration war für das Gebiet der USA optimiert. Im Jahr 1989 wurde der erste Block-II-Satellit gestartet; heute, im Winter 1993/94, sind insgesamt 26 Satelliten (!) verfügbar, wovon 3 noch Block-I-Satelliten sind, welche nicht mehr lange aktiv sein dürften. Zwei wichtige Eigenschaften, 'SA (selective availability)' und 'AS (anti-spoofing)' müssen kurz erläutert werden.

Unter SA werden künstlich die Satellitenuhren verfälscht. Dieser sowohl im Code als auch in der Phase sichtbare 'random walk' der Satellitenuhren wird den zivilen Nutzern des Systems nicht mitgeteilt. SA ist seit längerer Zeit bei allen Block-II-Satelliten voll eingeschaltet und behindert die relative Positionierung (interferometrische Methode) kaum. Voraussetzungen muss man allerdings, dass sämtliche Empfänger etwa innerhalb einer Millisekunde synchronisiert sind, was bei modernen Produkten angenommen werden darf.

Ist AS eingeschaltet, steht dem zivilen Nutzer des Systems der P-Code nicht mehr zur Verfügung. AS wurde bis Ende 1993 nur sporadisch, vornehmlich an Wochenenden, zu Testzwecken eingesetzt. Seit dem 31. Januar 1994 scheint AS permanent eingeschaltet zu sein. Sämtliche modernen Empfänger haben sich auf diese Betriebsart eingestellt. Der Haupteffekt besteht darin, dass die Phase des L2-Trägers nicht mehr gleich rekonstruiert werden kann wie die von L1. Dies könnte zu einer leicht geringeren Genauigkeit der L2-Phasenbeobachtung führen. Man wird also überall dort, wo L2 effektiv gebraucht wird (also z.B. immer, wenn die ionosphärenfreie Linearkombination gebildet werden muss), mit einer leicht verringerten Positionierungs-Genauigkeit rechnen müssen (im Vergleich mit der AS-freien Beobachtung). Genaue Angaben sind erst noch zu erarbeiten.

6.1.1.2 Die Empfänger

Bis etwa Mitte der achtziger Jahre waren nur zwei Empfängertypen, der Macrometer V-1000 und der TI-4100 von Texas Instruments, für die präzise Vermessung von Bedeutung. Beide Empfängertypen sind nicht mehr auf dem Markt. Man sollte aber anerkennen, dass beide Instrumente für die Entwicklung der wissenschaftlichen Auswerteverfahren von grösster Bedeutung waren. Das Konzept des V-1000 war insofern bestechend, als er nur das absolute Minimum an Information verarbeitete. Es wurde nämlich ausschliesslich die Phase des L1-Trägers rekonstruiert. Das Verfahren, das sogenannte 'squaring', wird noch heute in gewissen Empfängern zur Rekonstruktion des L2-Trägers verwendet. Der Empfänger hatte aber gewichtige Nachteile: die Beschränkung auf L1 verunmöglichte die Anwendung auf lange Basislinien (die Ionosphäre verursacht, jedenfalls tagsüber, systematische Fehler von einigen ppm (parts per million)). Zudem war es sehr unangenehm, dass die Empfängeruhren extern synchronisiert werden mussten: unmittelbar vor einer Session wurden alle Empfänger (normalerweise auf einem Parkplatz) versammelt und mit Hilfe von Kabeln auf die Mikrosekunde genau synchronisiert. Zudem musste alle paar Monate eine Synchronisation auf UT (Weltzeit) vorgenommen werden. Diese Nachteile waren gravierend und haben zum Verschwinden dieses Empfängers geführt. Immerhin ist festzuhalten, dass dieses Gerät zu seiner Zeit in kleinen Netzen die genauesten Resultate geliefert hat: auf Basislinien unter

etwa 5 Kilometern hat der Macrometer Positionierungs-Genauigkeiten deutlich unter dem Zentimeter erlaubt. Dies hat wesentlich zum Aufbau des Vertrauens der Fachwelt in GPS für die präzise Vermessung geführt. Der TI-4100 war ein Empfänger ganz anderer Art: Er hat die gesamte Information aus dem Satellitensignal herausgeholt. Insbesondere standen die 'broadcast message', also die Satellitenbahnen und die Satellitenuhr-Korrekturen, die Code-Messungen auf beiden Trägern, sowie (natürlich) die Phasen auf L1 und L2 sofort zur Verfügung. In diesem Sinne kann der TI-4100 als der Vorläufer der heutigen 'precise P-code receiver' verstanden werden. In kleinen Netzen lieferte zwar der TI-4100 deutlich schlechtere Resultate, der Zentimeter war nur schwer erreichbar, auf grossen Distanzen (50 km oder mehr) war der Empfänger aber dem Macrometer V-1000 unzweifelhaft überlegen (Bildern der ionosphärenfreien Linearkombination, Uhrsynchronisation mit Hilfe des Codes). Die heutige Situation auf dem Empfängermarkt kann hier nicht analysiert werden. Es sei lediglich erwähnt, dass heute die Produkte vieler Firmen (erwähnt seien Ashtech, Leica, Osborne, Trimble) sämtliche oben aufgeführten Eigenschaften des TI-4100 haben und trotzdem in kleinen Netzen die Positionierung mit Millimetergenauigkeit erlauben. Es ist abzusehen, dass in Zukunft nicht die Genauigkeit, sondern die mitgelieferten Auswertepakete (Produktivität) Verkaufsargumente sein werden.

6.1.13 Die Bahnen

Bis Mitte 1992 war der sogenannte 'broadcast orbit' (im folgenden Broadcast-Bahn genannt) die fast ausschliesslich verwendete Bahninformation. Hingewiesen sei immerhin auf die gegenüber den Broadcast-Bahnen leicht genaueren sogenannten 'precise ephemerides' des amerikanischen Department of Defence (DoD), welche einigen Nutzern des Systems auf Antrag hin zur Verfügung gestellt wurden. Noch heute ist die Broadcast-Bahn für die Navigation unentbehrlich, auch für viele Positionierungsaufgaben wird sie vollauf genügen. So werden wir in Kap.6.9.3 zeigen, dass die Broadcast-Bahn-Qualität für keine der Turtmann-Kampagnen eine ernsthafte Behinderung darstellte.

Mit dem Aufbau des International GPS Service for Geodynamics (IGS) hat sich die "Bahnsituation" grundlegend geändert und verbessert (s. [Mueller und Beutler, 1992], [Beutler und Brockmann, 1993b], [Beutler et al., 1994a], [Beutler et al., 1994b]). Seit dem 21. Juni 1992 werden nämlich durch den IGS täglich GPS-Bahnen und Erdrotationsparameter von sehr hoher Genauigkeit bestimmt (15 bis 30 cm mittlerer Fehler pro Satellitenkoordinate, 2 cm pro Polkoordinate, 2 bis 3 Mikrosekunden in der Tageslänge). Die IGS-Aktivitäten sind durch 3 Etappen gekennzeichnet: Durch die 1992er Testkampagne (21. Juni bis 23. September 1992), durch den "IGS Pilot Service" (1. November 1992 bis 31. Dezember 1993) und schliesslich durch den offiziell etablierten Dienst ab 1. Januar 1994. Es stehen also seit dem 21. Juni 1992 sehr genaue Bahnen zur Verfügung, ab dem 1. Januar 1994 steht sogar eine offizielle IGS-Bahn bereit [Beutler et al., 1993b]. Diese kombinierte Bahn entsteht durch eine Linearkombination der Lösungen sämtlicher (momentan 7) IGS-Rechenzentren. Eines dieser Zentren befindet sich am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) und wird von diesem in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landestopographie (L+T), dem französischen Institut Géographique National (IGN) und dem deutschen Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) betrieben [Rothacher et al., 1993a]. Das kombinierte Produkt wird nicht zwingend genauer, dafür aber wesentlich zuverlässiger sein als die Einzelprodukte. Verantwortlich für die Produktion dieser kombinierten Bahnen ist die kanadische, für die Vermessung zuständige Organisation, "National Resources, Canada".

Natürlich ist die Bahnqualität für ein kleines Netz wie dasjenige in Turtmann nicht von zentraler Bedeutung. Wichtig ist jedoch die Tatsache, dass mit IGS das terrestrische Referenzsystem - verwendet wird das ITRF [Boucher et al., 1993] - sowohl in Form der Bahnen als auch durch die Koordinaten der globalen IGS-Stationen jederzeit zur Verfügung steht. Da die Schweiz in Zimmerwald eine permanente GPS-Station und eine Laser-Station betreibt, ist mittels GPS jederzeit der Anschluss an das ITRF möglich. Der Anschluss des Turtmann-Netzes wird später in diesem Abschnitt erörtert.

6.1.14 Permanente GPS-Stationen

In den letzten Jahren wurden immer mehr permanent arbeitende GPS-Stationen, beispielsweise für den IGS, aber auch für andere Zwecke, eingerichtet. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang die schweizerische Station Zimmerwald, wo neben Laser- und Richtungsbeobachtungen seit 1992 auch permanent GPS-

Beobachtungen registriert werden. Dabei hat es sich gezeigt, dass sich bei permanentem Betrieb, jedenfalls bei langen Basislinien, sehr viel bessere Resultate erzielen lassen. Es ist abzusehen, dass sich schon aus Kostengründen eine ähnliche Entwicklung (hin zu permanenten Netzen) auch bei kleinen Netzen, welche sowieso periodisch (in Abständen von einigen Tagen oder Wochen) überwacht werden müssen, vollziehen wird. Es ist zu vermuten, dass sich wie in grossen so auch in kleinen Netzen die Genauigkeit durch Permanentstationen noch beträchtlich steigern lässt. Bei der Auswertung der Kampagne *Turt-93* werden wir sehen, dass dies insbesondere für die Höhenbestimmung der Fall sein dürfte.

6.1.2 Die Berner GPS-Software

Im ersten Teil dieser Übersicht schildern wir die Entwicklung der Berner GPS-Programme, wobei wir bewusst den Aspekt "kleine Netze", insbesondere das "Turtmann-Netz", auslassen, um diesen im zweiten Teil gesondert und vertieft zu behandeln.

6.1.2.1 Allgemeines

Am Astronomischen Institut hat man sich schon 1981, zunächst auf theoretischer Basis [*Bauersima, 1982, 1983*], mit GPS zu beschäftigen begonnen. Die angewandte Forschung auf diesem Gebiet wurde durch einen einjährigen Forschungsaufenthalt von G. Beutler an der University of New Brunswick initiiert [*Beutler et al., 1984*]. Nach der Rückkehr in die Schweiz im Jahre 1984 wurden die ersten Entwicklungen von Grund auf überarbeitet; eine neue GPS-Auswertesoftware war das Resultat. Mit dieser "Bernese Second Generation Software" wurden wichtige Erfahrungen gesammelt; erste praktische Erfahrungen in Bahnbestimmung konnten anlässlich der Auswertung der 1984-Alaska-Kampagne gewonnen werden [*Beutler et al., 1987*], es wurde aber auch die erste Turtmann-Kampagne damit ausgewertet [*Rothacher et al., 1986*].

In den Jahren 1985 bis 1988 wurde die "Second Generation Software" durch ein kleines Team (den Kern bildeten G. Beutler, W. Gurtner, M. Rothacher und T. Schildknecht) systematisch ausgebaut und verbessert. Wichtig waren die Erfahrungen bezüglich der Ionosphäre (Auswertung der Island-Kampagne 1986 in Zusammenarbeit mit der Unavco, einem Konsortium vorwiegend amerikanischer Universitäten) sowie die Versuche, die Ionosphäre zu modellieren [*Beutler et al., 1988a*]. Die Ionosphärenmodellierung wurde in der Folge von U. Wild weiterentwickelt [*Wild et al., 1989*], [*Wild, 1994*]. In den Jahren 1985 und 1986 wurden parallel zu den erwähnten Arbeiten auch die PoPS-Programme für die Firma WILD AG (heute Leica Heerbrugg AG) geschrieben.

Nicht zuletzt aufgrund der in Turtmann gewonnenen Erkenntnisse entschied sich das Bundesamt für Landestopographie dafür, in der Schweiz ein neues GPS-Landesnetz (LV95) anzulegen [*Schneider, 1993*]. Die L+T interessierte sich für die Berner Software zur Auswertung ihrer GPS-Messungen - allerdings schienen ihr wesentliche Verbesserungen (vor allem hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit) unabdingbar. Dies war Anlass zu einem erneuten Überdenken der bestehenden Auswertelgorithmen und zu einem Entwurf für ein neues Programmpaket, welches in der Folge "Bernese GPS Software Version 3" genannt wurde (heute sind wir bei der Version 3.5 angelangt [*Rothacher et al., 1993b*]). Dieses Programmpaket wird sehr vielen professionellen Ansprüchen gerecht, es wird von vielen staatlichen Vermessungsämtern, Forschungsinstituten und Universitäten eingesetzt. Momentan gibt es etwa 100 lizenzierte Benutzer.

Wichtig war 1990 der Entscheid, sich mit der "Bernese GPS Software Version 3" am International GPS Service for Geodynamics zu beteiligen. Er löste in den Jahren 1991 bis 1993 eine Flut von Entwicklungen aus. Sehr viel musste investiert werden in die Ausarbeitung automatischer Abläufe, werden doch täglich die Daten eines weltweiten Netzes von etwa 40 Stationen (fast) automatisch verarbeitet, wobei (neben den Elementen von heute 26 Satellitenbahnen) täglich Erdrotationsparameter und die Koordinaten von etwa 40 Stationen geschätzt werden. Um sich in einem solchen anspruchsvollen Dienst halten zu können, ist eine stetige Verbesserung der physikalischen Modelle unabdingbar. Die Dissertation von M. Rothacher dokumentiert die erste Phase dieser Modell-Entwicklungen. Weiter mussten die

sogenannten "IERS Standards" [McCarthy, 1992] in die "Bernese Software" implementiert werden; wesentlich verbesserte Bahnmodelle werden in naher Zukunft eingebaut werden können [Beutler et al., 1994c]. Schliesslich wurden verfeinerte Strategien zum Lösen der Phasen-Mehrdeutigkeits-Parameter ('initial phase ambiguity parameters', im folgenden kurz Ambiguity-Parameter genannt) entwickelt [Mervart et al., 1994]. Die Kombination von Tageslösungen ist ein weiteres Gebiet, in dem grosse Fortschritte erzielt wurden [Brockmann et al., 1993]. Es ist von zentraler Bedeutung, dass diese Verbesserungen immer wieder "in geordneter Form" in die Auswerteprogramme einfliessen und so auch den Benützern ausserhalb des Instituts zugute kommen.

6.1.2.2 Turtmann und die Modelle für die Vermessung kleiner Netze mit GPS

Die unter der Schirmherrschaft der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) organisierten Turtmann-Kampagnen erwiesen sich als sehr fruchtbar für die Entwicklung des Berner Programmsystems. Das Turtmann-Netz ist das einzige uns bekannte Netz dieser Ausdehnung, in welchem sich die terrestrisch bestimmten Koordinaten ('ground truth') bis heute im Vergleich mit den GPS-Lösungen halten können [Geiger et al., 1992]. Ganz bestimmt ist diese Aussage richtig für kleine Netze mit grossen Höhendifferenzen. Die Charakteristiken des Turtmann-Netzes sind in den Tab.6.1-1 und 6.1-2 wiedergegeben. Der Punkt 9.EMSH (Emshorn) ist terrestrisch nicht mit der gleichen Genauigkeit wie die übrigen Punkte vermessen worden, er wird also in den Vergleichen der GPS-Lösungen mit der 'ground truth' nie auftreten.

Station	2.BRAE	3.JEIZ	4.ERGI	5.OEMS	6.AGAR	7.TURT	8.SUST	9.EMSH
1.BRUN	2572	4660	4527	3797	3579	2768	1898	5123
2.BRAE		2347	4074	4810	5860	2423	4469	6476
3.JEIZ			3570	5453	7479	2920	6481	7228
4.ERGI				2578	5573	2006	5603	4288
5.OEMS					3200	2868	3999	1950
6.AGAR						4871	2264	2991
7.TURT							4155	4781
8.SUST								4745

Tabelle 6.1-1: Die Basislinienlängen (in m) im Turtmann-Netz

Es handelt sich also durchwegs um kurze Basislinien, die längste (von Turtmann aus gemessen) ist kürzer als 5 km. Der Tab.6.1-2 entnehmen wir, dass die maximale Höhendifferenz im Netz etwa 1650 m beträgt (immerhin noch 900 m, wenn wir den Punkt 9.EMSH weglassen). Man darf also festhalten, dass im Turtmann-Netz die Höhendifferenz ein wesentlicher Bruchteil der Basislinienlänge betragen kann.

Nummer	Station	Höhe (m)
70	7.TURT	675
80	8.SUST	730
10	1.BRUN	1061
40	4.ERGI	1184
50	5.OEMS	1438
20	2.BRAE	1559
61	6.GPS	1526
31	3.GPS	1579
90	9.EMSH	2322

Tabelle 6.1-2: Die Punkt-Bezeichnungen und ellipsoidischen Höhen (aufsteigend geordnet)

Die heute wohl vollständigste Darstellung der Modellierung von GPS-Phasenbeobachtungen in kleinen Netzen findet man in [Rothacher, 1992, Kap. 5 und 10].

Treten in einem Netz grosse Höhenunterschiede auf, ist die troposphärische Refraktion der wichtigste Aspekt bei der Bestimmung von Stationskoordinaten mit GPS. Man darf in kleinen Netzen davon ausgehen, dass primär die Stationshöhe leidet, die horizontale Lage aber nur schwach betroffen ist [Beutler et al., 1988b], [Santerre, 1989], [Santerre et al., 1990], [Geiger, 1987a]. Auszunchmen wären allenfalls Resultate, welche auf kurzen Messreihen beruhen. Bei mehrheitlich ebenen Netzen sind die Refraktionsunterschiede von Punkt zu Punkt durch den trockenen Anteil der troposphärischen Refraktion (baro- und thermometrische Differenzen) schon durch ein mittleres Modell hinreichend genau erfasst. In der Schweiz, insbesondere in Turtmann, treten allerdings so grosse Höhendifferenzen auf, dass eine Modellierung der troposphärischen Refraktion unumgänglich ist. Zwei Methoden sind zu unterscheiden:

- (a) Methoden, die auf direkten Messungen der die Refraktion bestimmenden meteorologischen Daten (wie räumlich und zeitlich aufgelöste Druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen) beruhen, und
- (b) Methoden, bei denen die Troposphärenparameter zusammen mit den Stationskoordinaten und weiteren Unbekannten direkt mit Hilfe der GPS-Messungen bestimmt werden.

Es ist klar, dass die Methoden der Art (a) die GPS-Lösungen von Systematiken zu befreien versprechen und sie stärken sollten. Die Methoden der Art (b) sind in ihrer radikalsten Form vollkommen unabhängig von Wetterbeobachtungen. Die Frage bleibt, ob sich eine Dekorrelation von anderen Systemunbekannten, insbesondere von den Stationshöhen überhaupt, bewerkstelligen lässt. Die Antwort hängt wesentlich ab von der Geometrie, also z.B. von der Sessionslänge und von der Anzahl der beobachteten Satelliten. Unnötig zu betonen, dass man heute, bei permanenter Beobachtung über längere Zeit (mehrere Tage), in einer unvergleichlich besseren Situation als noch vor ein paar Jahren ist, wo man allenfalls während 1 bis 4 Stunden drei oder mehr Satelliten verfolgen konnte.

Jedem Modell wird ein mittleres Atmosphärenmodell zugrunde gelegt. In der Berner Software kann man verschiedene Modelle wählen, diejenigen von Saastamoinen und Hopfield sind wohl die populärsten. Diese Modelle verlangen nach Stationsmeteo-Werten (Druck, Temperatur, Feuchtigkeit), welche in der Berner Software mit einem einfachen Atmosphärenmodell erzeugt werden [Rothacher, 1992, Formeln 5.16-18]. Sämtliche Modellverbesserungen verstehen sich relativ zu einem solchen A-priori-Modell. Es sei erwähnt, dass in kleinen Netzen (die durchaus vorhandenen) Unterschiede in den A-priori-Modellen nicht von Bedeutung sind.

Um die modellmässige Erfassung der troposphärischen Refraktion zu verbessern, wurde an der ETHZ ein dreidimensionales Interpolationsverfahren entwickelt, das die Berechnung von Refraktivitätsprofilen erlaubt. Damit können direkt Distanzkorrekturen auf beliebigen Visuren automatisch bestimmt werden [Eckert et al., 1992]. Da der Feuchtanteil besonders kritisch zu modellieren ist, wurde in Zusammenarbeit der ETHZ und der Fa. CAPTEC, Bern, ein transportables Radiometer zur direkten Bestimmung des totalen atmosphärischen Wasserdampfgehaltes und damit der Weglängenkorrektur (Feuchtanteil) entwickelt [Bürki et al., 1994]. Diese Methoden wurden 1994 in Turtmann eingesetzt - zu spät, um in diesem Bericht dokumentiert zu werden. Wie weit Verbesserungen in einem "kleineren" Netz erzielt werden können, ist noch unklar. Der Gewinn wird vor allem bei kurzen Beobachtungszeiten anheimgelassen.

Die Modelle der Art (a) und (b) sind empirischer Natur. Der einfachste Ansatz besteht darin, für jede Station entweder eine Verbesserung dN für die Refraktivität N oder eine Verbesserung ddr für die troposphärische Zenitkorrektur dr (der Unterschied ist nicht von Bedeutung) einzuführen. Dabei wird man die gesamte Beobachtungszeit in $n \geq 1$ Intervalle (gleicher Länge) unterteilen, und für jedes Intervall und jede Station eine neue Unbekannte dN (oder ddr) aufsetzen. Die Modellparameter können entweder mit Hilfe der Meteo-Messungen (Methode (a)) oder direkt aus den GPS-Beobachtungen (Methode (b)) bestimmt werden. Letztere Methode wird, mangels Meteo-Daten, vom CODE-Rechenzentrum des IGS verwendet. Das Verfahren kann variiert werden: es ist z.B. möglich, Zwänge zwischen den Schätzwerten aufeinanderfolgender Zeitintervalle aufzusetzen (die Zahl der Intervalle von gleicher

Länge kann gewählt werden). Im Grenzfall (sehr viele Teilintervalle, starke Zwänge zwischen aufeinanderfolgenden Parametern) geht diese Methode über in die sogenannte "stochastische" Troposphärenmodellierung [Rothacher, 1992, Kap.5.2.2]. Diese Art der Troposphärenschätzung kommt in der vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) entwickelten "Gipsy Software" zur Anwendung. Lässt man Verallgemeinerungen dieser Art zu, darf man festhalten, dass heute sämtliche IGS-Rechenzentren die Troposphäre in der hier skizzierten Art modellieren. Bei kleinen Netzen wird man sich auf eine relative Troposphärenmodellierung beschränken können, das heisst, man bestimmt stationsspezifische Verbesserungen dN oder ddr für alle Stationen bis auf eine Referenzstation.

In kleinen Netzen (wie dem Turtmann-Netz) ist es zudem verlockend, die Zahl der Freiheitsgrade zu verringern durch die Annahme, dass dN resp. dr keine horizontale Gradienten aufweisen. Man wird also etwa ansetzen

$$ddr(h) = \sum_{i=0}^n ddr_i (h-h_0)^i \quad (6.1-1)$$

Die ddr_i , $i = 0,1,\dots,n$ sind die unbekanntenen Koeffizienten, h_0 ist eine im Prinzip frei wählbare Referenzhöhe (in der Berner Software wird automatisch die mittlere Höhe des Netzes gewählt). In kleinen Netzen wird man sich wiederum auf eine relative Schätzung beschränken, was bedeutet, dass man einfach den ersten Term ddr_0 weglässt:

$$ddr(h) = \sum_{i=1}^n ddr_i (h-h_0)^i \quad (6.1-2)$$

Ist der Grad der Entwicklung deutlich kleiner als die Zahl der Stationen, dürfte auch die Modellverbesserung gegenüber dem rein stationsspezifischen Ansatz deutlich sein. Natürlich bleibt die Frage, ob die wesentliche Annahme (keine horizontalen Gradienten) in einem Netz vom Typ Turtmann erfüllt ist. Mehr davon findet sich in Kap. 6.9.2.

Die Ionosphäre ist ein anderer wichtiger Aspekt bei der Verarbeitung kleiner Netze. Zwar ist es bei der Vermessung mit Zweifrequenzen-Geräten theoretisch möglich, durch Verarbeitung der sogenannten ionosphärenfreien Linearkombination diesen Effekt weitestgehend auszuschalten. Man muss aber dann mit einem etwa 3mal grösseren Messrauschen vorlieb nehmen (verglichen mit der Verarbeitung der L1-Beobachtungen, siehe [Beutler et al., 1990]). Auch ist in diesem Fall die Antennenkalibrierung eine anspruchsvollere Aufgabe, schlägt sich doch jeder nicht erfasste Offset der L2- gegenüber der L1-Antenne (wieder mit einem Verstärkungsfaktor von etwa 3) in den Resultaten nieder. Andererseits weiss man seit langem, dass die Ionosphäre auch in kleinen Netzen zu systematischen Koordinatenfehlern führt. Zu erwähnen ist insbesondere der Skalenfaktor: mit GPS vermessene Basislinien werden verkürzt, falls die ionosphärische Refraktion nicht entweder eliminiert (ionosphärenfreie Linearkombination) oder modelliert wird.

Der Ionosphärenmodellierung wurde in der Berner Software schon seit längerer Zeit grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Der aktuelle Wissensstand ist in [Wild, 1994] zusammengefasst. Man darf daraus den Schluss ziehen, dass man aus den Phasenbeobachtungen einer Station ein Einschichtmodell ('single-layer model') herleiten kann, welches die systematischen Fehler bei der Verarbeitung kurzer Basislinien in der Umgebung dieses Empfängers zum grösseren Teil zu eliminieren im Stande ist. Die Observablen zur Bestimmung der Ionosphärenparameter sind die Differenzen zwischen den L1- und den L2-Beobachtungen (beide in Meter ausgedrückt). Dabei werden nicht differentielle Beobachtungen sondern sogenannte 'zero difference observations' eines Empfängers verwendet. Beim Einschichtmodell nimmt man an, dass alle freien Elektronen in einer kugelförmigen Schicht in der Höhe H (wählbarer Modellparameter) über der Erdoberfläche konzentriert sind. Die Dichte E der Elektronen in dieser Schicht wird als Taylorreihe in den zwei Variablen geographische Breite b und Stundenwinkel s der Sonne angesetzt. Die Koeffizienten dieser Entwicklung sind die gesuchten Modellparameter:

$$E(b,s) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m E_{ij} (b-b_0)^i (s-s_0)^j \quad (6.1-3)$$

Es ist im Prinzip möglich, die Daten mehrerer Empfänger zu verwenden. Zudem kann man - genau wie bei der Troposphärenmodellierung - die Zeit in Intervalle (gleicher Länge) unterteilen, um dann in den Teilintervallen unabhängige Modelle zu bestimmen.

6.1.3 Firmensoftware

Die ersten Kampagnen in Turtmann wurden auch mit firmeneigenen Programmen ausgewertet. Das heisst, die Vermessungsfirmen benutzten ihre eigenen Auswerteprogramme. In diesem Abschnitt sollen die dann zumal verwendeten Software-Produkte in Kürze revuepassiert werden. Es ist klar, dass sämtliche Produkte ganz wesentliche Entwicklungen erfahren haben und laufend den neuen Erkenntnissen und Anforderungen angepasst wurden. Vor allem haben die Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertechnologie (Geschwindigkeit, Betriebssysteme, Benützeroberflächen) immer grösseren Bedienungskomfort ermöglicht. B. Hogarth (GPS Survey Systems) hatte allerdings schon 1986 alle Beteiligten verblüfft, als er auf der Rückfahrt von der Station Turtmann ins Hotel (Fahrzeit 10 Min.) mit einem der ersten Laptops (Kaypro) eine Basislinie ausgewertet hatte.

Die Macrometermessungen wurden von der Firma GEOSAT 1985 durchgeführt (*Kamp. Turt-85.1, Kap. 5.2.2*). Die firmeneigenen Auswertungen erfolgten mit einer Software von Aero Services Division, einer Tochtergesellschaft von Western Geophysical Company of America (Macrometrics war damals schon von Aero Services übernommen). Die von 1984 stammende Software basierte auf 'double difference' Auswertungen. Es konnten gerätebedingt nur 120 Epochen verarbeitet werden. Bei einem Messintervall von 1 Minute ergab dies für eine Beobachtungszeit von 4 Stunden 2 Sessionen à 2 Stunden. Dies wiederum erlaubte eine erste Kontrolle anhand der Wiederholbarkeit. Die Differenzen zwischen beiden Sessionen lagen bei allen Basislinien unter 2 cm. Dabei wurden Genauigkeiten von 3 bis 7 mm (1 Sigma) ausgewiesen. Als mittlere Fehler a priori wurden 4 bis 5 mm angenommen. Wie schon in Kap.6.1.1.2 erwähnt, mussten die Ephemeriden separat aufgearbeitet werden. Für die ganze Beobachtungsperiode wurde eine Ephemeriden-Tabelle mit Intervallen von 22.5 min erstellt. Aus ihr konnten die nötigen Informationen interpoliert werden. Die Meteorologie wurde konstant mit Standardmodell (1013.25 mb, 20°C, 50%) berücksichtigt. Als Handeingaben mussten noch die Kalibrationswerte der Empfangskanäle (s. Kap.6.1.1.2) berücksichtigt werden.

Neben den Macrometern kamen 1985 auch Geräte vom Typ Texas Instruments (TI) zum Einsatz (*Kamp. Turt-85.2, Kap.5.2.3*). Die Firma Nortech wertete die Messungen ebenfalls mit der firmeneigenen Software aus. Die Auswertung von TI-Daten war allein von der Menge her etwas aufwendiger. Die Daten, im 3-Sekunden-Rhythmus aufgezeichnet, füllten 5 grosse Magnetbänder. Das von Nortech verwendete Programm PHASER ('phase reduction') war von C.C. Goad [*Goad, 1985*], damals noch am NGS, entwickelt worden. Das Programm basiert auf nicht differenzierten Beobachtungsgleichungen. Dafür werden mehr Schätzparameter eingeführt. Diese Methode erlaubt ein einfaches Handling von Messungen mehrerer Stationen. Dazu fallen die "sauberen" Kovarianzmatrizen und die Uhrschätzungen (pro Station und Satellit) an. Da die TIs Zweifrequenzen-Geräte waren, konnten ionosphärenkorrigierte Messungen konstruiert und ausgewertet werden. Die automatische Detektion von 'cycle slips' basiert auf einer 'triple difference' Lösung mit der Analyse der 'double difference' Residuen. Die Meteoeinflüsse wurden hier standardmässig mit gemessenen Bodenwerten berücksichtigt.

Die Firma GPS Survey Services führte 1986 Messungen mit Trimble 4000S Geräten durch (*Kamp. Turt-86, Kap.5.3.2*), welche sie auch mit der entsprechenden Trimble-Software auswertete. Dazu fand die damalige Version (Vers. 86.104) von TRIMVEC Verwendung. Die Näherungsberechnung basiert bei TRIMVEC auf 'triple difference' Lösungen, während die definitiven Koordinaten mit 'double differences' berechnet werden. Interessant ist hier der Ansatz zur Lösung der Phasenmehrdeutigkeiten, der in verschiedenen späteren Programmentwicklungen z.T. in abgewandelter Form wieder auftaucht. Mögliche Kombinationen ganzzahliger Mehrdeutigkeiten werden durchgerechnet und jene mit kleinsten Messresiduen als Lösung akzeptiert. Dabei soll die zweitbeste Lösung ein um einen festgelegten Faktor schlechteres Sigma aufweisen. Die Lösung galt als annehmbar, falls dieser Faktor 3 (im Quadrat 9) überstieg. Die Lösungen von 17 Basislinien in Turtmann zeigten nur in 4 Fällen einen Faktor (im Quadrat) von weniger als 9, wobei der grösste 304 betrug. Die ausgewiesenen mittleren Residuen lagen unter 0.03

'cycles'. Im Schnitt waren etwa 170 Beobachtungen pro Basislinie zu verarbeiten. Im Vergleich zu heutigen Datenmengen scheint dies wenig zu sein, dafür war es bereits dort möglich, mit den damaligen ersten Laptops Ergebnisse im Feld zu produzieren. Die heutigen Versionen von TRIMVEC sind von der Bedienung her nicht mehr mit der Version 86 zu vergleichen. Bei späteren Trimble-Kampagnen kam TRIMVEC kaum mehr zum Einsatz, da fast ausschliesslich mit der "Berner Software" ausgewertet wurde.

Die Kampagne *Turt-88.3* der Firma KERN mit Sercel Empfängern (*Kap.5.5.4*) wurde mit dem Sercel Programm GPSMIS [*Riemensberger, 1988*] ausgewertet. Das Programm besteht, ähnlich wie andere Systeme, aus verschiedenen Modulen. So kann der Kampagnenplan durch den PREDICTOR erstellt werden. Ebenso sind Datenerfassung (FIELD), Einzelpunktbestimmung (SINGLEPOINT) und Auswertung (PROCESS) abgetrennt. Dem zitierten Bericht zufolge konnte eine Basislinie mit etwa 1000 'double differences' auf einem IBM AT in etwa 5 Minuten abgearbeitet werden. Näherungslösungen für die Basislinien wurden aus 'pseudo range' Beobachtungen berechnet. Sie zeigten offenbar lediglich Abweichungen von weniger als 20cm von den definitiven Phasenlösungen. Die auf 'double differences' beruhenden Phasenauswertungen ergaben formale mittlere Fehler von etwa 1mm. Die Punktgenauigkeiten (1 Sigma) für kurze Teststrecken ergaben etwa 5mm. Bei der Fehlerabschätzung durch Dreieckschlüsse wurden etwa 7mm in der Lage und 17mm in der Höhe erreicht.

Im Jahr 1986 wurden erstmals Wild-Magnavox-Geräte (WM-101) in Turtmann eingesetzt (*Kamp. Turt-86, Kap.5.3.2*). Der WM-101 war damals noch als Einfrequenz-Empfänger konzipiert. Die Gerätebezeichnung WM101 wurde mit der Implementation der L2-Frequenz in WM-102 abgeändert. Daten beider Gerätetypen wurden mit der Software der Firma WILD + Leitz AG (heute Leica AG) ausgewertet. Die im sog. PoPS (Post Processing Software) verwendeten GPS-Algorithmen sind am AIUB entwickelt worden. Das Programm ist vergleichbar zu anderen Produkten in verschiedene Prozesseinheiten gegliedert: 'field preparation, data transfer, preprocessing, computation, transformations and results, data editor'. Die Daten, die auf Magnetbandkassetten registriert wurden, mussten entweder mit Hilfe von speziellen Lesegeräten (MEMTEC) oder mit einem Empfänger auf PC überspielt werden. Das Auswerteprinzip lehnt sich an das Konzept der ersten Versionen der "Berner Software" an. Im Unterschied zu vielen anderen kommerziellen Programmen werden in PoPS nicht nur einzelne Basislinien, sondern gesamte Netze gelöst und berechnet. Als Beobachtungen gehen Doppeldifferenzen in die Berechnung ein. Nach der Bahninterpolation mit Polynomen 6. Grades erfolgt die Bestimmung der Einzelpunktkoordinaten mittels Code-Messungen. Einen wesentlichen Auswerteaufwand beansprucht die Detektion von Phasensprüngen. Die damaligen Messungen waren meist nicht unbesehen für genaue Auswertungen verwendbar. Im Rahmen einer Diplomarbeit [*Cocard, 1987*] wurden WM-Daten aus der Kampagne ausgewertet und mit anderen Lösungen verglichen. Bei einem rms der Doppeldifferenzen von 5 bis 8mm ergaben sich Repetierbarkeiten von 3 bis 6mm in den einzelnen Komponenten. Vergleiche mit unabhängigen PoPS-Auswertungen der gleichen Daten ergaben immerhin Klaffungen von 2mm im Mittel. Ein Vergleich mit der dannzumaligen terrestrischen Lösung L+T 87-1 [*Schneider, 1987*] zeigte mittlere Abweichungen der Koordinaten von 5mm. Auf Grund weiterer Vergleiche kann man schliessen, dass die dort erarbeitete operationelle GPS-Lösung mittlere Fehler von etwa 7mm in Nord-Süd, 2mm in Ost-West und 15mm in der Höhe aufwies.

Die 1991 auf dem Markt erschienene SKI (Static and Kinematic Software) war nicht nur ein Folgeprodukt von PoPS zur Auswertung der Daten des neuen WILD SR299, sondern war ein neu konzipiertes Softwarepaket (an ihm hat das AIUB wiederum wesentliche Beiträge geleistet) das nun unter Windows operierte. Die Strategie der Doppeldifferenzen wurde hier zu Gunsten einer einfacheren Buchführung durch Einfachdifferenzen ersetzt. Einbau des 'Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA)' [*Frei, 1991*] ermöglichte eine wesentliche Verkürzung der Beobachtungszeit, was einem dringenden Bedürfnis der Praxis entsprach. Zusätzlich zu den GPS-technischen Neuerungen wurden die vermessungstechnischen Aspekte innerhalb des SKI stark berücksichtigt, so können Koordinatentransformationen in (fast) beliebig viele Referenzsysteme durchgeführt werden. Dazu gehört die Berechnung von Schweizer Landeskoordinaten. Eine wesentliche Neuerung betrifft auch das Einpassen der GPS-Lösung in bestehende Koordinatensätze oder die Koordinatenumrechnung ohne Kenntnisse der Transformations- (Projektions-) Vorschriften. Diese Algorithmik wurde am IGP entwickelt. Die Daten der Kampagne 91 wurden Leica-intern ausgewertet. Die folgenden Kampagnen wurden kaum mehr mit firmenspezifischen Programmen ausgewertet. Es kam praktisch nur noch die "Berner GPS-Software" zum Tragen.

6.1.4 Das Bezugssystem

Präzise Positionierung mit dem GPS in kleinen Netzen ist immer eine relative, d.h. es werden die Koordinaten (mindestens) eines Punktes des Netzes, er sei im folgenden "Fixpunkt" genannt, auf "bekannten geozentrischen Koordinaten" festgehalten. Zudem wird explizit oder implizit die Differenz quasi-gleichzeitiger Messungen (wie sie von zwei Empfängern im Netz registriert wurden) in die Ausgleichung eingeführt. Diese Auswertung wird treffend auch die "interferometrische" genannt.

In den Pionierzeiten der genauen Positionierung mit GPS wurden häufig die Koordinaten des Fixpunktes mit Hilfe eines 'single point positioning', also der Positionierung mit Hilfe der Code-Messungen nur eines Empfängers, bestimmt. Die Koordinaten waren dann, je nach verfügbarem Code und Sessionslänge, geozentrisch etwa auf 5 bis 10 m genau im WGS-84-System, dem terrestrischen Referenzsystem der Broadcast-Bahnen, bekannt. Diese immer noch populäre Arbeitsweise ist für eine genaue Positionierung heute aus den folgenden Gründen abzulehnen:

- (1) Da 'SA (selective availability)' heute permanent eingeschaltet ist, sind etwa 1 m genaue Koordinaten durch eine absolute Positionierung kaum mehr zu erreichen (allenfalls durch sehr lange Besetzungszeiten in der Grössenordnung von Tagen).
- (2) Theoretische Arbeiten haben gezeigt [Beutler et al., 1988b], [Santerre, 1989], dass die Koordinaten des Fixpunktes auf etwa 1 m genau sein müssen, da sonst deutliche Verzerrungen im Netz auftreten können.
- (3) Das WGS-84, die Referenz für die Broadcast-Bahnen, genügt den heutigen Ansprüchen nicht mehr. Zu verwenden ist das vom International Earth Rotation Service (IERS) unterhaltene System ITRF. Im Moment ist das ITRF-92 sowie das zugehörige Geschwindigkeitsfeld [Boucher et al., 1993] als Referenz zu empfehlen. Nur wenn dieses System (resp. seine Nachfolger) einem regionalen oder lokalen Netz via Fixpunktkoordinaten zu Grunde gelegt werden, sind die in verschiedenen Jahren gewonnenen Koordinaten eindeutig interpretierbar. Diesen Aspekt werden wir bei der Auswertung zu beachten haben.

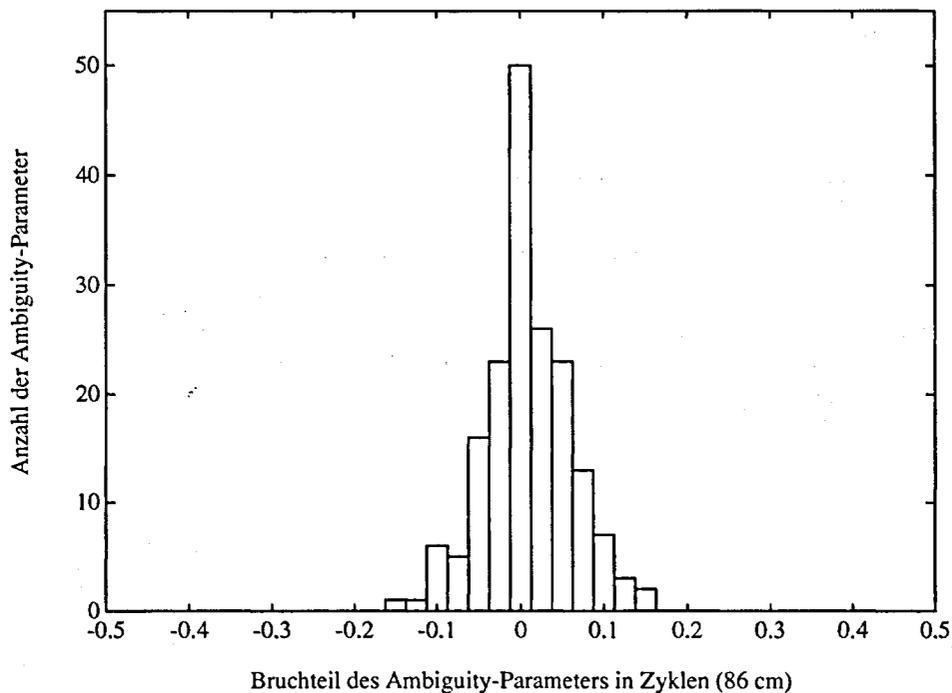
Damit ist das folgende Vorgehen zum Festlegen der Koordinaten des Fixpunktes im Turtmann-Netz (wie auch in allen lokalen oder regionalen Netzen) angezeigt:

- (1) Die Koordinaten des Netz-Fixpunktes müssen mit GPS relativ zu einem oder mehreren ITRF-Punkten bestimmt werden.
- (2) Für diese relative Positionierung müssen die genauen Bahnen im ITRF verwendet werden. Solche Bahnen stehen heute durch den Internationalen GPS Geodynamik Dienst (IGS) zur Verfügung.
- (3) Der ITRF-Bezugspunkt muss auf den ITRF-Koordinaten festgehalten werden.

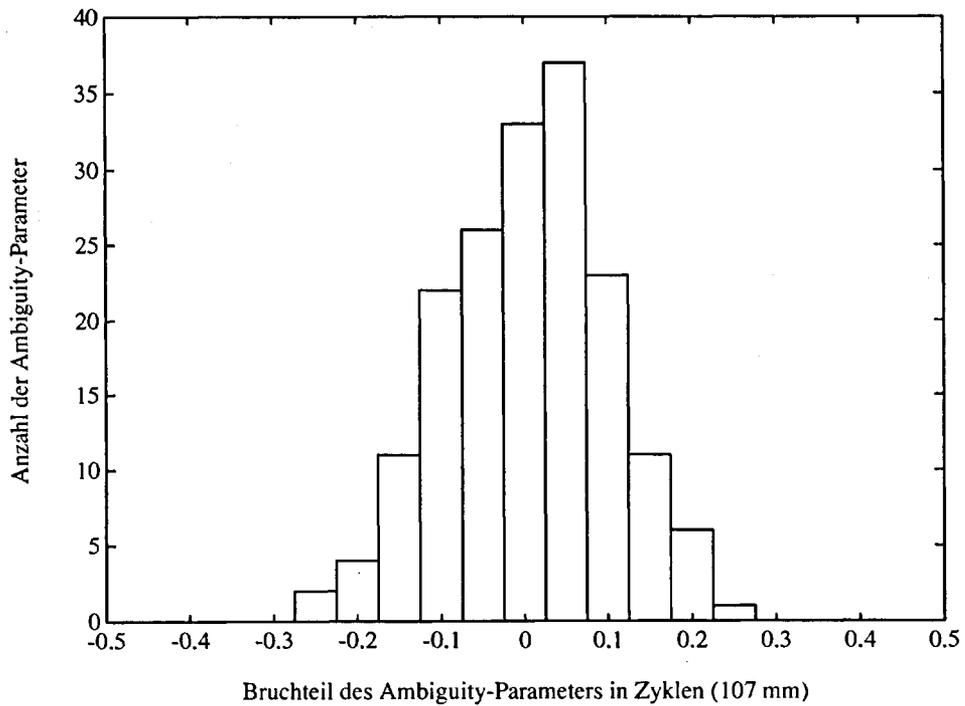
Der Fixpunkt des Turtmann-Netzes wurde wie folgt festgelegt: Die Koordinaten des Netz-Fixpunktes 7.TURT (Nr.70) wurden relativ zur Permanentstation Zimmerwald (der GPS-Antennen-Referenzpunkt ZIMM 14001M004 (L+T 88), ein Exzenter des Zimmerwalder Laserpunktes ZIMM 14001S001) eingemessen. Verwendet wurden zu diesem Zweck die Messungen der GPS-Empfänger in 7.TURT und in Zimmerwald vom 27. September 1993, 12 Uhr UT bis zum 1. Oktober 1993, 12 Uhr UT, sowie die Bahnen des CODE-Rechenzentrums [Rothacher et al., 1993a]. Dabei wurden die (bei den globalen IGS-Datenzentren)gespeicherten Files COD07161.EPH, COD07162.EPH, COD07163.EPH, COD07164.EPH und COD07165.EPH verwendet. Als Pol wurde der von IERS publizierte Bulletin-B-Pol verwendet.

Bei der Auswertung der Basislinie Zimmerwald-Turtmann wurde Zimmerwald auf den ITRF-92-Koordinaten zur Epoche 1995.0 (1. Januar 1995, 0 Uhr UT) festgehalten. Die verwendeten Zimmerwalder Koordinaten (zur erwähnten Epoche) wurden mit Hilfe der in [Boucher et al., 1993] publizierten Koordinaten und Geschwindigkeiten errechnet. Sie sind in Tab.6.1-3 gegeben.

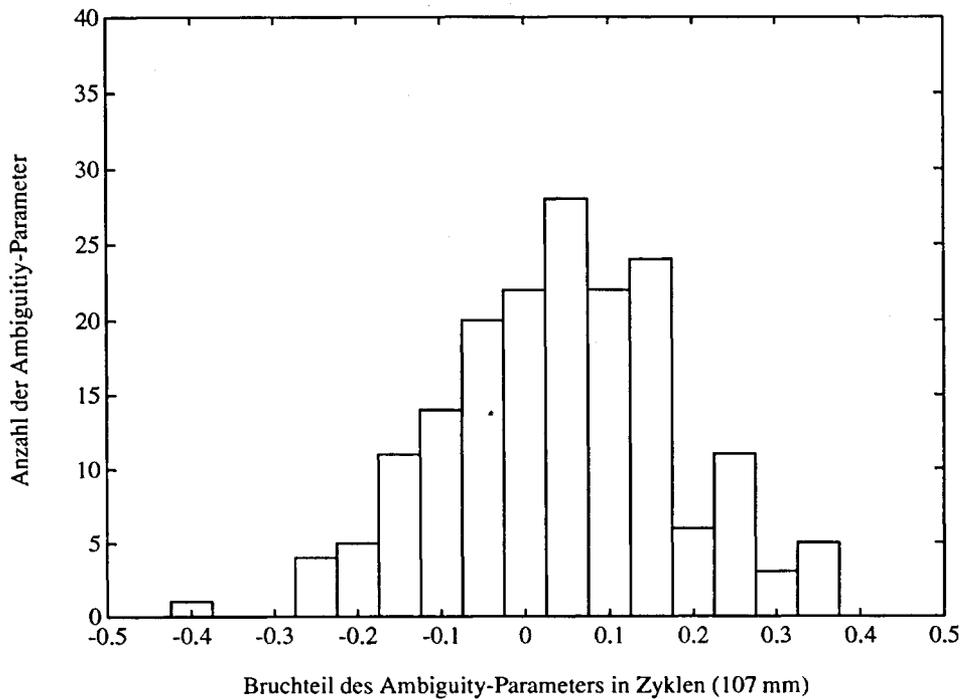
Die Basislinie Zimmerwald-Turtmann hat eine Länge von etwa 65 km. Auf dieser Basislinie war das Lösen der Ambiguity-Parameter unter Verwendung der IGS-Bahninformation kein Problem: Mit der in der Dokumentation zur Berner Software [Rothacher et al., 1993b] empfohlenen Strategie (in einem ersten Schritt die Wide-lane-Ambiguities (die Differenz zwischen der L1- und der L2-Ambiguity), in einem zweiten Schritt mit Hilfe der ionosphärenfreien Linearkombination die L1- (somit auch die L2-) Ambiguities zu lösen) konnten alle Phasen-Mehrdeutigkeiten eliminiert werden. Die Fig.6.1-1 zeigt die Abweichungen der reellwertigen Schätzungen dieser Parameter von ganzen Zahlen im Falle der 'wide-lane', Fig.6.1-2 gibt die entsprechende Information beim Lösen der L1-Ambiguities mit Hilfe der ionosphärenfreien Linearkombination, wobei die genauen Bahnen des CODE-Rechenzentrums verwendet wurden. Den beiden Figuren ist zu entnehmen, dass die Ambiguity-Lösung nicht besonders schwierig war. Figur 6.1-3 zeigt schliesslich, dass dieselbe Aufgabe unter Verwendung von Broadcast-Bahnen schon schwieriger zu lösen gewesen wäre.



Figur 6.1-1: Bruchteile der Ambiguity-Parameter ('wide-lane') auf der Basislinie Zimmerwald-Turtmann (66 km)



Figur 6.1-2: Bruchteile der Ambiguity-Parameter (L1, mit der ionosphärenfreien Linearkombination) auf der Basislinie Zimmerwald-Turtmann (66 km), Verwendung der CODE-Bahnen



Figur 6.1-3: Bruchteile der Ambiguity-Parameter (L1, mit der ionosphärenfreien Linearkombination) auf der Basislinie Zimmerwald-Turtmann (66 km), Verwendung der Broadcast-Bahnen

Es konnte also für die 1993er Kampagne eine Gesamtlösung für die Basislinie Zimmerwald-Turtmann gemacht werden, wobei sämtliche (2 x 198) Ambiguity-Parameter fixiert (d.h. auf den wahren ganzzahligen Werten festgehalten) werden konnten. Die Bahnen wurden nicht weiter verbessert, hingegen wurde alle 6 Stunden für Turtmann ein Troposphärenparameter ('tropospheric zenith delay parameter') geschätzt. Es wurden somit 3 Koordinaten für die Station Turtmann sowie 16 Troposphärenparameter bestimmt. Insgesamt wurden 12'100 doppelte Differenzen ausgewertet (es wurde nur alle zwei Minuten ein Datenpunkt verwendet, alle 30 Sekunden wäre einer zur Verfügung gestanden). Die Minimalelevation betrug 15 Grad. Das Resultat, zusammen mit den erwähnten Zimmerwalder Koordinaten, ist in Tab.6.1-3 gegeben.

Num	Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025	
100	ZIMM 14001S001	4331283.5472	567549.6979	4633140.0547	1)
101	ZIMM 14001M004	4331297.2272	567555.7099	4633133.8127	2)

1) Laserpunkt

2) GPS-Punkt (L+T 88)

Tabelle 6.1-3: Koordinaten im System ITRF 92 zur Epoche 1995.0 von Turtmann und Zimmerwald

Tabelle 6.1-4 gibt die Koordinaten des Punktes ZIMM 14001M004 zur Epoche 1988.0 im System ITRF-92 sowie die zugehörigen Geschwindigkeiten (gemäss [Boucher et al., 1993]).

Num	Station	X (m) Vx (m/a)	Y (m) Vy (m/a)	Z (m) Vz (m/a)
101	ZIMM 14001M004	4331297.342 -0.0164	567555.572 +0.0197	4633133.742 +0.0101

Tabelle 6.1-4: Koordinaten und Geschwindigkeiten des Punktes ZIMM 14001M004 zur Epoche 1988.0 im System ITRF-92

6.1.5 Vergleichskordinaten Turt-Terr-86 (ground truth)

Im Teil I dieses Berichts über das 3D-Testnetz Turtmann (*Band 45 dieser Reihe*) wurde die terrestrische Präzisionsvermessung und 3D-Ausgleichung des Netzes im Detail beschrieben. Die Ausgleichung der terrestrischen Beobachtungen von 1985-86 erfolgte mit dem 3D-Ausgleichungsprogramm RAUMTRI (Version 89) im lokalen, schweizerischen Bezugssystem CH-1903. Die Lagerung des Netzes mit dem Festpunkt 7.TURT wird in Tab.2.8-1 (*Teil I*) beschrieben. Die Resultate der terrestrischen 3D-Ausgleichung des Hauptnetzes sind in Tab.2.8-4 (*Teil I*) dargestellt.

Für die GPS-Testmessungen wurde das Netz durch 7 exzentrische Stationspunkte erweitert. In Tab.2.8-5 (*Teil I*) sind die Resultate der Ausgleichung mit den exzentrischen GPS-Stationspunkten dokumentiert. Der damit entstandene geozentrisch-kartesische Koordinatensatz (*Turt-Terr-86*) aller GPS-Stationspunkte soll als sogenannte 'ground truth' für alle Vergleiche mit GPS-Resultaten dienen (*s. Tab.2.8-6, Teil I*).

Der Vergleichskoodinatensatz (*Turt-Terr-86*) im lokalen schweizer Datum CH-1903 wurde genähert ins Referenzsystem WGS-84 transformiert. Dabei wurden die folgenden 3 Shift-Parameter verwendet:

$$DX = -674.0000 \text{ m}; \quad DY = -15.0000 \text{ m}; \quad DZ = -405.0000 \text{ m}$$

Auf diese Weise wurde der Massstab und die räumliche Orientierung des Netzes nicht verändert.

Bei Kontrollmessungen der L+T im Oktober 1992 wurden die Beziehungen zwischen verschiedenen exzentrischen Versicherungen durch Präzisionsmessungen überprüft (s. *Dossier Archiv L+T*). Dabei wurde eine Senkung des Höhenreferenzpunktes der Station 7.TURT (Niete) gegenüber den Messungen von 1985 festgestellt. Diese Höhenänderung beträgt: $dh = -1.6 \text{ mm}$ und wurde durch ein Präzisionsnivellement von der nahe gelegenen Fels-Punktgruppe (Getwing) zuverlässig bestimmt. Diese Änderung der geozentrischen Koordinaten von Station 7.TURT ($DX = -1.1 \text{ mm}$; $DY = -0.2 \text{ mm}$; $DZ = -1.2 \text{ mm}$) wurde beim transformierten Datensatz berücksichtigt. Die übrigen kleinen Lage- und Höhenänderungen von exzentrischen Stationspunkten und Höhenreferenzpunkten im Millimeterbereich wurden vernachlässigt. Dieser geozentrische WGS-84 Koordinatensatz wurde unter der Bezeichnung *LTPNEW93* für alle Vergleiche mit GPS-Lösungen verwendet (s. *Tab.6.1-5*).

LOCAL GEODETTIC DATUM: WGS - 84				
Station	X [m]	Y [m]	Z [m]	
7.TURT	4374374.0710	591480.9896	4589368.1834	
1.BRUN	4374498.5773	588821.6296	4590124.3125	
2.BRAE	4373504.4441	590748.7605	4591507.8389	
3.GPS	4373207.7958	593076.8873	4591517.9106	
4.ERGI	4375514.7632	593027.6986	4588794.3826	
5.OEMS	4376895.2204	590962.8660	4588102.4794	
6.GPS	4377340.2245	587795.6085	4588205.8239	
8.SUST	4375288.2299	587437.2788	4589094.0002	

EXZENTRISCHE GPS-STATIONEN:				
Exz.Station	Ref.Station	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
2.2	2.BRAE	3.6563	-16.0007	-1.4150
3.JEIZ	3.GPS	36.9293	-53.9529	-66.6759
3.GPS.E	3.GPS	-3.1416	4.9503	2.3371
6.GPS	6.AGAR	-10.3284	-35.4474	17.4285
7.1	7.TURT	2.9827	10.3547	-4.1490
7.2	7.TURT	7.1805	-9.6203	-5.5602
8.1	8.SUST	9.3822	-13.4196	-7.1783

Tabelle 6.1-5: Geozentrischer Koordinatensatz *LTPNEW93*

6.1.6 Die alten GPS-Auswertungen im Überblick

In diesem Kapitel sollen die Publikationen, die sich aus den GPS-Auswertungen der verschiedenen Turtmann-Kampagnen ergeben haben, kurz zusammengefasst werden.

Die Reihe wird eröffnet durch "The Swiss 1985 GPS Campaign" [Rothacher et al., 1986]. Die Arbeit wurde 1986 in Austin, Texas am vierten "International Geodetic Symposium on Satellite Positioning" präsentiert. Mit dieser Publikation wurde das Interesse der Fachwelt für das terrestrische Hochpräzisionsnetz in den Schweizer Alpen geweckt. Zudem wurde klar, dass auch bei Verwendung von GPS als Messtechnik Netze mit grossen Höhenunterschieden bedeutend schwieriger zu behandeln sind als "ebene" Netze. Dieser Aspekt taucht in Variationen in allen folgenden Publikationen wieder auf. Weiter wurde der Analyse verschiedener Empfängertypen (Macrometer V-1000, Sercel TR5S sowie TI-4100) grosse Beachtung geschenkt.

In "The Use of the Global Positioning System in Mountainous Areas" [Gurtner et al., 1989] wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der 1985er und der 1986er Kampagnen zusammengefasst. Zunächst konnte gezeigt werden, dass die GPS-Lösungen in der horizontalen Lage sehr gut (mittlerer Fehler von etwa 2 bis 3 mm pro Koordinate) mit der jetzt zur Verfügung stehenden 'ground truth' übereinstimmte. In der Höhe waren dagegen, je nach verwendetem Ansatz, mittlere Fehler zwischen 4 und 14 mm zu verzeichnen.

1987 fanden zwei Kampagnen statt, *Turt-87.1* mit WM-101- und *Turt-87.2* mit Trimble-4000SX-Geräten, welche vom Bundesamt für Landestopographie als Operateur-Kurse ausgelegt waren. Beide Kampagnen wurden zwar ausgewertet, die Resultate aber nie publiziert, obwohl diese, jedenfalls in der zweiten Kampagne, hervorragend waren. Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus zeigten sich hingegen nur wenige neue Aspekte.

1988 fanden zwei Kampagnen mit den Trimble-Empfängern des Bundesamtes für Landestopographie statt, wobei die zweite als Abnahmetest der ersten Trimble-4000SLD-Zweifrequenzen-Empfänger diente. Zudem hat die Firma Kern Tests mit Sercel-Geräten durchgeführt; auch die Resultate dieser Kampagne wurden nie publiziert.

Die Kampagne *Turt-89* wies interessante, damals neue Aspekte auf. Zum einen fanden die Messungen tagsüber (sogar über Mittag) statt, zum anderen war die Ionosphäre an sich sehr viel stärker spürbar als in früheren Jahren (Maximum der Sonnenfleckenzahl im 11jährigen Zyklus). Zusätzlich waren mit dem WM-102-Zweifrequenzen-Instrumente im Einsatz, welche die Schätzung eines Ionosphärenmodells erlaubten. Zwei Publikationen resultierten aus der Kampagne *Turt-89*: "Exemplary Processing of a 1989 GPS Campaign in the Swiss Alps" wurde von G. Beutler in Curitiba, Brasilien vorgetragen [Beutler, 1989], "The Role of the Atmosphere in Small GPS Networks" wurde von M. Rothacher am zweiten "International Symposium on Precise Positioning with the GPS" in Ottawa im Namen des SGK-Teams vorgestellt [Rothacher, 1990]. Am Rande sei vermerkt, dass auch die ersten Versuche mit dem 'Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA)' mit dem Material der Turtmann-Kampagne 1989 durchgeführt wurden. Bekanntlich erwies sich diese Technik in der Praxis als äusserst bedeutsam [Frei und Beutler, 1990], [Frei, 1991].

Die Kampagnen *Turt-90* und *Turt-91* können wir als reine Gerätetests einstufen, wobei jeweils nicht das Gesamtnetz vermessen wurde. 1990 wurden der Rogue- und der Ashtech-Empfänger im Turtmann-Netz eingesetzt, im Herbst 1991 dann der neue SR299 der Firma WILD. Wir werden diesen Versuchsmessungen hier keine grosse Beachtung schenken.

1992 fand wieder eine grössere Kampagne statt, bei welcher insbesondere von den neuen Leica-Geräten vom Typ SR299 das gesamte Netz erfasst wurde. Die Resultate gehören mit denen der Kampagne *Turt-87.2* zu den besten mit GPS in Turtmann (bis zu diesem Zeitpunkt) erreichten. Die Resultate von *Turt-92* werden hier erstmals vorgestellt.

Die weitaus zuverlässigste GPS-Lösung stammt von der Kampagne *Turt-93*: 9 Trimble-SSE-Empfänger haben das Gesamtnetz während 4 Tagen permanent vermessen. Damit hat diese Kampagne ein etwa 8mal grösseres

Datenvolumen als die grösste vorher in Turtmann durchgeführte Kampagne. Zudem lässt sie natürlich von der Homogenität der Daten her keine Wünsche offen. Auch die Resultate der 1993er Kampagne werden in dieser Übersicht zum ersten Mal öffentlich zugänglich gemacht.

Es ist erwähnenswert, dass die Turtmann-Auswertungen die Beteiligten zu grundsätzlichen Überlegungen betreffend der systematischen Fehlerquellen anregten [Geiger, 1987b, 1988b], [Beutler et al., 1988b]. Diese Arbeiten wiederum fanden das Interesse von Rock Santerre, der die systematischen Fehler bei GPS-Auswertungen zum Inhalt seiner Dissertation machte [Santerre, 1989]. Auf diesem Gebiet entspann sich eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen der Universität Laval einerseits und der ETH in Zürich sowie dem Astronomischen Institut in Bern andererseits [Santerre et al., 1990]. Zudem wurde das Turtmann-Material auch in zahlreichen Diplomarbeiten und Dissertationen verwendet. Auf die Dissertationen der Herren Erwin Frei und Markus Rothacher wurde schon hingewiesen. Viel Information aus den Turtmann-Kampagnen floss weiter in das 'invited paper' an der "IAG General Assembly 1989" in Edinburgh mit dem Titel "Relative Static Positioning with the Global Positioning System: Basic Technical Considerations" ein [Beutler et al., 1990].

Es bleibt zu erwähnen, dass die Erfahrungen aus den Turtmann-Kampagnen und die Erkenntnisse bei deren Auswertung die Einführung der GPS-Methode bei der Landes- und Ingenieurvermessung entscheidend gefördert hat. Die ausgezeichnete Genauigkeit, welche schon bei den ersten Kampagnen 1985 erreicht wurde, hat dazu angeregt, die Methode bei der Untersuchung von Krustenbewegungen [Wiget et al., 1990] in Staumauer-Deformationsnetzen [Wiget und Schneider, 1992] und bei Tunnel-Grundlagennetzen [Schneider und Wiget, 1992] zu erproben. Die Möglichkeit, durch die Schätzung von Troposphärenparametern auch die Genauigkeit der Höhendifferenzen in alpinen Netzen verbessern zu können, liess erhoffen, dass im neuen GPS-Landesnetz (LV95) der Schweiz 3D-Koordinaten mit brauchbarer Genauigkeit bestimmt werden können [Schneider, 1993].

6.1.7 Neuauswertungen 1994

In Turtmann ist seit acht Jahren mit Unterbrechungen mit GPS gemessen worden. Es ist klar, dass während dieser Zeit die Empfänger-Technologie beträchtlich verbessert wurde. Eine ähnliche Qualitätssteigerung ist in dem Auswerteverfahren zu verzeichnen. Es ist ganz natürlich, dass die Modelle, die der heutigen Version der "Bernese Software" zu Grunde liegen, den 1985 verwendeten wesentlich überlegen sind. Es wäre natürlich schön, wenn sich die Messungen bis 1985 mit den neuesten Geräten wiederholen liessen. Dies ist glücklicherweise nicht möglich - die SGK hätte dies sonst gewiss veranlasst. (Un)glücklicherweise ist eine Neuverarbeitung der alten Kampagnen mit der neuesten Berner Software durchaus möglich und in Anbetracht der ganz wesentlich verbesserten Vorverarbeitungsstrategien ('preprocessing') auch nicht allzu aufwendig. Daher hat man sich in der SGK nach eingehender Diskussion zu einer eingeschränkten Neuverarbeitung entschlossen.

Die Einschränkung besteht darin, dass bei der Troposphärenmodellierung gänzlich auf die Verwendung von direkt erhobener Troposphäreninformation (wie Stations-Meteo-Messungen, Seilbahn-Meteo-Messungen, Ballonaufstiegen, in Flugzeugen gemessener Meteo) verzichtet wird. Der Grund ist im (zu) grossen Arbeitsaufwand und nicht im Nutzen dieser Information zu sehen. Richtig eingesetzt kann ja zusätzliche Information die Resultate nur verbessern. Die Autoren möchten auch ausdrücklich betonen, dass gerade für die Kampagne *Turt-93* eine Neuauswertung unter Vertwendung des reichen meteorologischen Materials äusserst sinnvoll wäre. Unzweifelhaft würden daraus wichtige Erkenntnisse für den Betrieb einer Permanentstation resultieren. Eine noch gründlichere Analyse hätte aber diesen Rechenschaftsbericht wohl endgültig verunmöglicht.

6.2 Auswertungen 1985

6.2.1 Übersicht

Die Kampagne *Turt-85* war die erste in der Reihe der von der SGK angesetzten GPS-Vermessungen im Turtmann-Netz. Vom 8. bis 11. Oktober wurde das Netz (noch ohne den Punkt 1.BRUN) von vier Macrometer V-1000 und von drei Instrumenten vom Typ TR5S der Firma Sercel beobachtet. Ein paar Tage später wurden auch noch drei TI-4100-Geräte eingesetzt.

In der Publikation [Rothacher et al., 1986] kann man nachlesen, dass einiger Aufwand von Nöten war, um diesen aus heutiger Sicht zum Teil exotischen Instrumenten gerecht zu werden. Insbesondere wurden im Rahmen dieser Kampagne unseres Wissens zum ersten Mal für den Empfängertyp TR5S erfolgreich Ambiguities gelöst. Nicht gerade trivial war auch die Übersetzung der Sercel-internen Formate in eine interpretierbare Form. Auch die Macrometer-Messungen hatten ihre Tücken. So diente dort nicht die GPS-Zeit sondern UTC (koordinierte Weltzeit) als Argument für die Epochenmessung, die Ephemeriden-Information wurde auf Umwegen vom MIT (Massachusetts Institute of Technology) in Form sogenannter "T-Files" zur Verfügung gestellt. Einzig der TI-4100 konnte als "neuzeitlicher" Empfänger angesprochen werden. Allerdings war gerade dieses Gerät seiner Antenne wegen schlecht geeignet für die präzise Vermessung kleiner Netze. Mit einem mittleren Positionsfehler von etwa 1 cm war für dieses Instrument in jedem Fall zu rechnen.

Diese Tatsachen sowie das Wissen, dass auch durch die sorgfältigste Neuauswertung niemals Resultate vergleichbarer Qualität wie 1987 (oder darauf folgender Jahre) zu erreichen gewesen wären, liessen nur einen Entscheid zu, nämlich die Kampagne *Turt-85* nicht neu auszuwerten. Der interessierte Leser sei auf die Veröffentlichungen [Rothacher et al., 1986] sowie [Gurtner et al., 1989] verwiesen.

6.2.2 Turt-85.1: Macrometer V-1000 und Sercel TR5S

Diese Kampagne wurde nicht neu ausgewertet. Siehe Kommentar in Kapitel 6.2.1.

6.2.3 Turt-85.2: Texas Instruments TI-4100

Diese Kampagne wurde nicht neu ausgewertet. Siehe Kommentar in Kapitel 6.2.1.

6.3 Auswertungen 1986

6.3.1 Übersicht

1986 wurde vom 13. bis 17. Oktober eine kombinierte WM-101- und Trimble-4000S-Kampagne organisiert. Die Auswertung der Kampagne des Jahres 1986 ist sehr gut dokumentiert in [Gurtner et al., 1989]. Eine ausführliche Auswertung und Diskussion der WM-101-Daten an Hand der Firmensoftware PoPS (WILD/Leica) erfolgte in [Cocard, 1987].

In Herbst 1986 waren vier Trimble- und fünf WM-101-Geräte im Einsatz. Der 13. Oktober war für Trimble reserviert, in Turtmann und Susten wurden je zwei Empfänger auf sehr kurzen Basislinien eingesetzt. Die gleiche "Übung" wurde am letzten Tag mit den WM-Geräten durchgeführt: je zwei Empfänger waren in Turtmann resp. Susten stationiert, einer befand sich in Bräntschi. Am 14. und 15. Oktober waren die WM- und die Trimble-Empfänger gemeinsam, am 16. nur noch WM-101 im Einsatz. Naturgemäss mussten auf verschiedenen Standorten Exzenter verwendet werden.

Die Basislinienbildung der beiden Teilkampagnen und die (als bekannt angenommenen) Exzenter sind in den Tab.6.3-1, 6.3-2 resp. 6.3-3 gegeben. Der Tab.6.3-2 entnimmt man, dass die Station 1.BRUN mit Trimble-Geräten nicht besetzt war. Die reine Trimble-Lösung umfasst also nicht das ganze Netz.

Die Tab.6.3-4 zeigt, dass nur fünf Satelliten, im Normalfall nur vier gleichzeitig, beobachtet werden konnten. Die Konstellation war also alles andere als komfortabel.

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)		
7.1	WM-101	2.BRAE	WM-101	861	86-10-14 03:17:00	3
7.1	WM-101	1.BRUN	WM-101	861	86-10-14 03:08:00	3
7.1	WM-101	3.GPS.E	WM-101	861	86-10-14 03:35:00	3
7.1	WM-101	5.OEMS	WM-101	861	86-10-14 03:10:00	3
4.ERGI	WM-101	6.GPS	WM-101	862	86-10-15 03:02:00	3
4.ERGI	WM-101	1.BRUN	WM-101	862	86-10-15 03:03:00	3
4.ERGI	WM-101	3.GPS.E	WM-101	862	86-10-15 03:14:00	3
7.1	WM-101	6.GPS	WM-101	863	86-10-16 03:04:00	3
7.1	WM-101	4.ERGI	WM-101	863	86-10-16 03:06:00	3
7.1	WM-101	3.GPS.E	WM-101	863	86-10-16 03:05:00	3
7.1	WM-101	5.OEMS	WM-101	863	86-10-16 02:49:00	3
7.1	WM-101	2.BRAE	WM-101	864	86-10-17 03:05:00	3
7.1	WM-101	8.1	WM-101	864	86-10-17 03:04:00	3
7.1	WM-101	8.SUST	WM-101	864	86-10-17 02:57:00	3
7.1	WM-101	7.TURT	WM-101	864	86-10-17 02:46:00	3

Tabelle 6.3-1: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne Turt-86.1: WM-101

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT 4000S	8.1 4000S	865	86-10-13 03:10:00	2.5
7.TURT 4000S	8.SUST 4000S	865	86-10-13 03:10:00	2.5
7.TURT 4000S	7.1 4000S	865	86-10-13 03:12:00	2.5
7.TURT 4000S	6.GPS 4000S	861	86-10-14 03:16:00	2.5
7.TURT 4000S	4.ERGI 4000S	861	86-10-14 03:08:00	2.5
7.TURT 4000S	3.GPS 4000S	861	86-10-14 03:12:00	2.5
7.TURT 4000S	2.BRAE 4000S	862	86-10-15 03:07:00	2.5
7.TURT 4000S	3.GPS 4000S	862	86-10-15 03:14:00	2.5
7.TURT 4000S	5.OEMS 4000S	862	86-10-15 03:20:00	2.5

Tabelle 6.3-2: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne *Turt-86.2*: Trimble 4000S

NUM	STATION NAME	CENTER NAME	NORTH (M)	EAST (M)	UP (M)
32	3.GPS.E	3.GPS	3.3844	5.3276	0.0000
71	7.1	7.TURT	-6.0065	9.8617	0.0004
81	8.1	8.SUST	-10.3910	-14.5487	0.0004

Tabelle 6.3-3: Verwendete Exzentrizitäten

CAMPAIGN: TURT-86		STATION: 7.TURT	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE			
REFERENCE EPOCH : 1986-10-14 03:05:00.00		ONE CHARACTER - 2.50 MINUTES	
SVN FRQ #OBS			
6 L1	75	*****	
9 L1	159	*****	
11 L1	146	*****	
12 L1	159	*****	
13 L1	74	*****	

Figur 6.3-4: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 14. Oktober 1986, 3-6 h UT

6.3.2 Turt-86.1: WILD-Magnavox WM-101

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.3-5.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionsen	4
Sessionslänge	3 Stunden
Satelliten	5
Parameter	7 x 3 Stationskoordinaten, 4 x 1 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	20 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	1'800 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	--

Tabelle 6.3-5: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_86_WM	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	8.8

Tabelle 6.3-6: Die 1986er WM-101-Lösung (*Turt-86.1*)

Der mittlere Fehler der L1-Phasenmessung (auf Stufe 'single difference') von fast 9 mm zeigt (bei einem erwarteten Wert von etwa 3 bis 4 mm), dass beträchtliche Zwänge in den Lösungen auftreten. Man könnte diesen unschönen Effekt, der einzig und allein durch den Empfänger bedingt ist, durch manuelles Editieren der Daten noch etwas verbessern. Die Transformation der GPS-Lösung auf die terrestrische Vergleichslösung ist in Tab.6.3-7 dokumentiert. Während der Vergleich der Ost-West-Komponenten befriedigend ausfällt, lassen doch die Nord-Süd-Komponenten sowie die Höhen sehr zu wünschen übrig.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		N	E	U		
		L1_86_WM --> LTPNEW93				
10	1.BRUN	-11.4	2.0	-0.3	TRANSLATION IN X	54.4 ± 3.3 MM
20	2.BRAE	1.1	-1.6	11.6	TRANSLATION IN Y	291.3 ± 3.3 MM
31	3.GPS	-7.8	0.5	4.5	TRANSLATION IN Z	671.8 ± 3.3 MM
40	4.ERGI	-3.3	2.8	-9.9	ROTATION AROUND X	-0.34 ± 0.34 "
50	5.OEMS	8.0	-1.0	16.7	ROTATION AROUND Y	-0.00 ± 0.41 "
61	6.GPS	-2.1	-0.7	7.0	ROTATION AROUND Z	-0.03 ± 0.25 "
70	7.TURT	12.7	-4.9	-16.4	SCALE FACTOR	-0.80 ± 1.20 MM/KM
80	8.SUST	2.8	2.8	-13.2		
RMS PER COORD		7.9	2.6	12.1		

Tabelle 6.3-7: Vergleich der 1986er WM-101-Lösung (ohne Antennenoffsets) mit der terrestrischen Lösung

Schon bei der ersten Auswertung der Daten im Jahr 1986 wurde vermutet, dass beim WM-101 empfänger-spezifische (d.h. für jeden Empfänger andere) Phasenzentren-Offsets auftraten. Wir haben deshalb hier den Versuch unternommen, die letzte Session (je 2 Empfänger in Turtmann und Susten, einer auf dem Punkt 2.BRAE) zur Antennen-Kalibration zu benutzen: Die terrestrische Lösung wurde mit den Parametern der Tab.6.3-7 ins ITRF-92 transformiert, die Session wurde nur unter Festhaltung des Punktes 7.TURT ausgewertet, die Differenzen der Lösungen zu den A-priori-Koordinaten wurden als Antennenoffsets interpretiert. Das Resultat dieser Bemühungen ist in Tab.6.3-8 einzusehen. Bei Kalibrationsmessungen an der ETHZ (1986/87) konnten ähnliche Offsets von 2 bis 8 mm in allen 3 Komponenten festgestellt werden [Cocard et al., 1988].

Sodann wurden die übrigen drei WM-Sessions unter Verwendung der Phasenzentren-Offsets von Tab.6.3-8 verarbeitet. Das Resultat kann anhand der Tab.6.3-9 beurteilt werden. Da wir ehrlicherweise den letzten Tag der Kampagne jetzt nicht mehr verwenden durften, blieb bei dieser Übung der Punkt 8.SUST auf der Strecke. Wir meinen aus Tab.6.3-9 den Schluss ziehen zu dürfen, dass eine sorgfältige Antennenkalibration (auf sehr kurzen Basislinien) wesentlich bessere Resultate gebracht hätte. Die endgültigen Koordinaten der Kampagne *Turt-86.1* findet man in Tab.6.3-10.

RECEIVER TYPE ANTENNA TYPE	ANTENNA S/N	FREQ	PHASE CENTER ECCENTR (M)		
			NORTH	EAST	UP
WM-101	101	L1	0.0047	0.0042	0.000
WM-101	104	L1	-0.0057	-0.0017	0.000
WM-101	129	L1	0.0015	-0.0077	0.000
WM-101	138	L1	0.0000	0.0000	0.000
WM-101	143	L1	-0.0035	-0.0057	0.000

Tabelle 6.3-8: Antennenoffset-Schätzungen (nur horizontale Komponenten) der WM-101-Antennen aus den Messungen vom 17. Oktober 1986

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
		N	E	U
		L1_86_WM- ---> LTPNEW93		
		N	E	U
10	1.BRUN	-8.2	3.7	-4.0
20	2.BRAE	3.7	-4.8	7.9
31	3.GPS	-5.0	-0.8	3.8
40	4.ERGI	-2.7	1.6	-6.0
50	5.OEMS	7.1	-0.7	15.5
61	6.GPS	-1.9	-0.5	-3.1
70	7.TURT	7.1	1.4	-14.1
RMS PER COORD		6.0	2.7	9.8

Tabelle 6.3-9: Vergleich der 1986er WM-101-Lösung (mit Antennenoffsets) mit der terrestrischen Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_86_WM				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0478	588821.3980	4590124.8289
20	2.BRAE	4373504.9115	590748.5310	4591508.3692
31	3.GPS	4373208.2623	593076.6537	4591518.4271
40	4.ERGI	4375515.2156	593027.4610	4588794.8944
50	5.OEMS	4376895.6840	590962.6361	4588103.0212
61	6.GPS	4377340.6922	587795.3816	4588206.3551
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6827	587437.0448	4589094.5195

Tabelle 6.3-10: ITRF-Koordinaten der Schluslösung 1986 (L1_86_WM); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald; die Phasenzentren-Offsets der Tab.6.3-8 wurden ignoriert

6.3.3 Turt-86.2: Trimble 4000S

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken sind in Tab.6.3-11 aufgeführt, die Gesamtlösung ist in Tab.6.3-12 dokumentiert. Bemerkenswert ist der kleine mittlere Fehler der Phasenbeobachtung (auf Stufe 'single difference') von 4.0 mm. Dies deutet auf eine ruhige Ionosphäre und unterstreicht unsere Vermutung, dass der grosse mittlere Fehler bei der Auswertung der Kampagne *Turt-86.2* empfängerbedingt war.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	3
Sessionslänge	2.5 Stunden
Satelliten	5
Parameter	6 x 3 Stationskoordinaten, 0 + 1 + 1 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	1'300 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	--

Tabelle 6.3-11: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_86_TR	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	4.0

Tabelle 6.3-12: Die 1986er Trimble-4000S-Lösung (*Turt-86.2*)

Tabelle 6.3-13 zeigt den Vergleich der Trimble-Lösung mit der 'ground truth'. In Anbetracht der schlechten Geometrie (nur 5 Satelliten, nur 3 Sessionen zu je 2.5 Stunden) darf sich das Ergebnis durchaus sehen lassen. Insbesondere waren hier (im Rahmen der Qualität der Kampagne) keine empfinderspezifischen Antennenoffsets zu sehen. Allerdings ist das Resultat keinesfalls vergleichbar mit denen späterer Jahre. Die Schlusslösung der Kampagne *Turt-86.2* ist in Tab.6.3-14 zu finden.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		N	E	U		
		L1_86_TR --> LTPNEW93				
20	2.BRAE	-2.7	0.4	3.4	TRANSLATION IN X	69.2 ± 1.2 MM
31	3.GPS	-1.4	0.1	0.2	TRANSLATION IN Y	285.7 ± 1.2 MM
40	4.ERGI	2.4	-1.5	1.5	TRANSLATION IN Z	660.0 ± 1.2 MM
50	5.OEMS	5.4	-1.8	-0.9	ROTATION AROUND X	-0.80 ± 0.12 "
61	6.GPS	-1.9	3.2	3.7	ROTATION AROUND Y	0.74 ± 0.14 "
70	7.TURT	-3.1	-1.0	-4.8	ROTATION AROUND Z	0.10 ± 0.09 "
80	8.SUST	1.3	0.7	-3.1	SCALE FACTOR	-1.68 ± 0.41 MM/KM
RMS PER COORD		3.1	1.7	3.2		

Tabelle 6.3-13: Vergleich der 1986er Trimble-Lösung mit der terrestrischen Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_86_TR				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
20	2.BRAE	4373504.8977	590748.5350	4591508.3659
31	3.GPS	4373208.2413	593076.6571	4591518.4287
40	4.ERGI	4375515.1944	593027.4655	4588794.9019
50	5.OEMS	4376895.6481	590962.6369	4588103.0033
61	6.GPS	4377340.6683	587795.3823	4588206.3559
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6735	587437.0531	4589094.5357

Tabelle 6.3-14: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1986 (L1_86_TR); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.4 Auswertungen 1987

6.4.1 Übersicht

1987 fanden zwei Kampagnen statt, eine mit WM-101-Geräten, eine mit Trimble-4000SX-Empfängern. Die beiden Kampagnen werden getrennt voneinander neu ausgewertet, sie waren zeitlich durch eine Woche getrennt. Die Tab.6.4-1 und 6.4-2 zeigen die Bildung der Basislinien, Tab.6.4-3 die Satellitenkonfiguration (die Konstellation war in beiden Kampagnen vergleichbar).

Obwohl in beiden Fällen an drei Tagen gemessen wurde, sind die Kampagnen vom Umfang her nicht zu vergleichen: Es standen nur vier WM-101-, aber sechs Trimble-Empfänger zur Verfügung, zudem war bei der WM-Kampagne die Sessionslänge kürzer als bei der Trimble-Kampagne. Mit den WM-Geräten konnte im wesentlichen jede Basislinie während einer Session (Ausnahme: 7.TURT - 9.EMSH) vermessen werden, mit den Trimble-Geräten die Mehrheit der Basislinien zweimal. Wichtig ist weiter, dass unser höhenabhängiges Troposphärenmodell bei der WM-Kampagne praktisch nutzlos war: Wenn der Punkt 9.EMSH in einer Session vermessen wurde, wurden zwei Troposphärenparameter bestimmt - also genau gleich viele wie bei der Schätzung stationsspezifischer Troposphärenkorrekturen. Schliesslich ist zu erwähnen, dass ausgerechnet während der WM-Kampagne der Satellit 3 ein Manöver hatte. Es könnte sein, dass die Bahn dieses Satelliten am dritten Tag schlecht war. Es gibt für uns keine Möglichkeit mehr, dies heute zu prüfen; das Weglassen dieses Satelliten würde zu einer massiven Verschlechterung der Geometrie am dritten Tag führen.

STATION 1/RECEIVER		STATION 2/RECEIVER		SES	FIRST OBSERV.TIME		SES.LENGTH (H)
7.TURT	WM-101	1.BRUN	WM-101	871	87-10-21	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	4.ERGI	WM-101	871	87-10-21	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	5.OEMS	WM-101	871	87-10-21	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	9.EMSH	WM-101	872	87-10-22	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	3.GPS	WM-101	872	87-10-22	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	8.SUST	WM-101	872	87-10-22	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	6.GPS	WM-101	873	87-10-23	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	2.BRAE	WM-101	873	87-10-23	02:16:00	3
7.TURT	WM-101	9.EMSH	WM-101	873	87-10-23	02:16:00	3

Tabelle 6.4-1: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne *Turt-87.1*: WM-101

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT	4000SX	1.BRUN	4000SX 874 87-10-28 01:02:30	4
7.TURT	4000SX	9.EMSH	4000SX 874 87-10-28 01:08:30	4
7.TURT	4000SX	4.ERGI	4000SX 874 87-10-28 01:08:15	4
7.TURT	4000SX	3.GPS	4000SX 874 87-10-28 01:02:15	4
7.TURT	4000SX	8.SUST	4000SX 874 87-10-28 01:03:15	4
7.TURT	4000SX	6.GPS	4000SX 875 87-10-29 02:28:45	4
7.TURT	4000SX	2.BRAE	4000SX 875 87-10-29 00:56:00	4
7.TURT	4000SX	9.EMSH	4000SX 875 87-10-29 02:28:45	4
7.TURT	4000SX	5.OEMS	4000SX 875 87-10-29 02:28:45	4
7.TURT	4000SX	8.SUST	4000SX 875 87-10-29 00:56:00	4
7.TURT	4000SX	2.BRAE	4000SX 876 87-10-30 00:56:45	4
7.TURT	4000SX	9.EMSH	4000SX 876 87-10-30 01:12:00	4
7.TURT	4000SX	3.GPS	4000SX 876 87-10-30 00:59:30	4
7.TURT	4000SX	5.OEMS	4000SX 876 87-10-30 00:54:00	4
7.TURT	4000SX	8.SUST	4000SX 876 87-10-30 03:31:00	4

Tabelle 6.4-2: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne Turt-87.2: Trimble 4000SX

CAMPAIGN: TURT-87		STATION: 7.TURT	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE			
REFERENCE EPOCH : 1987-10-28 01:02:15.00		ONE CHARACTER = 4.00 MINUTES	
SVN FRQ #OBS			
3 L1	280		*****
6 L1	509	*****	
8 L1	513	*****	
9 L1	976	*****	
11 L1	651	*****	*****
12 L1	998	*****	
13 L1	529		*****

Figur 6.4-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 29. Oktober 1987, 1-5 h UT

6.4.2 Turt-87.1: WILD-Magnavox WM-101

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.4-3.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	3
Sessionslänge	3 Stunden
Satelliten	7
Parameter	8 x 3 Stationskoordinaten, 1 + 2 + 2 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	2'300 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	--

Tabelle 6.4-3: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_87_WM	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	5.5

Tabelle 6.4-4: Die 1987er WM-101-Lösung (Turt-87.1)

Tabelle 6.4-5 zeigt, dass tatsächlich die Höhen sehr schlecht bestimmbar waren: Formale Fehler von 3 mm deuten nach unserer Faustregel (s. Kap.6.9) auf effektive Fehler von etwa 1.2 cm. Hingegen würde man eine Genauigkeit in der horizontalen Lage von etwa 2 bis 3 mm erwarten.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	10	40	50	90	31	80	61	20
70	B	0.0	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
	L	0.0	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
	H	0.0	2.0	2.4	3.3	2.1	2.7	1.1	2.6	2.6
10	B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
	L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	H	2.0	2.0	1.3	1.9	2.9	3.3	2.3	3.3	3.3
40	B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
	L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	H	2.4	1.3	2.4	1.6	3.2	3.6	2.6	3.6	3.6
50	B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
	L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	H	3.3	1.9	1.6	3.3	3.9	4.3	3.5	4.2	4.3
90	B	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
	L	0.3	0.6	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
	H	2.1	2.9	3.2	3.9	2.1	2.9	2.2	2.7	2.7

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	10	40	50	90	31	80	61	20
31	B	0.4	0.6	0.7	0.7	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
	L	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	H	2.7	3.3	3.6	4.3	2.9	2.7	2.4	3.5	3.5
80	B	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
	L	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	H	1.1	2.3	2.6	3.5	2.2	2.4	1.1	2.8	2.8
61	B	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
	L	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
	H	2.6	3.3	3.6	4.2	2.7	3.5	2.8	2.6	1.2
20	B	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5
	L	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
	H	2.6	3.3	3.6	4.3	2.7	3.5	2.8	1.2	2.6

Tabelle 6.4-5: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, WM-101-Lösung 1987, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, höhenabhängiges Modell für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

Der Vergleich der 1987er WM-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung LTPNEW93 kann in Tab.6.4-6 eingesehen werden. Der mittlere Fehler in der Höhe entspricht ziemlich genau unseren Erwartungen, die Lage hingegen ist etwa um einen Faktor 2 schlechter bestimmt als erwartet. Dies dürfte entweder (wie 1986) an nicht-kalibrierten, gerätespezifischen (d.h. von Gerät zu Gerät variierende) Antennenoffsets liegen, oder ganz allgemein durch die Definition des Phasenzentrums bei der Helixantenne zu begründen sein [Geiger, 1988a]. Immerhin: Auch hier ist die Lage deutlich innerhalb des Zentimeters (rms) bestimmt. Das Kapitel schliesst einmal mehr mit Angaben zur Helmert-Transformation (Tab.6.4-6) und den endgültigen Koordinaten der Kampagne Turt-87.1 (Tab.6.4-7).

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		N	E	U		
		L1_87_WM --> LTPNEW93				
					TRANSLATION IN X	64.8 ± 3.0 MM
					TRANSLATION IN Y	289.0 ± 3.0 MM
					TRANSLATION IN Z	659.9 ± 3.0 MM
					ROTATION AROUND X	-1.44 ± 0.31 "
					ROTATION AROUND Y	1.18 ± 0.37 "
					ROTATION AROUND Z	-0.37 ± 0.22 "
					SCALE FACTOR	-1.24 ± 1.07 MM/KM
10	1.BRUN	-1.6	1.1	-16.6		
20	2.BRAE	-7.5	0.7	13.4		
31	3.GPS	2.9	-1.8	-1.8		
40	4.ERGI	5.5	1.1	3.8		
50	5.OEMS	2.8	7.2	-11.4		
61	6.GPS	-5.2	-2.5	17.4		
70	7.TURT	-2.7	-6.5	-0.1		
80	8.SUST	5.8	0.7	-4.7		
RMS PER COORD		5.0	3.9	11.5		

Tabelle 6.4-6: Vergleich der 1987er WM-101-Lösung mit der terrestrischen Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_87_WM				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0245	588821.3963	4590124.8309
20	2.BRAE	4373504.9126	590748.5287	4591508.3696
31	3.GPS	4373208.2323	593076.6509	4591518.4285
40	4.ERGI	4375515.1854	593027.4614	4588794.8980
50	5.OEMS	4376895.6423	590962.6295	4588102.9850
61	6.GPS	4377340.6899	587795.3922	4588206.3568
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6820	587437.0481	4589094.5358
90	9.EMSH	4378713.0325	590398.9091	4587675.8768

Tabelle 6.4-7: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1987 (L1_87_WM); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.4.3 Turt-87.2: Trimble 4000SX

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.4-8, die Gesamtlösung ist in Tab.6.4-9 dargestellt. Bemerkenswert ist der kleine mittlere Fehler der Phasenbeobachtung (auf Stufe 'single difference') von 4.1 mm.

Charakteristikum	Anzahl
Sessions	3
Sessionslänge	4 Stunden
Satelliten	7
Parameter	8 x 3 Stationskoordinaten, 3 x 2 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	3'600 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	--

Tabelle 6.4-8: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_87_TR	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	4.1

Tabelle 6.4-9: Die 1987er Trimble-4000SX-Lösung (Turt-87.2)

Tabelle 6.4-10 zeigt, dass die Höhen hier, verglichen mit der WM-Kampagne, tatsächlich besser bestimmt sind: Wir erwarten gemäss unseren Regeln eine Genauigkeit von etwa 1 mm in der horizontalen Position und von etwa 3 mm in der Höhe. Im Vergleich zur WM-Kampagne verfügen wir hier über eine etwa 1.5mal grössere Beobachtungsmenge.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	10	90	40	31	80	61	20	50
70	B	0.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
	L	0.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
	H	0.0	0.9	1.3	1.0	1.1	0.5	1.3	1.1	1.1
10	B	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
	L	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
	H	0.9	0.9	1.4	0.8	0.8	0.9	1.2	0.9	0.9
90	B	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
	L	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
	H	1.3	1.4	1.3	1.4	1.2	1.3	1.5	1.2	1.3
40	B	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
	H	1.0	0.8	1.4	1.0	0.8	1.0	1.2	0.9	0.9
31	B	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3
	L	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
	H	1.1	0.8	1.2	0.8	1.1	1.0	1.1	0.7	0.7
80	B	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
	L	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3
	H	0.5	0.9	1.3	1.0	1.0	0.5	1.3	1.0	1.0
61	B	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4
	L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	H	1.3	1.2	1.5	1.2	1.1	1.3	1.3	0.9	1.0
20	B	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3
	L	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
	H	1.1	0.9	1.2	0.9	0.7	1.0	0.9	1.1	0.6
50	B	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2
	L	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.2
	H	1.1	0.9	1.3	0.9	0.7	1.0	1.0	0.6	1.1

Tabelle 6.4-10: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Trimble-Lösung 1987, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, höhenabhängiges Modell für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

Den Vergleich der 1987er Trimble-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung LTPNEW93 entnimmt man Tab.6.4-11. Hier werden unsere Erwartungen voll und ganz erfüllt: in der Lage beträgt der Transformationsfehler zur terrestrischen Lösung lediglich 1 mm, in der Höhe sind die Fehler immer noch kleiner als 5 mm. Wir werden sehen, dass die 1987er Trimble-Kampagne die beste Übereinstimmung aller Kampagnen mit der 'ground truth' liefert, dies obwohl wir z.B. die Qualität 1993er GPS-Kampagne unbedingt höher einstufen müssen. Bedenken wir, dass die terrestrischen Präzisionsmessungen 1986 durchgeführt wurden, liesse sich dieser scheinbare Widerspruch durch die Annahme erklären, dass sich einige der Turtmann-Punkte zwischen 1987 und 1992/93 bewegt haben. Die Koordinaten dieser Lösung entnimmt man Tab.6.4-12.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L1_87_TR --> LTPNEW93				
		N	E	U		
10	1.BRUN	0.3	-0.3	-6.6	TRANSLATION IN X	65.3 ± 1.0 MM
20	2.BRAE	0.1	0.8	4.0	TRANSLATION IN Y	283.7 ± 1.0 MM
31	3.GPS	1.4	0.6	-1.3	TRANSLATION IN Z	655.0 ± 1.0 MM
40	4.ERGI	-1.7	-1.9	-4.6	ROTATION AROUND X	-0.99 ± 0.11 "
50	5.OEMS	1.3	1.0	4.3	ROTATION AROUND Y	0.59 ± 0.13 "
61	6.GPS	-0.1	0.5	-2.7	ROTATION AROUND Z	-0.33 ± 0.08 "
70	7.TURT	-1.5	0.6	3.3	SCALE FACTOR	-0.81 ± 0.38 MM/KM
80	8.SUST	0.1	-1.3	3.6		
RMS PER COORD		1.1	1.1	4.3		

Tabelle 6.4-11: Vergleich der 1987er Trimble-Lösung mit der terrestrischen Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_87_TR				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0210	588821.4024	4590124.8320
20	2.BRAE	4373504.8910	590748.5310	4591508.3621
31	3.GPS	4373208.2279	593076.6542	4591518.4252
40	4.ERGI	4375515.1865	593027.4709	4588794.8892
50	5.OEMS	4376895.6544	590962.6420	4588102.9973
61	6.GPS	4377340.6688	587795.3893	4588206.3432
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6836	587437.0554	4589094.5296
90	9.EMSH	4378713.0318	590398.9132	4587675.8752

Tabelle 6.4-12: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1987 (L1_87_TR); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.5 Auswertungen 1988

6.5.1 Übersicht

1988 fanden drei Kampagnen statt, eine erste (*Turt-88.1*) mit 4 Trimble 4000SL lediglich auf der Talbasis 7.TURT - 8.SUST, eine zweite (*Turt-88.2*) vom 14. bis 16. September mit 2 SL- und 2 SLD-Trimble-Geräten, sowie eine dritte mit Sercel-NR52-Geräten. Die dritte Kampagne (*Turt-88.3*) wurde von der Firma KERN in Zusammenarbeit mit der Firma Sercel ausgewertet. Hier werden wir nur die zweite Kampagne unter dem Titel *Turt-88.2* neu behandeln.

6.5.2 Turt-88.1: Trimble 4000SL

Diese Kampagne wurde seinerzeit von der L+T für intensive Tests der TRIMVEC Software, Versionen 87.086 und 88.044MB, benutzt. Die Daten wurden nicht neu ausgewertet.

6.5.3 Turt-88.2: Trimble 4000SL/SLD

Die Trimble-4000SL-Geräte sind Einfrequenz-Empfänger. Daraus folgt unmittelbar, dass die Schlusslösung eine L1-Lösung sein musste. Da die Sessions sehr früh am Morgen angesetzt waren, und da 1988 die Sonnenfleckenzahl noch relativ bescheiden war, dürfte sich der Schaden in Grenzen halten. Es wäre theoretisch möglich gewesen, für diese Kampagne mit den L1-/L2-Daten der Trimble 4000SLD ein Ionosphärenmodell zu rechnen. Aus den erwähnten Gründen wurde darauf verzichtet.

Tabelle 6.5-1 gibt Auskunft über die Basislinien, Tab.6.5-2 vermittelt einen Eindruck von der verfügbaren Konstellation. Exzenter mussten keine verwendet werden.

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT 4000SLD	9.EMSH 4000SLD	881	88-09-14 03:39:45	3.5
7.TURT 4000SLD	3.GPS 4000SL	881	88-09-14 03:30:00	3.5
7.TURT 4000SLD	8.SUST 4000SL	881	88-09-14 03:34:15	3.5
7.TURT 4000SLD	1.BRUN 4000SL	882	88-09-15 03:44:00	3.5
7.TURT 4000SLD	4.ERGI 4000SL	882	88-09-15 03:45:30	3.5
7.TURT 4000SL	2.BRAE 4000SLD	883	88-09-16 03:21:15	3.5
7.TURT 4000SL	9.EMSH 4000SLD	883	88-09-16 03:34:15	3.5
7.TURT 4000SL	5.OEMS 4000SL	883	88-09-16 03:21:15	3.5

Tabelle 6.5-1: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne *Turt-88.2*: Trimble 4000SL/SLD

CAMPAIGN: TURT-88 STATION: 7.TURT TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE REFERENCE EPOCH : 1988-09-14 3:30:00.00 ONE CHARACTER = 4.00 MINUTES SVN FRQ #OBS	
3 L1 364	*****
6 L1 396	*****
8 L1 498	*****
9 L1 932	*****
11 L1 717	*****
12 L1 958	*****
13 L1 574	*****

Figur 6.5-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 14. September, 3-7 h UT

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.5-3. Die Minimalelevation wurde auch hier auf 15 Grad gesetzt. Beobachtet wurde mit einer Rate von 4 Messepochen pro Minute, ausgewertet wurde nur jede vierte (Tab.6.5-3). Dass die Ionosphärenaktivität tatsächlich sehr viel kleiner war als in den folgenden Jahren, entnimmt man der Tab.6.5-4 (rms = 4.5 mm).

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	3
Sessionslänge	3.5 Stunden
Satelliten	7
Parameter	7 x 3 Stationskoordinaten, 2 + 1 + 2 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	2'200 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	--

Tabelle 6.5-4: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_88_TR	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	4.8

Tabelle 6.5-5: Die 1988er Trimble-Lösung (Turt-88.2)

Die formalen Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen waren in dieser Kampagne in etwa vergleichbar mit denen des Jahres 1987, es schien daher nicht nötig, die entsprechende Tabelle hier einzuschliessen.

Den Vergleich der 1988er GPS-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung LTPNEW93 entnimmt man Tab.6.5-6. Die erreichte Genauigkeit ist deutlich schlechter als diejenige des Jahres 1987. Die Koordinaten der Kampagne Turt-88.2 findet man in Tab.6.5-7.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		N	E	U		
		L1_88_TR --> LTPNEW93			TRANSLATION IN X	62.5 ± 1.7 MM
					TRANSLATION IN Y	283.6 ± 1.7 MM
					TRANSLATION IN Z	659.0 ± 1.7 MM
					ROTATION AROUND X	-0.95 ± 0.18 "
					ROTATION AROUND Y	0.49 ± 0.21 "
					ROTATION AROUND Z	-0.38 ± 0.14 "
					SCALE FACTOR	-0.98 ± 0.66 MM/KM
10	1.BRUN	-4.8	-3.9	5.2		
20	2.BRAE	3.5	5.2	3.7		
31	3.GPS	-1.5	-2.0	-5.8		
40	4.ERGI	-3.8	-4.3	5.5		
50	5.OEMS	4.4	3.0	-3.1		
70	7.SURT	1.9	1.8	-2.0		
80	8.SUST	0.3	0.1	-3.5		
RMS PER COORD		3.5	3.6	4.7		

Tabelle 6.5-6: Vergleich der 1988er L1-Lösung mit der terrestrischen Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_88_TR				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0379	588821.4098	4590124.8374
20	2.BRAE	4373504.8941	590748.5276	4591508.3647
31	3.GPS	4373208.2318	593076.6575	4591518.4212
40	4.ERGI	4375515.2005	593027.4764	4588794.8978
50	5.OEMS	4376895.6535	590962.6416	4588102.9967
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6847	587437.0562	4589094.5250
90	9.EMSH	4378713.0247	590398.9085	4587675.8777

Tabelle 6.5-7: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1988 (L1_88_TR); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.5.4 Turt-88.3: Sercel NR52

Die GPS-Messungen der Kampagne *Turt-88.3* vom Mai 1988 wurden von der Firma KERN & Cie AG, Aarau, in eigener Regie ausgewertet. Dafür wurde ihr von der Firma Sercel das Programmpaket GPSMIS zur Verfügung gestellt, welches unter anderem die Auswertung der Rohmessungen auf IBM-kompatiblen Rechnern ermöglicht. Die Ergebnisse wurden von Herrn M. Riemensberger in einem internen Kurzbericht der KERN & Cie AG zusammengestellt [Riemensberger, 1988]. Die Daten wurden nicht neu ausgewertet.

6.6 Auswertungen 1989

6.6.1 Übersicht

Nach den Vorstellungen der GPS-Arbeitsgruppe der SGK standen bei der 1989er Kampagne die folgenden Aspekte im Vordergrund :

- (1) Bestmögliche Kombination von Einfrequenz- und Zweifrequenzen-Instrumenten,
- (2) Kombination von Empfängern verschiedener Firmen,
- (3) Qualitätsvergleich verschiedener Empfängertypen.

Dieses Programm musste im Laufe der Auswertung revidiert werden, da schon bald klar wurde, dass 1989 im Gegensatz zu früheren Kampagnen mit Einfrequenz-Empfängern keine guten Resultate erzielt werden konnten. Deutliche Skalenfaktoren traten auf (etwa 4.5 ppm bei der Auswertung von L1-Beobachtungen), es wurden aber auch unerwartet grosse Residuen der L1-Phasenbeobachtungen registriert. Es dauerte nicht lange bis klar wurde, dass die Ionosphäre an dieser unerfreulichen Entwicklung Schuld war. Glücklicherweise stand in der 1989er Kampagne mit dem WM-102 ein Zweifrequenzen-Gerät zur Verfügung, welches eine gezielte Untersuchung dieses Aspektes erlaubte.

Die Ionosphäre war denn auch das zentrale Thema des Berichts "Exemplary Processing of a 1989 GPS Campaign in the Swiss Alps" [Beutler, 1989]. In dieser Arbeit wurde für die 1989er Kampagne eine Präanalyse mit simulierten Beobachtungen durchgeführt. Die Satellitenkonstellation der Präanalyse entsprach dabei der wirklichen 1989er Konstellation (siehe Fig.6.6-1), die Empfängerverteilung entsprach der Verteilung der WM-102-Empfänger (siehe Tab.6.6-1). Neben plausiblen zufälligen Fehlern wurde der Versuch unternommen, die Atmosphäre möglichst realistisch zu simulieren: Mit dem Programm GPSSIM wurde eine Ionosphäre bestehend aus einem "deterministischen" ('single-layer model' mit konstanter Elektronendichte) und einem "stochastischen" Anteil angesetzt. Ausserdem wurde eine Troposphäre (ebenfalls bestehend aus einem deterministischen und einem stochastischen Anteil) in die Simulation eingeführt. Es konnte gezeigt werden, dass zumindest in dieser "Laborumgebung" das Programm IONEST im Stande war, aus den Phasenmessungen auf L1 und L2 Ionosphärenmodelle zu bestimmen, welche es dann dem Programm GPSEST erlaubten, die wichtigsten ionosphärenbedingten systematischen Effekte zu eliminieren. Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie können der erwähnten Publikation entnommen werden, welche auch im Sammelband [Beutler, 1989] enthalten ist.

Zur Neuauswertung: Tab.6.6-1 zeigt die Verteilung der Instrumente im Netz sowie die Bildung der Basislinien. Es sind hier nur die WM-102-Daten neu ausgewertet worden. Dieses Vorgehen war angezeigt, da (1) die Trimble-Geräte gar nicht das ganze Netz erfassten (Ergisch und Oberems wurden nicht besetzt), da (2) nur an den beiden letzten Tagen mehr als ein Trimble-Empfänger im Einsatz war und da (3) insgesamt drei verschiedene Trimble-Typen (SL, SLD, ST) zum Einsatz kamen. Da der Aspekt der Empfängerkombination nicht mehr im Vordergrund stand, wurde auf eine Neuauswertung der Trimble-Daten verzichtet. Die als bekannt eingeführten Exzenter sind in Tab.6.6-2 gegeben.

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT	WM-102 6.GPS	WM-102	891 89-07-05 07:26:00	3
7.TURT	WM-102 2.BRAE	WM-102	891 89-07-05 07:19:00	4
7.TURT	WM-102 1.BRUN	WM-102	891 89-07-05 07:02:00	4.5
7.TURT	WM-102 9.EMSH	WM-102	891 89-07-05 07:02:00	4.5
7.TURT	WM-102 4.ERGI	WM-102	891 89-07-05 08:01:00	3.5
7.TURT	WM-102 3.GPS	WM-102	891 89-07-05 07:10:00	4.5
7.TURT	WM-102 5.OEMS	WM-102	891 89-07-05 07:03:00	4.5
7.TURT	WM-102 8.SUST	WM-102	891 89-07-05 07:06:00	4.5
7.TURT	WM-102 7.2	WM-102	891 89-07-05 07:18:00	4
7.TURT	WM-102 2.BRAE	WM-102	892 89-07-06 07:12:00	4.5
7.TURT	WM-102 1.BRUN	WM-102	892 89-07-06 07:00:00	4.5
7.TURT	WM-102 9.EMSH	WM-102	892 89-07-06 07:11:00	4
7.TURT	WM-102 4.ERGI	WM-102	892 89-07-06 07:06:00	4.5
7.TURT	WM-102 3.JEIZ	WM-102	892 89-07-06 07:00:00	4.5
7.TURT	WM-102 3.GPS	WM-102	892 89-07-06 07:11:00	1.0
7.TURT	WM-102 5.OEMS	WM-102	892 89-07-06 07:00:00	4.5
7.TURT	WM-102 8.SUST	WM-102	892 89-07-06 07:07:00	4.5
7.TURT	WM-102 7.2	WM-102	892 89-07-06 07:01:00	4.5
7.TURT	WM-102 6.GPS	WM-102	893 89-07-07 07:10:00	4
7.TURT	WM-102 2.BRAE	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 9.EMSH	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 4.ERGI	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 3.JEIZ	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 3.GPS	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 5.OEMS	WM-102	893 89-07-07 07:07:00	4
7.TURT	WM-102 8.1	WM-102	893 89-07-07 07:12:00	4
7.TURT	WM-102 8.SUST	WM-102	893 89-07-07 07:47:00	3.5

Tabelle 6.6-1: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne *Turt-89*: WM-102

NUM	STATION NAME	CENTER NAME	NORTH (M)	EAST (M)	UP (M)
30	3.JEIZ	3.GPS	-67.2669	-58.4263	-27.9624
72	7.2	7.TURT	-8.0539	-10.4957	0.0047
81	8.1	8.SUST	-10.3910	-14.5487	0.0004

Tabelle 6.6-2: Verwendete Exzentrizitäten

Die tägliche Sessionslänge ist mit etwa 4 Stunden vergleichbar mit der früherer Jahre. Es konnten 1989 schon sieben (1992 dann acht) Satelliten beobachtet werden (*siehe Fig.6.6-1*), zu jedem Zeitpunkt waren mindestens 4 Satelliten verwendbar. Die Ionosphäre war 1989 ganz wesentlich störender als in früheren Jahren, sie war aber auch etwa um einen Faktor 2 "schlimmer" als 1992 (*vgl. Kap.6.8*). Leider ist es hier nicht (wie für die 1992er Kampagne) möglich, eine Figur mit dem Tagesverlauf der Elektronendichte beizulegen: Die Ionosphäre konnte nur genau während der Sessionsen mit dem Programm IONEST mit Hilfe der WM-102-Geräte in Turtmann bestimmt werden. Eine Übersicht gibt Tab.6.6-3. Die Elektronenzahlen von etwa 50 TECU lassen bei einer Minimalelevation von 15 Grad tatsächlich auf einen Skalenfaktor von 4 bis 5 ppm (GPS-Basislinien verkürzt) schliessen. Die Verwendung eines Ionosphärenmodells war also eine Notwendigkeit.

CAMPAIGN: TURT-89		STATION: 7.TURT	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE			
REFERENCE EPOCH : 1989-07-05 07:02:00.00		ONE CHARACTER = 4.50 MINUTES	
SVN FRQ #OBS			
3 L1	70	*****	
6 L1	135	*****	
8 L1	138	*****	
9 L1	259	*****	
11 L1	197	*****	
12 L1	260	*****	
13 L1	141	*****	

Figur 6.6-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 5. Juli, 7-12 h UT

Zeit	Mittlere Elektronendichte (TECU)
5. Juli 1989, 7-12 h	52
6. Juli 1989, 7-12 h	50
7. Juli 1989, 7-12 h	36

Tabelle 6.6-3: Mittlere Elektronendichte in TECU geschätzt mit Hilfe des WM-102 auf dem Punkt Turtmann

6.6.2 Turt-89: WILD-Magnavox WM-102

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.6-4. Die Minimalelevation wurde auf 15 Grad gesetzt.

Charakteristikum	Anzahl
Sessions	3
Sessionslänge	4 Stunden
Satelliten	7
Parameter	8 x 3 Stationskoordinaten, 3 x 2 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	7'400 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	3 Sessions-Modelle

Tabelle 6.6-4: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_89_WM	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	8.2

Tabelle 6.6-5: Die 1989er WM-Lösung (Turt-89)

Tabelle 6.6-6 verspricht eine gute Qualität. Wir würden eine Genauigkeit von etwa 2 bis 3 mm in der Lage, je nach Höhendifferenz der Basislinie von 3 bis 9 mm in der Höhe erwarten.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	61	20	10	90	40	31	50	80
70	B	0.0	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
	L	0.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	H	0.0	1.8	1.6	1.3	2.2	1.4	1.6	1.6	0.8
61	B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	L	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
	H	1.8	1.8	1.2	1.4	2.2	1.2	1.1	1.2	1.7
20	B	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	H	1.6	1.2	1.6	1.1	2.1	1.0	0.8	0.9	1.5
10	B	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	H	1.3	1.4	1.1	1.3	2.3	1.0	1.1	1.1	1.2
90	B	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3
	H	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2	2.3	2.1	2.2	2.2
40	B	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
	H	1.4	1.2	1.0	1.0	2.3	1.4	1.0	0.9	1.3
31	B	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
	L	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	H	1.6	1.1	0.8	1.1	2.1	1.0	1.6	0.8	1.5
50	B	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	H	1.6	1.2	0.9	1.1	2.2	0.9	0.8	1.6	1.4
80	B	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
	L	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	H	0.8	1.7	1.5	1.2	2.2	1.3	1.5	1.4	0.8

Tabelle 6.6-6: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Gesamtlösung 1989, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, höhenabhängiges Modell für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

In Tab.6.6-7 vergleichen wir die 1989er L1-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung LTPNEW93. Die Qualität ist mit der früherer Jahre vergleichbar, wobei wir die Trimble-Kampagne des Jahres 1987 (Kampagne *Turt-87.2*) ausnehmen müssen. Neben den ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (Ionosphäre und Troposphäre sind schwerer modellierbar während des Tages als während der Nacht und in den frühen Morgenstunden) ist, wie man heute weiss, auch die Doppelhelix-Antenne des WM-102 nicht konkurrenzfähig mit den modernen Microstrip-Antennen, wie sie in den Trimble-, den Ashtech-Geräten sowie in den SR299-Empfängern von Leica eingesetzt werden.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L1_89_WM --> LTPNEW93				
		N	E	U		
10	1.BRUN	-3.7	-0.6	-7.1	TRANSLATION IN X	62.7 ± 2.6 MM
20	2.BRAE	-8.4	0.8	16.2	TRANSLATION IN Y	286.8 ± 2.6 MM
31	3.GPS	-1.6	-3.4	0.9	TRANSLATION IN Z	671.2 ± 2.6 MM
40	4.ERGI	6.6	-0.4	-3.7	ROTATION AROUND X	-0.76 ± 0.27 "
50	5.OEMS	3.8	1.7	8.3	ROTATION AROUND Y	0.48 ± 0.32 "
61	6.GPS	0.9	-0.3	8.9	ROTATION AROUND Z	-0.28 ± 0.20 "
70	7.TURT	1.7	-1.7	-14.0	SCALE FACTOR	-0.70 ± 0.95 MM/KM
80	8.SUST	0.8	4.0	-9.5		
RMS PER COORD		4.6	2.2	10.4		

Tabelle 6.6-7: Vergleich der 1989er L1-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung

Nehmen wir in Tab.6.6-8 den Vergleich der Lösung *Turt-89* mit jener des Jahres 1992 (Kampagne *Turt-92*) voraus. Es ist interessant, dass zum mindesten die Ost-West-Komponenten gut übereinstimmen. Es ist sehr schade, dass vor Beginn der 1989er Kampagne mit den WM-102-Geräten keine Antennenkalibration durchgeführt wurde. Die Qualität der Resultate hätte sich bestimmt steigern lassen. In Tab.6.6-9 findet man die Koordinaten der der Kampagne *Turt-89*.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L1_89_WM --> L1_92_SR+				
		N	E	U		
10	1.BRUN	-3.5	-3.3	-17.7	TRANSLATION IN X	-1.2 ± 3.2 MM
20	2.BRAE	-5.9	0.5	17.6	TRANSLATION IN Y	0.7 ± 3.2 MM
31	3.GPS	-1.9	-1.8	5.4	TRANSLATION IN Z	12.5 ± 3.2 MM
40	4.ERGI	8.0	-0.5	-11.6	ROTATION AROUND X	-0.08 ± 0.33 "
50	5.OEMS	3.5	2.7	13.4	ROTATION AROUND Y	0.30 ± 0.39 "
61	6.GPS	-1.9	3.3	9.0	ROTATION AROUND Z	0.02 ± 0.24 "
70	7.TURT	0.5	-0.6	-12.2	SCALE FACTOR	+0.27 ± 1.14 MM/KM
80	8.SUST	1.3	-0.3	-3.9		
RMS PER COORD		4.4	2.2	13.1		

Tabelle 6.6-8: Vergleich der 1989er L1-Lösung mit der 1992er L1-Lösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_89_WM				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0351	588821.4018	4590124.8374
20	2.BRAE	4373504.9182	590748.5318	4591508.3747
31	3.GPS	4373208.2460	593076.6581	4591518.4359
40	4.ERGI	4375515.1977	593027.4679	4588794.9075
50	5.OEMS	4376895.6703	590962.6395	4588103.0129
61	6.GPS	4377340.6877	587795.3883	4588206.3612
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6856	587437.0475	4589094.5284
90	9.EMSH	4378713.0546	590398.9146	4587675.8947

Tabelle 6.6-9: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1989 (L1_89_WM); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.7 Auswertungen 1990

6.7.1 Übersicht

Am 23. März 1990 wurden auf der Teststrecke Thun gemeinsame Messungen mit zwei Rogue SNR-8 des norwegischen "Statens Kartverk", zwei Trimble 4000SLD der L+T, einem Trimble 4000ST der Firma Elektron AG und einem WM-102 der ETHZ durchgeführt (*Thun-90.1*). Wegen verschiedenen Problemen mit den Rogue-Empfängern, deren Ursachen zum Teil nicht geklärt werden konnten (Transport?), und stark beschränkter Einsatzzeit konnte nur ein reduzierter Datensatz erhoben werden. Trotzdem wurde versucht, mit dem Programm ANTEST der L+T über die ganze Session gemittelte relative Antennenoffsets für alle eingesetzten Antennen individuell zu bestimmen. Die relativen Exzentrizitäten derselben Antennentypen (Rogue SNR-8 und Trimble 4000SLD) sind in allen Komponenten kleiner als 1 mm, ausser die L1-Höhenkomponente beim Rogue (3.6 mm).

RECEIVER TYPE ANTENNA TYPE	ANTENNA S/N	FREQ	PHASE CENTER ECCENTR (M)		
			NORTH	EAST	UP
Rogue SNR-8	106	L1	0.0018	0.0013	0.0151
		L2	-0.0003	-0.0011	0.0366
Rogue SNR-8	107	L1	0.0027	0.0012	0.0115
		L2	-0.0003	-0.0017	0.0374
Trimble 4000SLD	103	L1	-0.0006	-0.0034	-0.0004
		L2	-0.0040	-0.0023	-0.0004
Trimble 4000SLD	138	L1	0.0000	-0.0030	-0.0004
		L2	-0.0039	-0.0018	0.0005
Trimble 4000ST	187	L1	0.0042	0.0008	0.1090
WM-102	128	-	-	-	-
		L1	-0.0023	-0.0015	0.0198
		L2	0.0046	-0.0023	0.0188

Tabelle 6.7-1: Verwendete Antennenexzentrizitäten (*Thun-90.1*)

Am 24. März 1990 wurden mit den zwei Rogue SNR-8 und zwei Trimble 4000SLD die beiden Talpunkte Turtmann und Susten besetzt. Diese Messungen wurden 1994 nicht neu ausgewertet. Im Kap.6.7.2 sind die Resultate der Auswertung der L+T vom Februar 1991 mit der Berner GPS Software Version 3.2 diskutiert.

Am 29. Mai 1990 wurden wiederum vorgängig der Turtmann-Kampagne vier Ashtech LD-XII und zwei Trimble 4000SLD auf der Teststrecke Thun eingesetzt (*Thun-90.2*). Zwischen 11:30h und 17:30h wurden zwei Sessionen à 3 Stunden gemessen. Die Auswertungen haben einige Probleme bei den L2-Messungen der Ashtech-Geräte der damaligen Version aufgezeigt. Dennoch wurden auch mit diesen Daten versucht, relative Exzentrizitäten zwischen den Ashtech-Antennen sowie gegenüber der Trimble-Antennen zu bestimmen:

RECEIVER TYPE ANTENNA TYPE	ANTENNA S/N	FREQ	PHASE CENTER ECCENTR (M)		
			NORTH	EAST	UP
Trimble 4000SLD	103	L1	-0.0006	-0.0038	0.0016
		L2	-0.0043	-0.0027	0.0011
Trimble 4000SLD	107	L1	0.0002	-0.0019	-0.0019
		L2	-0.0035	-0.0010	-0.0011
Ashtech LD-XII (IPG)	528	L1	-0.0026	-0.0006	0.0356
		L2	-0.0119	-0.0050	0.0363
Ashtech LD-XII (IPG)	529	L1	-0.0032	-0.0024	0.0364
		L2	-0.0127	-0.0047	0.0394
Ashtech LD-XII (IGN)	542	L1	-0.0048	-0.0008	0.0357
		L2	-0.0133	-0.0060	0.0204
Ashtech LD-XII (IGN)	547	L1	-0.0034	-0.0005	0.0349
		L2	-0.0114	-0.0028	0.0169

Tabelle 6.7-2: Verwendete Antennenexzentrizitäten (Thun-90.2)

Vom 30. Mai bis zum 1. Juni 1990 wurden mit den vier Ashtech LD-XII vier Sessionen im Testnetz Turtmann gemessen, wobei alle 8 Stationen 1-8 je mindestens einmal besetzt wurden. Diese Messungen wurden 1994 nicht neu ausgewertet. Im Kap.6.7.3 sind die Resultate der Auswertung mit der Berner GPS Software Version 3.2 zusammengefasst, welche Herr B. Garayt vom IGN Paris anlässlich seines Praktikums an der L+T im Herbst 1991 durchgeführt hat.

6.7.2 Turt-90.1: Rogue SNR-8, Trimble 4000SLD

Die Rogue-Empfänger waren auf den Zentren (7.TURT und 8.SUST) stationiert, die Trimble-Empfänger auf deren Exzentren (7.1 und 8.1). Die beiden Trimble waren mit einem Epochenintervall von 12 Sekunden von 13:17h bis 20:21h durchgehend in Betrieb. Da die Rogues in UTC-Zeit programmiert wurden und somit im Frühling 1990 der GPS-Zeit, wie sie die Trimbles benutzten, um 6 Sekunden voraus waren und andererseits die Speicherkapazität stark beschränkt war, wurde das Messintervall der Rogue-Empfänger auf 18 Sekunden festgelegt. Damit war alle 36 Sekunden eine gemeinsame Epoche (innerhalb einer Sekunde) mit den Trimble-Empfängern vorhanden. Dennoch mussten die Messungen der Rogue-Empfänger in zwei Sessionen unterteilt werden.

Um allfällige Probleme beim Bilden der gemischten 'single differences' zwischen Rogue- und Trimble-Empfängern untersuchen zu können, wurden folgende Basislinien gebildet:

STATION 1/RECEIVER		STATION 2/RECEIVER		SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT	Rogue	8.SUST	Rogue	083	90-03-24 13:17:30	2.5 (508 Ep.)
7.TURT	Rogue	8.SUST	Rogue	083	90-03-24 16:11:48	3.1 (627 Ep.)
7.1	T.4000SLD	8.1	T.4000SLD	083	90-03-24 13:17:12	6.0 (1820 Ep.)
7.TURT	Rogue	7.1	T.4000SLD	083	90-03-24 13:17:48	2.5 (254 Ep.)
7.TURT	Rogue	7.1	T.4000SLD	083	90-03-24 16:11:48	3.1 (314 Ep.)
8.SUST	Rogue	8.1	T.4000SLD	083	90-03-24 13:17:12	2.5 (255 Ep.)
8.SUST	Rogue	8.1	T.4000SLD	083	90-03-24 16:01:36	3.3 (331 Ep.)

Tabelle 6.7-3: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne Turt-90.1: Rogue SNR-8 und Trimble 4000SLD

Die Sessionslänge ist mit etwa zweimal 3 Stunden um die Hälfte grösser als in früheren Jahren. 1990 konnten 9 Satelliten beobachtet werden (siehe Fig.6.7-1), praktisch zu jedem Zeitpunkt waren mindestens 4 Satelliten verwendbar.

CAMPAIGN: TURT-90.1		STATION: 7.1	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE			
REFERENCE EPOCH : 1990-03-24 13:10:36.00		ONE CHARACTER = 6.00 MINUTES	
SVN	FRQ	#OBS	
3	L1	603	*****
3	L2	599	*****
6	L1	709	*****
6	L2	686	*****
9	L1	1228	*****
9	L2	1200	*****
11	L1	953	*****
11	L2	752	*****
12	L1	1711	*****
12	L2	1629	*****
13	L1	1133	*****
13	L2	828	*** *****
16	L1	502	*****
16	L2	491	*****
18	L1	620	*****
18	L2	398	** ***** **
19	L1	1125	*****
19	L2	1111	*****

Figur 6.7-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 24. März, 13:15h - 20:20h UT

Der Figur 6.7-1 kann im weiteren entnommen werden, dass im März 1990 bei der damaligen Firmware-Version beim Trimble 4000SLD noch zeitweise Anfangsschwierigkeiten beim Lock-on auf der Frequenz L2 und damit Datenverluste auftraten.

Das Viereck 7.TURT, 7.1, 8.1, 8.SUST wurde entsprechend den oben definierten Basislinien in verschiedenen Kombinationen ausgewertet (R = Rogue SNR-8, T = Trimble 4000SLD):

RTTR: R 7.TURT - T 7.1 - T 8.1 - R 8.SUST
TTRR: T 7.1 - T 8.1 - R 8.SUST - R 7.TURT
TRRT: T 8.1 - R 8.SUST - R 7.TURT - T 7.1
RRTT: R 8.SUST - R 7.TURT - T 7.1 - T 8.1

Letztere Version wurde in zwei Varianten berechnet, nämlich mit und ohne Berücksichtigung der in Tab. 6.7-1 erwähnten Antennenoffsets.

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.7-4.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionsen	2
Sessionslänge	2.5 resp. 3 Stunden
Satelliten	9
Parameter	4 x 3 Stationskoordinaten
Korrelationen	Correlations correctly modelled
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	Alle Epochen (12 Sek., 18 Sek. oder 36 Sek.)
Beobachtungen	17'820 - 22'941 doppelte Differenzen (s. u.)
Bahnen	Broadcast-Orbits
Troposphäre	Saastamoinen, extrapolierte Meteo-Werte
Ionosphärenmodelle	1 Sessions-Modell

Tabelle 6.7-4: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	Anz. Beob.	RMS (mm)
L12_90_RTTR	L1&L2 Lösung, mit Antennenexz.	17'820	4.3
L12_90_TTRR	L1&L2 Lösung, mit Antennenexz.	22'656	4.5
L12_90_TRRT	L1&L2 Lösung, mit Antennenexz.	15'744	4.7
L12_90_RRTT	L1&L2 Lösung, mit Antennenexz.	22'941	4.5
L12_90_RRTTO	L1&L2 Lösung, ohne Antennenexz.	22'941	4.7

Tabelle 6.7-5: Die verschiedenen Lösungskombinationen der Auswertung von 1991 (*Turt-90.1*)

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM				
NUM		71	81	80
71	B	0.2	0.1	0.2
	L	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.2	0.3
81	B	0.1	0.2	0.2
	L	0.1	0.1	0.1
	H	0.2	0.3	0.3
80	B	0.2	0.2	0.1
	L	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.3	0.2

Tabelle 6.7-6: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Lösung RRTT 1990, mit Berücksichtigung der individuellen, mittleren Antennenexzentrizitäten, Verarbeitung von L1- und L2-Beobachtungen (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

In den Tab.6.7-7 und 6.7-8 vergleichen wir die 1990er L1- und L2-Lösung RRTT (ohne und mit Antennenexzentrizitäten) mit der terrestrischen Lösung. Die Überbestimmung der Transformationsparameter ist offensichtlich wegen der minimalen Anzahl Stationen und der linienförmigen Geometrie der zwei Doppelpunkte minimal. Aus diesem Grund wird die Rotation um die Y-Achse sowie der Massstab nicht freigegeben.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L12_90_RRTT0--> LTPNEW93				
		N	E	U		
70	7.TURT	3.1	-1.1	14.1	TRANSLATION IN X	-301.7 ± 5.2 MM
71	7.1	-3.0	0.6	-14.1	TRANSLATION IN Y	473.4 ± 5.2 MM
80	8.SUST	1.0	-0.8	13.1	TRANSLATION IN Z	638.0 ± 5.2 MM
81	8.1	-1.1	1.2	-13.0	ROTATION AROUND X	-1.18 ± 0.52 "
					ROTATION AROUND Y	
					ROTATION AROUND Z	-0.34 ± 0.52 "
					SCALE FACTOR	

Tabelle 6.7-7: Vergleich der 1990er L1- und L2-Lösung RRTT0 (ohne Antennenexzentrizitäten) mit der terrestrischen Lösung

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L12_90_RRTT --> LTPNEW93				
		N	E	U		
70	7.TURT	1.2	0.2	3.4	TRANSLATION IN X	-300.0 ± 1.1 MM
71	7.1	-1.1	-1.0	-3.4	TRANSLATION IN Y	472.1 ± 1.1 MM
80	8.SUST	-0.1	0.9	1.4	TRANSLATION IN Z	648.4 ± 1.1 MM
81	8.1	0.0	-0.1	-1.4	ROTATION AROUND X	-1.16 ± 0.11 "
					ROTATION AROUND Y	
					ROTATION AROUND Z	-0.36 ± 0.10 "
					SCALE FACTOR	

Tabelle 6.7-8: Vergleich der 1990er L1- und L2-Lösung RRTT (mit Antennenexzentrizitäten) mit der terrestrischen Lösung

Immerhin zeigen die zwei Transformationen, dass die Berücksichtigung der Antennenexzentrizitäten beim Mischen der verschiedenen Antennentypen sowohl in der Lage wie auch in der Höhe eine Verbesserung bringt. Als weiterer Test sollen noch die schiefen Distanzen der Basislinien 7.TURT - 8.SUST resp. 7.1 - 8.1 verglichen werden:

Schiefe Distanz	terrestrisch		GPS	Differenz terr.-GPS
7.TURT - 8.SUST	4154.8117 m	Rogue (ohne Antexz.):	4154.8105 m	1.2 mm
7.TURT - 8.SUST	4154.8117 m	Rogue (mit Antexz.):	4154.8125 m	-0.8 mm
7.1 - 8.1	4179.5586 m	Trimble (ohne Antexz.):	4179.5588 m	-0.2 mm
7.1 - 8.1	4179.5586 m	Trimble (mit Antexz.):	4179.5593 m	-0.7 mm

Tabelle 6.7-9: Vergleich der schiefen Distanzen der 1990er L1- und L2-Lösung RRTT0 resp. RRTT mit der terrestrischen Lösung

6.7.3 Turt-90.2: Ashtech LD-XII - L2

Die vier Ashtech-Empfänger wurden in den vier Sessionen auf je vier Zentren stationiert. Lediglich die Station 9.EMSH wurde nie besetzt. Das Epochenintervall betrug 10 Sekunden, die minimale Satellitenelevation wurde bei den Messungen wie auch bei der Auswertung auf 10° gesetzt. Folgende Basislinien wurden gebildet:

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT LD-XII 525	2.BRAE LD-XII 517	150	90-05-30 08:39:40	6.0 (2162 Ep.)
7.TURT LD-XII 525	4.ERGI LD-XII 518	150	90-05-30 08:39:10	6.0 (2148 Ep.)
7.TURT LD-XII 525	8.SUST LD-XII 522	150	90-05-30 08:39:10	6.0 (2166 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	1.BRUN LD-XII 525	151	90-05-31 08:32:10	2.7 (978 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	3.GPS LD-XII 522	151	90-05-31 08:09:10	3.1 (1114 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	4.ERGI LD-XII 517	151	90-05-31 08:29:20	2.8 (999 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	2.BRAE LD-XII 522	151	90-05-31 11:43:20	2.8 (997 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	5.OEMS LD-XII 517	151	90-05-31 11:49:10	2.7 (970 Ep.)
7.TURT LD-XII 518	8.SUST LD-XII 525	151	90-05-31 11:50:40	2.7 (961 Ep.)
1.BRUN LD-XII 517	3.GPS LD-XII 518	152	90-06-01 08:28:40	5.5 (1986 Ep.)
1.BRUN LD-XII 517	6.GPS LD-XII 522	152	90-06-01 08:28:40	5.5 (1973 Ep.)
6.GPS LD-XII 522	5.OEMS LD-XII 525	152	90-06-01 08:24:10	5.5 (2000 Ep.)

Tabelle 6.7-10: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne Turt-90.2: Ashtech LD-XII - L2

Die Sessionslänge betrug zwischen 2 3/4 Stunden und 6 Stunden, wobei 7 bis 11 Satelliten beobachtet werden konnten. In die Auswertung vom Herbst 1991 wurden nur die L1-Phasenmessungen eingeführt, da mit den L2-Messungen Probleme auftraten und nicht alle Mehrdeutigkeiten gelöst werden konnten. Die in Tab.6.7-2 aufgeführten relativen Antennenexzentrizitäten wurden berücksichtigt. Die allgemeinen Lösungscharakteristiken entnimmt man Tab.6.7-11.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	4
Sessionslänge	2.7 resp. 6 Stunden
Satelliten	7 bis 11
Parameter	7 x 3 Stationskoordinaten
Korrelationen	Correlations correctly modelled
Minimale Elevation	10 Grad
Sampling	Alle Epochen (10 Sek.)
Beobachtungen	69'046 doppelte Differenzen (nur L1)
Bahnen	Broadcast-Orbits
Troposphäre	Saastamoinen, extrapolierte Meteo-Werte
Ionosphärenmodelle	Keine Ionosphärenmodelle eingeführt

Tabelle 6.7-11: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	Anz. Beob.	RMS (mm)
L1_90_ASHT	L1 Lösung, mit Antennenexz., ohne Ionosph.modell, ohne Troposph.modell	69'046	8.7

Tabelle 6.7-12: Die Ashtech-Lösung der Auswertung von 1991 (Turt-90.2)

Der überdurchschnittlich grosse mittlere Fehler der 'single difference L1 observation' (rms, Tab.6.7-12) der reinen L1-Lösung dürfte grösstenteils durch die kurzperiodischen Schwankungen der Ionosphäre während den Tagesmessungen verursacht sein. Im Jahre 1990 befand man sich im Bereich eines Maximums des Sonnenfleckenzyklus' und damit auch der Ionosphärenschwankungen.

Tabelle 6.7-13 zeigt die formalen Fehler a posteriori der Koordinaten und Koordinatendifferenzen.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM								
NUM		20	40	80	10	31	50	61
20	B	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3
	L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	H	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
40	B	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	H	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
80	B	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3
	L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	H	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
10	B	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
	H	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
31	B	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	L	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
	H	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
50	B	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	H	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
61	B	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
	L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	H	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6

Tabelle 6.7-13: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Lösung Ashtech 1990, mit Berücksichtigung der individuellen, mittleren Antennenexzentrizitäten, Verarbeitung von L1-Beobachtungen (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

In der Tab.6.7-14 vergleichen wir die 1990er Ashtech L1-Lösung mit der terrestrischen Lösung LTPNEW93. Die Lage-Residuen betragen bis zu einem Zentimeter und sind somit überdurchschnittlich gross. Dagegen ist die Höhe erstaunlich gut bestimmt. Der Grund für die ausnehmend schlechte Übereinstimmung der Lagekomponenten mit dem 'ground truth' konnte nicht geklärt werden. Hingegen weist bereits der rms-Wert in der Tab.6.7-12 auf eine schlechte interne Übereinstimmung der Lösung hin. Die Drehsinne der Rotationen entsprechen den auch bei den anderen GPS-Kampagnen gegenüber der terrestrischen Vergleichslösung errechneten Werten. Dagegen ist der Skalenfaktor mit -3.9 ppm signifikant negativ. Diese Verkürzung der GPS-Basislinien kann mit der Vernachlässigung des Ionosphäreinflusses (reine L1-Lösung ohne Ionosphärenmodell) bei Tagesmessungen erklärt werden.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		N	E	U		
		L1_90_ASHT --> LTPNEW93				
					TRANSLATION IN X	-2630.1 ± 2.5 MM
					TRANSLATION IN Y	17514.1 ± 2.5 MM
					TRANSLATION IN Z	1137.8 ± 2.5 MM
					ROTATION AROUND X	-0.58 ± 0.25 "
					ROTATION AROUND Y	1.45 ± 0.30 "
					ROTATION AROUND Z	-0.10 ± 0.18 "
					SCALE FACTOR	-3.92 ± 0.89 MM/KM
10	1.BRUN	-4.0	7.0	-4.1		
20	2.BRAE	-7.9	2.8	14.8		
31	3.GPS	0.1	-3.5	-6.4		
40	4.ERGI	1.1	-7.1	3.7		
50	5.OEMS	10.6	-1.4	0.4		
61	6.GPS	9.1	3.5	0.9		
70	7.TURT	-3.5	-4.3	-7.4		
80	8.SUST	-5.5	3.0	-1.9		

Tabelle 6.7-14: Vergleich der 1990er Ashtech L1-Lösung (mit Antennenexzentrizitäten) mit der terrestrischen Lösung

Auf einen Abdruck der Koordinaten wird hier verzichtet, da die bei der Auswertung von 1991 verwendeten Festpunktkoordinaten für 7.TURT nicht den Werten im ITRF der übrigen Lösungen entsprechen (vgl. Translationen in Tab.6.7-14).

6.8 Auswertungen 1991-92

6.8.1 Übersicht

Die 1991er Kampagne war eine Testkampagne für den damals noch sehr neuen Empfänger SR299 der Firma Leica in Heerbrugg. Zusätzlich wurde von Leica die zugehörige SKI Software (Static and Kinematic Software) erprobt. Das Augenmerk lag also in jener 1991er Kampagne nicht auf der höchsten erreichbaren Genauigkeit, sondern auf der neuen Technologie sowie auf der mit GPS erreichbaren Wirtschaftlichkeit. Interessant waren insbesondere die Auswertungen unter Verwendung des 'Fast Ambiguity Resolution Approach (FARA)' [Frei, 1991].

Ende Oktober 1992 wurden anlässlich der Evaluation neuer GPS-Empfänger für das Bundesamt für Landestopographie eine Testkampagne mit folgenden Geräten durchgeführt: SR299, Ashtech LM-XII3 und Trimble 4000SSE. Von den verschiedenen Testkonfigurationen werden hier nur die statischen Messungen vom 28. und 29. Oktober neu ausgewertet.

6.8.2 Turt-91: WILD SR299

Die Auswertung erfolgte ausschliesslich mit der firmeneigenen Software SKI durch die Firma Leica Heerbrugg AG.

6.8.3 Turt-92: Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE und WILD SR299

Am 28. und 29. Oktober 1992 wurde das gesamte Turtmann-Netz (ohne den Punkt 9.EMSH) mit GPS eingemessen, wobei drei Empfängertypen (SR299, Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE) zum Einsatz kamen. Gemessen wurde in zwei Sessionen, je von etwa 13 bis 16 Uhr UT. Tabelle 6.8-1 gibt Auskunft über die Messanordnung, Tab.6.8-2 über die als bekannt in die Auswertung eingeführten Exzentrizitäten.

Für die 1992er Kampagne wurde auf der Teststrecke Thun ein Antennentest durchgeführt. Die Resultate sind in der Tab.6.8-3 zusammengefasst.

STATION 1/RECEIVER	STATION 2/RECEIVER	SES	FIRST OBSERV.TIME	SES.LENGTH (H)
7.TURT SR299	6.GPS SR299	921	92-10-28 13:09:45	3
7.TURT SR299	3.GPS SR299	921	92-10-28 13:09:45	3
7.TURT SR299	5.OEMS SR299	921	92-10-28 13:10:15	3
7.1 Trimble	2.BRAE Trimble	921	92-10-28 13:09:30	3
7.1 Trimble	8.SUST Trimble	921	92-10-28 13:10:15	3
7.2 Ashtech	1.BRUN Ashtech	921	92-10-28 13:11:45	3
7.2 Ashtech	4.ERGI Ashtech	921	92-10-28 13:20:15	3
7.TURT SR299	2.BRAE SR299	922	92-10-29 13:07:30	3
7.TURT SR299	1.BRUN SR299	922	92-10-29 13:02:30	3
7.TURT SR299	4.ERGI SR299	922	92-10-29 13:08:30	3
7.1 Ashtech	3.GPS Ashtech	922	92-10-29 13:10:15	3
7.1 Ashtech	8.SUST Ashtech	922	92-10-29 12:56:45	3
7.2 Trimble	6.GPS Trimble	922	92-10-29 13:08:30	2.5
7.2 Trimble	5.OEMS Trimble	922	92-10-29 13:08:30	3

Tabelle 6.8-1: Messanordnung und Bildung der 'single differences' bei der Kampagne Turt-92

NUM	STATION NAME	CENTER NAME	NORTH (M)	EAST (M)	UP (M)
71	7.1	7.TURT	-6.0065	9.8617	0.0004
72	7.2	7.TURT	-8.0539	-10.4957	0.0047

Tabelle 6.8-2: Verwendete Exzentrizitäten in Turtmann

RECEIVER TYPE	ANTENNA S/N	FREQ	PHASE CENTER ECCENTR (M)		
ANTENNA TYPE			NORTH	EAST	UP
SR299	100069	L1	0.0001	0.0005	0.2802
		L2	0.0010	0.0006	0.2822
SR299	100145	L1	0.0002	-0.0002	0.2729
		L2	-0.0003	0.0000	0.2745
SR299	100167	L1	0.0001	-0.0001	0.2795
		L2	-0.0002	-0.0007	0.2810
SR299	100191	L1	-0.0005	-0.0002	0.2795
		L2	-0.0004	0.0001	0.2800
TRIMBLE 4000SSE	46738	L1	0.0014	-0.0026	0.0691
		L2	-0.0025	-0.0047	0.0580
TRIMBLE 4000SSE	48356	L1	0.0015	-0.0032	0.0695
		L2	-0.0028	-0.0046	0.0583
TRIMBLE 4000SSE	63915	L1	0.0057	0.0005	0.0874
		L2	0.0038	-0.0060	0.0702
TRIMBLE 4000SSE	64738	L1	0.0014	-0.0026	0.0691
		L2	-0.0025	-0.0047	0.0580
LM-XI13 ASHTECH P	202	L1	0.0015	-0.0017	0.0619
		L2	-0.0034	-0.0016	0.0604
LM-XI13 ASHTECH P	203	L1	0.0018	-0.0008	0.0679
		L2	-0.0034	-0.0021	0.0657
LM-XI13 ASHTECH P	205	L1	0.0022	-0.0017	0.0692
		L2	-0.0035	-0.0009	0.0667

Tabelle 6.8-3: Verwendete Antennenexzentrizitäten

Es konnte also an beiden Tagen das ganze Turtmann-Netz besetzt werden. Leica hatte 4 Empfänger, Ashtech und Trimble je 3 im Einsatz. Beim Punkt 7.TURT waren an beiden Tagen 3 Empfänger stationiert. Es wurde darauf geachtet, dass jeder Empfängertyp möglichst viele Punkte des Netzes erfasste. So konnten die SR299 alle Punkte mit Ausnahme von 8.SUST, die Trimbles und Ashtechs jedoch nur 4 resp. 3 verschiedene Punkte relativ zu Turtmann vermessen. Die 1992er Lösung wird also im wesentlichen von der SR299-Lösung getragen.

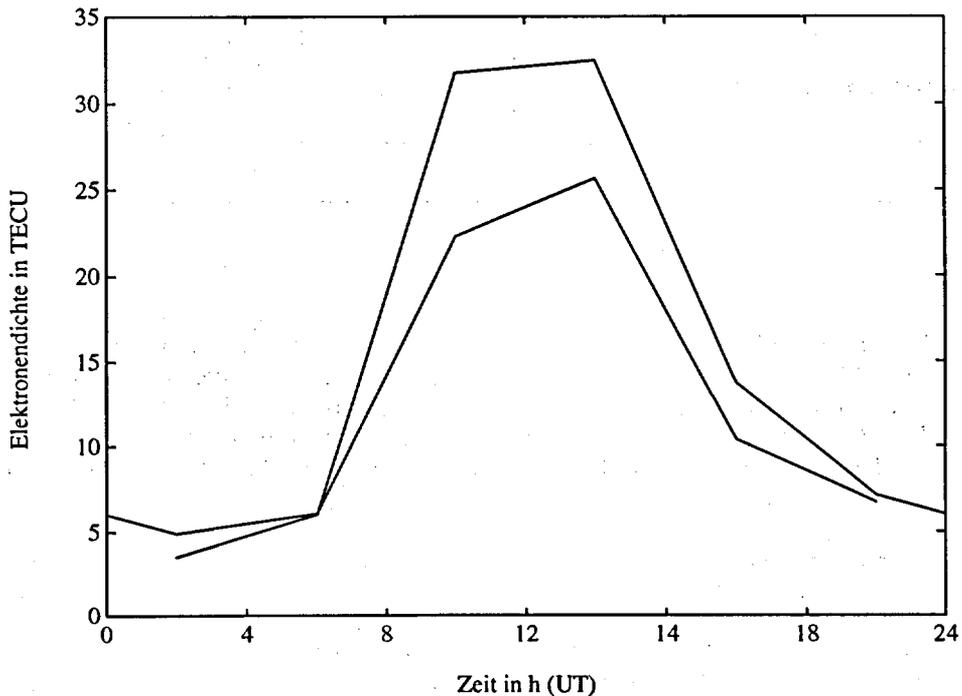
Der Tab.6.8-1 entnimmt man im übrigen, dass keine "gemischten" Basislinien (mit Empfängern verschiedener Firmen an den Endpunkten) gebildet wurden.

Figur 6.8-1 gibt eine Übersicht über die während den beiden Sessions zur Verfügung stehenden Satelliten. Es konnten insgesamt 8 Satelliten genutzt werden, wobei während etwa 75% der Zeit 5 oder 6, während etwa 25% der Zeit jedoch nur 3 Satelliten simultan sichtbar waren.

CAMPAIGN: TURT-92		STATION: 7.1	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE			
REFERENCE EPOCH : 1992-10-28 13:09:30.00		ONE CHARACTER = 3.00 MINUTES	
SVN FRQ #OBS			
13 L1	647	*****	
14 L1	676	*****	
15 L1	196	*****	
18 L1	683	*****	
19 L1	328	*****	
24 L1	358	*****	
25 L1	159	*****	
27 L1	90	*****	

Figur 6.8-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 28. Oktober, 13-16 h UT

Auch 1992 fällt die Ionosphäre negativ ins Gewicht. Figur 6.8-2 zeigt, dass der vertikale Elektroneninhalt über Mittag mit 25 bis 35 TECU zwar die Werte von 1989 nicht mehr ganz erreichte, dass aber wie 1989 eine Auswertung von L1-Beobachtungen ohne ein Ionosphärenmodell sinnlos wäre. Zudem wurde 1992 ausgerechnet in den Nachmittagsstunden, also während des täglichen Ionosphären-Maximums, gemessen! Neu war im übrigen, dass 1992 die Station Zimmerwald permanent (also während 24 Stunden) besetzt war. Die Auswertung von *Turt-92* konnte davon insofern profitieren, als Ionosphärenmodelle (jeweils) für den ganzen Tag gerechnet werden konnten.



Figur 6.8-2: Elektronendichte in TECU geschätzt mit Hilfe des Zimmerwalder Permanentempfängers (dargestellt als Funktion der Tageszeit (UT) für die Tage 302 und 303, 1992)

Schliesslich bleibt zu erwähnen, dass zur Auswertung der 1992er Kampagne erstmals die GPS-Bahnen des CODE-Rechenzentrums verwendet werden konnten. Dieser Umstand, der auch für die Kampagne *Turt-93* zutrifft, wird in Kap.6.9.3 gezielt betrachtet. Hier sei lediglich vermerkt, dass die Qualität der Broadcast-Bahnen in Kap.6.9.3 als "unbedeutende" Fehlerquelle bei den Auswertungen (sämtlicher) *Turt*-Kampagnen erkannt wurde.

Die allgemeinen Lösungscharakteristiken sind in Tab.6.8.4 zusammengestellt, eine Übersicht über die Lösungen findet man in Tab.6.8-5. Bei der Troposphärenmodellierung wurde lediglich das höhenabhängige Modell, Ansatz (6.1-2), mit einem Parameter (lineare Funktion) eingesetzt. Dieses Vorgehen werden wir im nächsten Kapitel mit dem sehr viel reichhaltigeren Material der Kampagne *Turt-93* a posteriori rechtfertigen.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	2
Sessionslänge	3 Stunden
Satelliten	8
Parameter	7 x 3 Stationskoordinaten, 2 x 1 Parameter des Modells (6.1-2)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	3'900 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	2 4-Stunden-Modelle von Zimmerwald

Tabelle 6.8-4: Generelle Lösungscharakteristiken

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_92_SR+	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	6.8
L3_92_SR+	L3-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	3.6

Tabelle 6.8-5: Die 1992er Lösungen (*Turt-92*)

Der grosse mittlere Fehler der 'single difference L1 observation' (rms, Tab.6.8-5) der L1-Lösung von 6.8 mm ist verursacht durch die kurzperiodischen Schwankungen der Ionosphäre im Jahre 1992: Wird nämlich die Ionosphäre in der L3-Lösung eliminiert, fällt der auf die 'single difference L1 observation' bezogene Gewichtseinheits-Fehler von 6.8 auf 3.6 mm.

Tabelle 6.8-6 zeigt die formalen Fehler a posteriori der Koordinaten und Koordinatendifferenzen. Vergleicht man diese Tabelle mit der Tab.6.6-6, stellt man fest, dass die 1992er Lösung etwas stärker ist als die von 1989. Setzt man wiederum den Faktor von etwa 4 zwischen der formalen und der äusseren Genauigkeit an, erwarten wir eine äussere Genauigkeit von etwa 2 mm in der Lage und 5 mm in der Höhe.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM									
NUM		20	80	10	40	70	61	31	50
20	B	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
	L	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
	H	1.8	1.8	1.3	1.2	1.8	1.3	1.2	1.3
80	B	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
	L	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
	H	1.8	0.9	1.3	1.4	0.9	1.8	1.8	1.7
10	B	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5
	L	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4
	H	1.3	1.3	1.1	1.0	1.1	1.5	1.5	1.4
40	B	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6
	L	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4
	H	1.2	1.4	1.0	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
70	B	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4
	L	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3
	H	1.8	0.9	1.1	1.3	0.0	1.7	1.8	1.6
61	B	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4
	L	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3
	H	1.3	1.8	1.5	1.4	1.7	1.7	1.1	1.0
31	B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5
	L	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4
	H	1.2	1.8	1.5	1.4	1.8	1.1	1.8	1.1
50	B	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4
	L	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
	H	1.3	1.7	1.4	1.4	1.6	1.0	1.1	1.6

Tabelle 6.8-6: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Gesamtlösung 1992, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, höhenabhängiges Modell (mit 1 Parameter pro Tag) für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

6.8.3.1 L1- und L3-Lösungen im Vergleich

Tabelle 6.8-7 zeigt einen reinen Konsistenztest der 1992er Lösungen. Verglichen wird die Gesamtlösung L1 mit der Gesamtlösung L3. Es ist positiv zu vermerken, dass kein signifikanter Skalenfaktor zwischen der L1- und der L3-Lösung besteht. Die Konsistenz der Lösungen kann in der horizontalen Lage als gut beurteilt werden. Die Inkonsistenzen in der Höhe dürfen nicht mit der Troposphäre erklärt werden, da sich diese in allen Wellenlängen gleich äussern muss. Trotzdem sind die Inkonsistenzen eindeutig durch leicht verschiedene Werte für die Troposphärenmodelle in den L1- resp. L3-Lösungen verursacht. Dies deutet darauf hin, dass durch die Troposphärenparameter ein Antennenkalibrations-Problem erfasst wird. Wir werden darauf in Kap.6.9-2 zurückkommen.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS		
		L1_92_SR+ --> L3_92_SR+					
		N	E	U			
10	1.BRUN	1.7	-1.2	2.5	TRANSLATION IN X	-1 ± 1	MM
20	2.BRAE	-0.9	1.0	6.8	TRANSLATION IN Y	0 ± 1	MM
31	3.GPS	-0.4	0.6	0.2	TRANSLATION IN Z	12 ± 1	MM
40	4.ERGI	1.2	0.4	-1.2	ROTATION AROUND X	-0.00 ± 0.15	"
50	5.OEMS	-1.5	0.8	7.3	ROTATION AROUND Y	0.15 ± 0.18	"
61	6.GPS	0.1	0.1	1.1	ROTATION AROUND Z	0.01 ± 0.11	"
70	7.TURT	0.2	0.7	-11.7	SCALE FACTOR	+0.20 ± 0.52	MM/KM
80	8.SUST	-0.3	-2.5	-5.0			
RMS PER COORD		1.0	1.2	6.2			

Tabelle 6.8-7: Transformation der 1992er L1- auf die 1992er L3-Lösung

Schliesslich vergleichen wir die 1992er L1-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung LTPNEW93 (Tab.6.8-8). Dieser Vergleich fällt nicht ganz wie erhofft aus. Andererseits haben wir aufgrund der Tab.6.8-6 oben auch nur einen mittleren Fehler von etwa 2 mm in der Lage vorausgesagt. Der Vollständigkeit halber geben wir auch hier die Schlusslösung L1_92_SR+ in Tab.6.8-9 an.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS		
		L1_92_SR+ --> LTPNEW93					
		N	E	U			
10	1.BRUN	-0.3	2.7	10.5	TRANSLATION IN X	63.9 ± 1.5	MM
20	2.BRAE	-2.5	0.4	-1.4	TRANSLATION IN Y	286.1 ± 1.5	MM
31	3.GPS	0.3	-1.6	-4.5	TRANSLATION IN Z	658.8 ± 1.5	MM
40	4.ERGI	-1.4	0.1	7.9	ROTATION AROUND X	-0.68 ± 0.16	"
50	5.OEMS	0.3	-1.0	-5.0	ROTATION AROUND Y	0.18 ± 0.19	"
61	6.GPS	2.8	-3.6	-0.1	ROTATION AROUND Z	-0.30 ± 0.11	"
70	7.TURT	1.2	-1.1	-1.8	SCALE FACTOR	-0.97 ± 0.55	MM/KM
80	8.SUST	-0.5	4.3	-5.6			
RMS PER COORD		1.6	2.5	6.0			

Tabelle 6.8-8: Vergleich der 1992er L1-Lösung mit der terrestrischen Vergleichslösung

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_92_SR+				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1.BRUN	4374499.0348	588821.3995	4590124.8426
20	2.BRAE	4373504.8902	590748.5287	4591508.3554
31	3.GPS	4373208.2301	593076.6537	4591518.4235
40	4.ERGI	4375515.2034	593027.4683	4588794.9044
50	5.OEMS	4376895.6555	590962.6410	4588102.9958
61	6.GPS	4377340.6710	587795.3910	4588206.3499
70	7.TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8.SUST	4375288.6798	587437.0481	4589094.5210

Tabelle 6.8-9: ITRF Koordinaten der Schlusslösung 1992 (L1_92_SR+); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.9 Auswertungen 1993

6.9.1 Übersicht

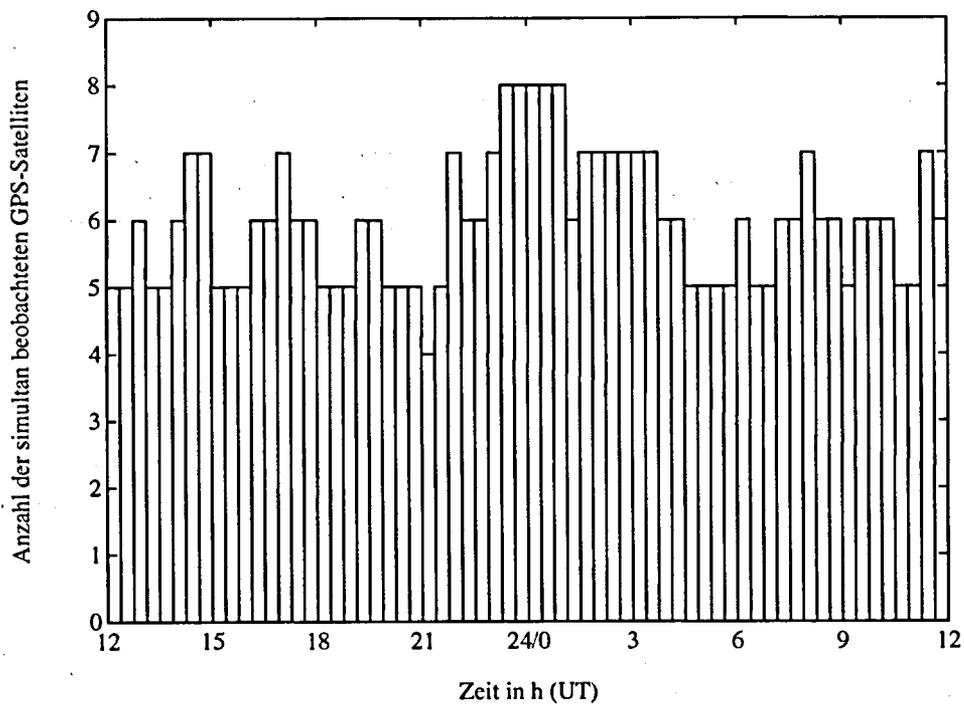
Es wurde auf allen Punkten permanent während vier Tagen (27. September, 12 h bis 1. Oktober, 12 h UT) gemessen. Eine Ausnahme bildet der Empfänger auf der Station 5.OEMS, der wegen falscher Programmierung erst am zweiten Tag zu messen begann. Die Meteo-Messungen werden in unsere Auswertungen aus den in Kap.6.1.7 erwähnten Gründen nicht einfließen.

Wie schon 1992 standen auch in diesem Jahr die Resultate des International GPS Service for Geodynamics zur Verfügung. Es konnten also die IGS-Bahnen verwendet werden und es konnten Ionosphärenmodelle, basierend auf dem IGS-Permanentempfänger in Zimmerwald, verwendet werden. Der Bahnaspekt wird in Kap.6.9.3, der Ionosphärenaspekt in Kap.6.9.4 diskutiert.

Die Graphiken 6.9-1 und 6.9-2 geben einen Eindruck vom Beobachtungsszenario und von der geometrischen Stärke der heutigen Satellitenkonfiguration. Mit einer einzigen Ausnahme stehen gleichzeitig 5 oder mehr Satelliten zur Verfügung, Konfigurationen mit 7 Satelliten sind keine Seltenheit! Der Unterschied von der Testkonfiguration zum operationellen Zustand ist in der Tat bemerkenswert.

CAMPAIGN: TURT-93		STATION: 7.TURT	
TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCES			
REFERENCE EPOCH : 1993-09-27 12:00:30.00		ONE CHARACTER - 22.50 MINUTES	
SVN	#OBS		
1	803	***	*****
2	682	*	*****
3	629		*****
5	712		*****
7	798	*****	*****
9	673		*****
12	700		*****
13	814	*****	*****
14	718	*****	**
15	685	*****	*****
16	574	*****	
17	588		*****
18	678	*****	
19	600	*****	
20	710		*****
21	672	***	*****
22	611		*****
23	747	*****	*****
24	784	*****	*****
25	703	*****	*****
26	649	*****	
27	630	*****	
28	662		*****
29	635	*****	
31	642	***	*****

Figur 6.9-1: Beobachtete Satelliten von Turtmann aus gesehen, 27. September, 12 h bis 28. September, 12 h UT, 1993



6.9.2 Turt-93: Trimble 4000SSE (Permanentbetrieb)

Die generellen Lösungscharakteristiken sind in Tab.6.9-2 zusammengefasst. Es wurde entweder das stationsspezifische oder das höhenabhängige Modell zur Erfassung der Troposphäre verwendet (beide wurden in Kap.6.1.2 diskutiert). Wir werden hier insbesondere untersuchen, ob ein höhenabhängiges Modell nach Ansatz (6.1-2) sinnvoll ist.

Charakteristikum	Anzahl
Sessionen	4
Sessionslänge	24 Stunden (Permanentbetrieb)
Satelliten	23
Parameter	8 x 3 Stationskoordinaten, 4 x 2 Parameter des Modells (6.1-2) oder 4 x 8 troposphärische Zenitkorrekturen pro Tag (1 Troposphärenparameter-Satz pro 6 Stunden)
Minimale Elevation	15 Grad
Sampling	1 Epoche pro Minute
Beobachtungen	45'200 doppelte Differenzen pro Session
Ionosphärenmodelle	24 4-Stunden-Modelle von Zimmerwald

Tabelle 6.9-2: Generelle Lösungscharakteristiken

Eine Übersicht über die Lösungen gibt Tab.6.9-3. Als wesentliches Charakteristikum ist der mittlere Gewichtseinheits-Fehler (rms) der (auf die L1-Beobachtung umgerechneten) Einfachdifferenzen-Phasenbeobachtung ('single difference phase observation') angegeben. "L3" steht in dieser Tabelle (wie in der Berner Software üblich) für die ionosphärenfreie Linearkombination. Für die L3-Serie wurden die Ionosphärenmodelle nicht verwendet. Dass der mittlere Fehler in L3 (umgerechnet auf die L1-Observable) wesentlich kleiner ist als in L1 und L2 liegt eindeutig an den durch die Ionosphärenmodelle nicht erfassten kurzperiodischen Schwankungen der Ionosphäre.

Bezeichnung	Beschreibung	RMS (mm)
L1_93_TR	L1-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	5.0
L2_93_TR	L2-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	5.9
L3_93_TR	L3-Gesamtlösung, Troposphärenmodell (6.1-2)	3.4
L1_93_ST	L1-Gesamtlösung, stat.-spez. Trop.-parameter	5.0
L1_931ST	L1-Lösung, erster Tag	5.3
L1_932ST	L1-Lösung, zweiter Tag	4.7
L1_933ST	L1-Lösung, dritter Tag	4.3
L1_934ST	L1-Lösung, vierter Tag	4.6
L2_93_ST	L2-Gesamtlösung, stat.-spez. Trop.-parameter	5.7
L2_931ST	L2-Lösung, erster Tag	6.2
L2_932ST	L2-Lösung, zweiter Tag	5.4
L2_933ST	L2-Lösung, dritter Tag	5.0
L2_934ST	L2-Lösung, vierter Tag	5.8
L3_93_ST	L3-Gesamtlösung, stat.-spez. Trop.-parameter	3.4
L3_931ST	L3-Lösung, erster Tag	3.4
L3_932ST	L3-Lösung, zweiter Tag	3.4
L3_933ST	L3-Lösung, dritter Tag	3.5
L3_934ST	L3-Lösung, vierter Tag	3.1

Tabelle 6.9-3: Die 1993er Lösungen (Turt-93)

Eine wichtige Konsequenz der Einführung von Troposphärenparametern besteht in der Verlängerung des Fehlerellipsoids in Richtung der Höhe. Während man bei bekannter troposphärischer Refraktion mit Achsenverhältnissen von ungefähr $a : b : c = 3 : 1.4 : 1$ rechnet (a: Höhe, b: Nord-Süd, c: Ost-West), siehe z.B. [Santerre et al., 1990], wirkt sich bei uns die Korrelation der Troposphärenparameter mit der Höhe voll aus. Die Tab.6.9-4 (Teil des Programm-Outputs der Gesamtlösung 1993 unter Verwendung des stationsspezifischen Meteo-Modells, L1-Auswertung) zeigt, dass die Höhen rund acht- bis zehnmal schlechter als die horizontalen Komponenten bestimmt sind. Die mittleren Fehler selber mögen nicht besonders zuverlässig sein (sie sind vielleicht drei- bis viermal zu optimistisch, siehe unten), den Verhältnissen der Fehler ist aber unbedingt zu trauen.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	61	20	10	90	40	31	80	50
70	B	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.0	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
61	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
20	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
10	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
90	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
40	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
31	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
80	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
50	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabelle 6.9-4: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Gesamtlösung 1993, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, stationsspezifisches Modell für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

6.9.2.1 Vergleich der L1-, L2- und L3-Gesamtlösungen mit stationsspezifischen Meteo-Schätzungen

Tabelle 6.9-5 zeigt die Resultate der 7-Parameter-Helmert-Transformationen samt Residuen zwischen den L1-, L2- und L3-Gesamtlösungen (sämtliche Kombinationen). Nur die L1- und L2-Messungen sind im mathematischen Sinne unabhängig; physikalisch sind sie jedoch auch korreliert. Dieser erste Konsistenztest verspricht einiges. Es beruhigt, dass zwischen den einzelnen Lösungen kein signifikanter Massstabsunterschied besteht. Offensichtlich haben die Ionosphärenmodelle zuverlässig gearbeitet. Auch die übrigen Parameter der Helmert-Transformation weichen nicht signifikant von Null ab. Man stellt fest, dass die horizontalen Komponenten wesentlich besser übereinstimmen als die Höhen. Dies entspricht dem Fehlerverhalten in Tab.6.9-5. Bemerkenswert ist, dass die L1- und L2-Koordinaten in Nord-Süd- und in Ost-West-Richtung im Millimeter übereinstimmen (mittlerer Fehler von 0.6 mm). Dass das Verhältnis Höhe zu horizontaler Lage hier sogar etwas günstiger ist als nach Tab.6.9-4 zu erwarten, liegt daran, dass gerade die durch die Troposphäre verursachten Effekte sich in L1, L2 und L3 genau gleich äussern.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS								
		L1 --> L2			L1 --> L3			L2 --> L3		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
10	1.BRUN	0.4	-0.4	0.2	-0.5	0.7	-0.4	-0.9	1.1	-0.6
20	2.BRAE	0.4	0.6	-3.8	-0.1	-1.1	6.2	-0.5	-1.7	0.1
31	3.GPS	0.5	-0.1	4.5	-0.9	0.2	-7.7	-1.4	0.3	-12.2
40	4.ERGI	-0.3	0.3	1.3	0.6	-0.2	-0.6	0.9	-0.5	-11.9
50	5.OEMS	-0.1	0.7	-1.7	0.1	-1.2	2.2	0.2	-1.9	3.8
61	6.GPS	1.0	0.6	4.7	-1.4	-0.9	-6.6	-2.4	-1.5	-11.4
70	7.TURT	-0.5	-0.6	-2.5	0.8	0.9	3.6	1.3	1.5	6.2
80	8.SUST	-1.2	-0.6	-0.5	1.8	0.8	0.7	3.0	1.4	1.2
90	9.EMSH	0.0	-0.5	-2.2	-0.3	0.8	2.6	-0.3	1.4	4.8
RMS PER COORD		0.6	0.6	3.0	1.0	0.9	4.6	1.6	1.4	7.9
RMS PER COORD		2.0			3.0			5.0		
TRANSLATION IN X		-1	± 1	MM	0	± 1	MM	1	± 2	MM
TRANSLATION IN Y		0	± 1	MM	0	± 1	MM	0	± 2	MM
TRANSLATION IN Z		3	± 1	MM	8	± 1	MM	5	± 2	MM
ROTATION AROUND X		-0.11	± 0.07	"	0.16	± 0.11	"	0.28	± 0.18	"
ROTATION AROUND Y		0.15	± 0.07	"	-0.28	± 0.10	"	-0.43	± 0.17	"
ROTATION AROUND Z		-0.03	± 0.05	"	0.03	± 0.07	"	0.06	± 0.12	"
SCALE FACTOR		0.01	± 0.23	PPM	-0.05	± 0.34	PPM	-0.06	± 0.57	PPM

Tabelle 6.9-5: Helmert-Transformation zwischen den Gesamtlösungen 1993 in L1, L2 und L3 (Lösungen Li_93_ST, i = 1,2,3)

Einen weiteren Eindruck von der Konsistenz der L1-Lösung gibt die Tab.6.9-6, wo die Residuen einer reinen Translation der vier Tageslösungen L1_931ST, L1_932ST, L1_933ST, L1_934ST gegen die Gesamtlösung L1_93_ST gegeben sind. Wieder erhält man den (richtigen) Eindruck, dass die horizontalen Positionen schon durch die L1-Tageslösungen praktisch millimetergenau (Wiederholbarkeit oder 'repeatability') wiedergegeben werden. Die Höhen sind in den Tageslösungen auf etwa 3 bis 6 mm konsistent. Man darf also annehmen, dass in der Gesamtlösung L1 die horizontalen Komponenten des Netzes einen mittleren Fehler von unter einem Millimeter, die Höhen höchstens einen Fehler von 2 bis 3 mm aufweisen werden.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS					
		L1_931ST --> L1_93_ST			L1_933ST --> L1_93_ST		
		N	E	U	N	E	U
10	1.BRUN	-0.6	-0.3	1.0	0.3	-0.1	-3.9
20	2.BRAE	0.2	-0.4	-4.0	-0.1	-1.1	1.9
31	3.GPS	-0.4	-1.1	-3.4	0.7	-0.3	1.4
40	4.ERGI	0.0	-0.8	1.2	1.1	-0.4	1.9
50	5.OEMS	---	---	---	0.1	0.4	-1.1
61	6.GPS	0.7	1.4	-0.4	-0.8	0.1	-2.9
70	7.TURT	0.5	0.4	2.0	0.7	-0.3	0.7
80	8.SUST	-0.3	0.7	2.1	-0.1	0.4	-6.4
90	9.EMSH	0.0	-0.1	1.5	-2.0	1.3	8.2
RMS PER COORD		0.4	0.8	2.4	0.9	0.7	4.2
		L1_932ST --> L1_93_ST			L1_934ST --> L1_93_ST		
		N	E	U	N	E	U
		10	1.BRUN	-0.4	-1.0	0.3	0.6
20	2.BRAE	-0.1	0.6	-4.7	0.0	0.9	6.4
31	3.GPS	-0.7	0.9	2.5	0.4	0.6	-0.5
40	4.ERGI	1.5	0.6	4.2	-2.6	0.6	-7.7
50	5.OEMS	-0.2	1.0	-1.5	0.2	-1.2	2.3
61	6.GPS	-0.4	-0.5	-3.2	0.3	-1.0	6.3
70	7.TURT	0.8	-0.3	3.2	-1.9	0.1	-5.8
80	8.SUST	-0.3	-0.7	-1.7	0.7	-0.4	6.1
90	9.EMSH	-0.3	-0.7	0.9	2.2	-0.6	-10.0
RMS PER COORD		0.7	0.8	3.0	1.4	0.8	6.4

Tabelle 6.9-6: Vergleich der L1-Tageslösungen mit der L1-Gesamtlösung mittels einer reinen Translation

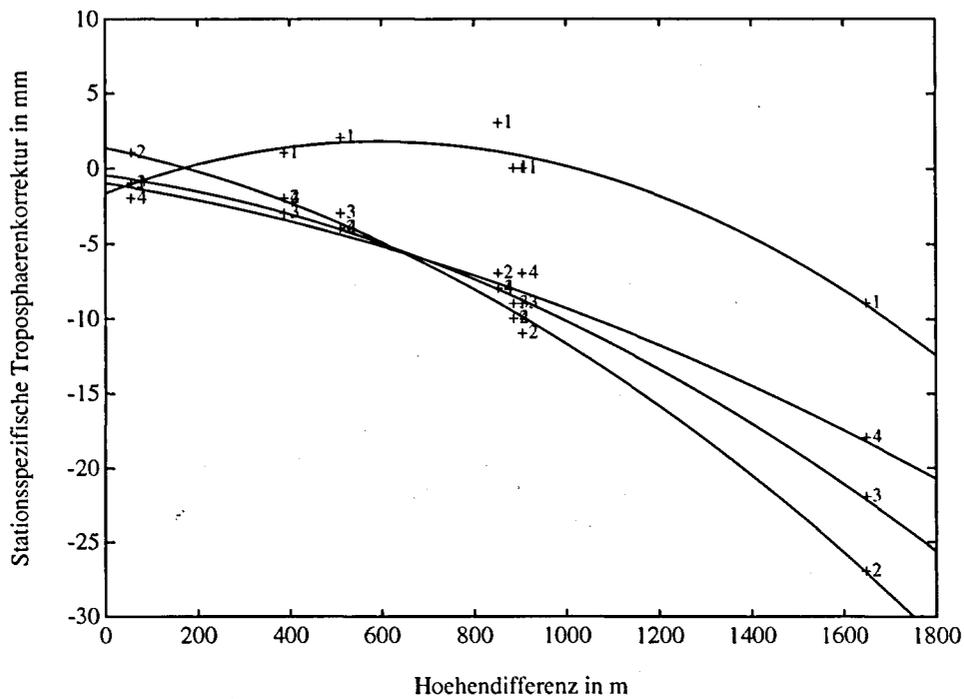
6.9.2.2 Innere und äussere Genauigkeit

Die innere Genauigkeit der L1-Lösung ist durch die Tab.6.9-4 gegeben. Natürlich sind diese Genauigkeiten (0.1 mm in der Lage) zu optimistisch. Nimmt man die Residuen in der Lage der Transformation der L1- auf die L2-Lösung als Mass für die äussere Genauigkeit (Tab.6.9-5), nimmt man weiterhin an, dass die L1- und L2-Messungen unabhängig und gleich genau sind (in der Annahme, die physikalischen Korrelationen würden sich vor allem in der Höhe äussern), kommt man zum Resultat, dass die äussere Genauigkeit etwa viermal geringer ist, als nach Tab.6.9-4 zu erwarten. Dieser Wert wird empfohlen für die Vergleiche resp. Kombinationen von GPS-Resultaten mit terrestrischen Messungen, wir haben ihn in den vorausgegangenen Kapiteln oft gebraucht.

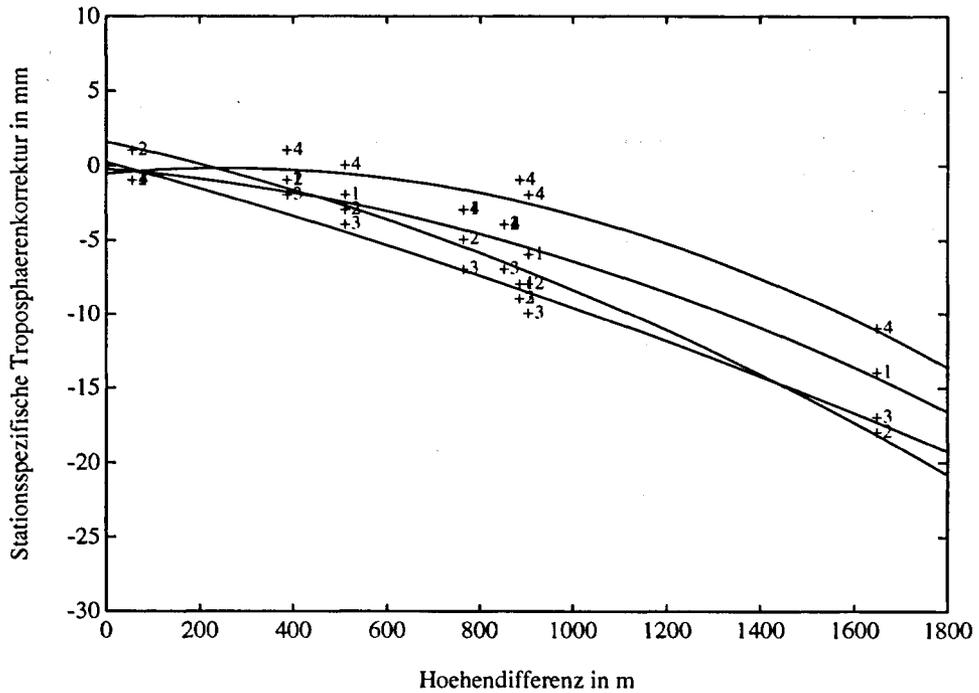
6.9.2.3 Analyse der Lösungen mit stationsspezifischen Zenitkorrektur-Schätzungen

Tabelle 6.9-4 zeigt, dass beim Einschluss von stationsspezifischen troposphärischen Parametern die Höhen tatsächlich wesentlich weniger genau geschätzt werden können als die horizontalen Komponenten der Basislinien. Es stellt sich die Frage, ob wir durch eine Reduktion des Freiheitsgrades bei der Verwendung des Modells 6.1-2 eine Verbesserung dieser Situation erreichen können. Dazu müssen wir die Frage zu beantworten versuchen, ob die fundamentale Annahme "keine horizontalen Gradienten in der troposphärischen Refraktion" erfüllt ist. Die Fig.6.9-3a bis 6.9-3d geben eine klare Antwort: In jeder Figur sind die Schätzwerte für die vier Teilintervalle des Tages (1: 12-18 h, 2: 18-24 h, 3: 0-6 h,

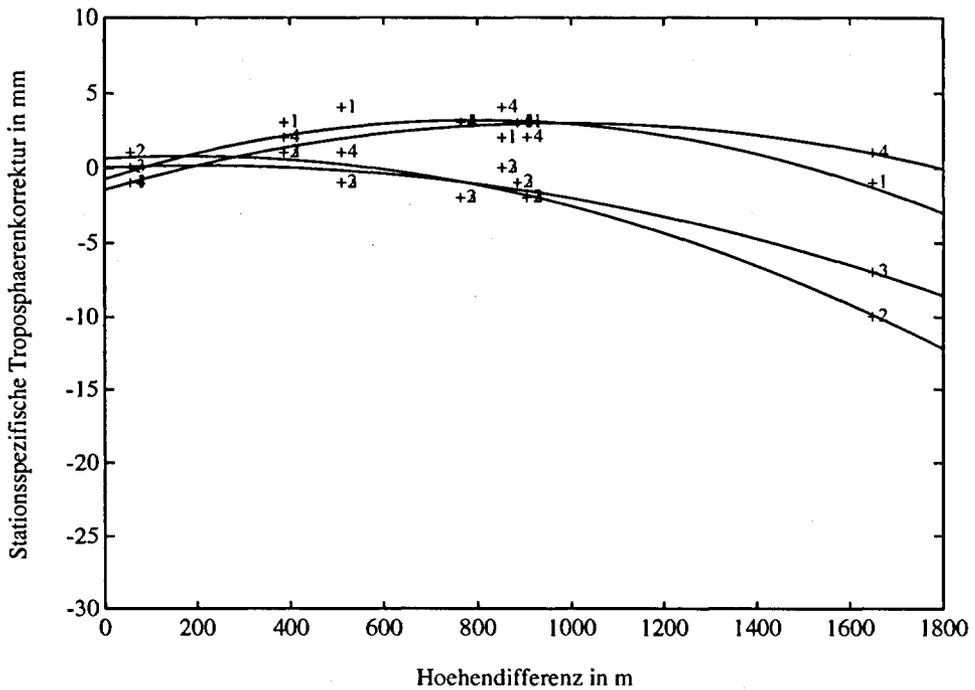
4: 6-12 h) als Funktion der Höhendifferenz zu Turtmann aufgetragen (es wurde die L1-Lösung verwendet). Zugleich ist das bestmögliche Polynom durch die (jeweils 8) Datenpunkte eingezeichnet worden. Berücksichtigt man, dass die mittleren Fehler der troposphärischen Korrekturen etwa 1 mm betragen (nicht eingezeichnet), darf man behaupten, dass die Annahme eines rein höhenabhängigen Verlaufs der Refraktivität in allen 16 Fällen gerechtfertigt ist. Würde man den Punkt 9.EMSH weglassen, wäre sogar ein Polynom ersten Grades ausreichend; wird dieser einbezogen, ist ein Polynom zweiten Grades nötig. Dieses Resultat ist wichtig, gibt es uns doch nachträglich die Legitimation in den Kampagnen der früheren Jahre mit dem Modell (6.1-2) zu arbeiten.



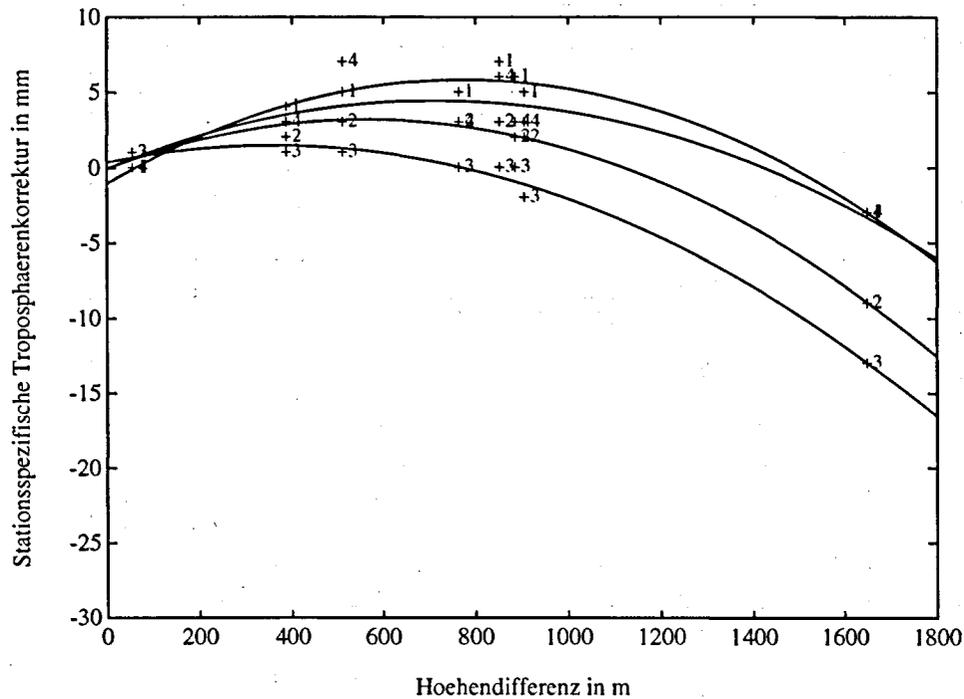
Figur 6.9-3a: Stationsspezifische Troposphärenparameter (27. September, 12 h bis 28. September, 12 h UT) als Funktion der Höhendifferenz zu Turtmann; Teilintervalle:
 1: 12-18 h, 2: 18-24 h (27. September),
 3: 0-6 h, 4: 6-12 h (28. September)



Figur 6.9-3b: Stationsspezifische Troposphärenparameter (28. September, 12 h bis 29. September, 12 h UT) als Funktion der Höhendifferenz zu Turtmann; Teilintervalle:
 1: 12-18 h, 2: 18-24 h (28. September),
 3: 0- 6 h, 4: 6-12 h (29. September)



Figur 6.9-3c: Stationsspezifische Troposphärenparameter (29. September, 12 h bis 30. September, 12 h UT) als Funktion der Höhendifferenz zu Turtmann; Teilintervalle:
 1: 12- 18 h, 2: 18-24 h (29. September),
 3: 0- 6 h, 4: 6-12 h (30. September)



Figur 6.9-3d: Stationspezifische Troposphärenparameter (30. September, 12 h bis 1. Oktober, 12 h UT) als Funktion der Höhendifferenz zu Turtmann; Teilintervalle:
 1: 12- 18 h, 2: 18-24 h (30. September),
 3: 0- 6 h, 4: 6-12 h (1. Oktober)

6.9.2.4 Analyse der Lösungen mit höhenabhängigem Troposphärenmodell

Tabelle 6.9-3 zeigt, dass vom mittleren Gewichtseinheits-Fehler her gesehen kein grosser Unterschied zu den entsprechenden Lösungen mit stationspezifischen Troposphärenparameter-Schätzungen besteht. Aus dem Vergleich der Tab.6.9-4 und 6.9-7 folgt, dass die Reduktion des Freiheitsgrades Wirkung gezeigt hat: die mittleren Fehler in der Höhe sind generell kleiner als im Falle der stationspezifischen Modellierung. Zudem sind deutliche Unterschiede in den Höhenfehlern verschiedener Stationen festzustellen: Diese sind deutlich von der Höhendifferenz der Basislinie abhängig. So beträgt der mittlere Fehler in der Höhe bei der Basislinie 3.JEIZ - 2.BRAE (Nummern 31, 20) mit einer Höhendifferenz von etwa 20 m nur 0.1 mm, während bei 8.SUST - 9.EMSH (Nummern 80, 90) mit einer Höhendifferenz von etwa 1600 m schon 0.4 mm ausgewiesen werden.

RMS ERRORS OF ELLIPSOIDAL COORDINATES AND COORDINATE DIFFERENCES IN MM										
NUM		70	61	20	10	90	40	31	80	50
70	B	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.0	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	0.3
61	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2
20	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.1	0.3	0.2
10	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2
90	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
40	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2
31	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2
80	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3
50	B	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	H	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3

Tabelle 6.9-7: Mittlere Fehler der Koordinaten und Koordinatendifferenzen, Gesamtlösung 1993, Verarbeitung von L1-Beobachtungen, höhenabhängiges Modell (mit 2 Parametern) für die Troposphäre (B = Breite, L = Länge, H = Höhe)

Diese verbesserte Konsistenz in den Höhen deutet sich auch im Vergleich der L1- und L2-Lösungen in Tab.6.9-8 an: während die Lage vom Troposphärenmodell praktisch unabhängig ist (vgl. Tab.6.9-5 und 6.9-8), ist eine deutliche Verbesserung in der Höhe zu vermerken (mittlerer Fehler von 2.0 mm anstatt 3.0 mm). Eine ähnlich deutliche Verbesserung beim Übergang von der stationsspezifischen zur höhenabhängigen Troposphärenmodellierung sieht man auch in der Wiederholbarkeit der Tageslösungen (hier nicht dokumentiert). Das angesprochene Antennenkalibrations-Problem ist natürlich auch hier zu beachten. Da wir aber jetzt nicht pro Station (bis auf eine) einen Parameter pro 6 Stunden bestimmen, sondern nur deren zwei pro 6 Stunden, können Kalibrationseffekte der einzelnen Antennen (fast) nicht mehr durch die verbleibenden Troposphärenparameter absorbiert werden.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS		
		L1_93_TR --> L2_93_TR					
		N	E	U			
10	1.BRUN	0.7	-0.4	2.3	TRANSLATION IN X	-1 ± 0	MM
20	2.BRAE	0.0	0.5	0.1	TRANSLATION IN Y	1 ± 0	MM
31	3.GPS	0.5	0.1	-2.1	TRANSLATION IN Z	2 ± 0	MM
40	4.ERGI	-0.3	0.5	3.0	ROTATION AROUND X	-0.06 ± 0.05	"
50	5.OEMS	-0.5	0.9	1.9	ROTATION AROUND Y	0.12 ± 0.05	"
61	6.GPS	0.9	0.3	-0.1	ROTATION AROUND Z	-0.03 ± 0.03	"
70	7.TURT	0.2	-0.4	-1.9	SCALE FACTOR	0.37 ± 0.16	MM/KM
80	8.SUST	-0.5	-0.7	-0.6			
90	9.EMSH	-1.1	-0.8	-2.5			
RMS PER COORD		0.6	0.6	2.0			

Tabelle 6.9-8: Helmert-Transformation zwischen den Gesamtlösungen 1993 in L1 und L2 bei Verwendung des höhenabhängigen Troposphärenmodells

Vergleicht man die Resultate mit höhenabhängiger Troposphärenmodellierung (Lösungen Li_{93_TR} , $i = 1,2,3$) mit jenen unter Verwendung von stationsspezifischen Troposphärenmodellen (Lösungen Li_{93_ST} , $i = 1,2,3$) (Tab.6.9-9), erhält man (wie erwartet) eine sehr gute Übereinstimmung in der Lage, eine etwas schlechtere in der Höhe der L1-Lösung. Vollständig unakzeptabel scheint auf den ersten Blick die "schlechte" Konsistenz der Höhen in der L3-Lösung. Eine eingehende Untersuchung hat gezeigt, dass diese eindeutig durch die L2-Phasenobservablen verursacht werden. Es scheint, dass in L2 bedeutende, von Empfänger zu Empfänger verschiedene, elevationsabhängige Phasenzentrums-Variationen auftreten. Diese werden in der hier gezeigten Auswertung zum Teil von den Troposphärenparametern (welche ja mit $1/\cos(z)$, $z =$ Zenitdistanz, in die Messungen eingehen) absorbiert, was wiederum eine Verfälschung der Stationshöhe zur Folge hat. Man wird versuchen, diesen Effekt durch eine zenitdistanzabhängige Antennenkalibration zu erfassen.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS					
		L1_93_TR --> L1_93_ST			L3_93_TR --> L3_93_ST		
		N	E	U	N	E	U
10	1.BRUN	0.0	0.0	1.1	0.0	0.1	4.1
20	2.BRAE	0.0	0.0	-0.5	-0.2	-0.2	7.4
31	3.GPS	0.0	0.1	-0.4	0.1	-0.1	-9.5
40	4.ERGI	0.0	-0.1	0.8	-0.1	0.0	2.1
50	5.OEMS	0.0	0.0	-1.2	-0.1	0.0	2.3
61	6.GPS	-0.2	0.1	1.7	0.2	-0.2	-5.2
70	7.TURT	0.1	0.0	0.7	0.0	0.3	0.8
80	8.SUST	0.2	-0.2	-1.7	0.2	0.4	-3.0
90	9.EMSH	-0.1	0.1	-0.5	-0.1	-0.4	1.0
RMS PER COORD		0.1	0.1	1.1	0.2	0.2	5.1

TRANSFORMATION PARAMETERS						
TRANSLATION IN X	0	± 0	MM	0	± 1	MM
TRANSLATION IN Y	0	± 0	MM	0	± 1	MM
TRANSLATION IN Z	0	± 0	MM	-1	± 1	MM
ROTATION AROUND X	-0.02	± 0.03	"	0.09	± 0.11	"
ROTATION AROUND Y	-0.04	± 0.03	"	0.01	± 0.11	"
ROTATION AROUND Z	0.00	± 0.02	"	0.00	± 0.08	"
SCALE FACTOR	0.01	± 0.08	MM/KM	-0.01	± 0.37	MM/KM

Tabelle 6.9-9: Helmert-Transformation zwischen den L1-Lösungen L1_93_TR und L1_93_ST (links) resp. den L3-Lösungen L3_93_TR und L3_93_ST (rechts)

6.9.2.5 Vergleich mit den terrestrischen Koordinaten

In der Überzeugung, dass die mittleren Koordinatenfehler der L1-GPS-Lösungen 1993 Werte von einem Millimeter in der Lage und von drei Millimetern in der Höhe nicht übersteigen, wagen wir einen Vergleich mit den vom Bundesamt für Landestopographie in den Jahren 1985 bis 1986 erarbeiteten terrestrischen Vergleichswerten. Tabelle 6.9-10 enthält das Resultat, wobei der Punkt 9.EMSH (keine genauen terrestrischen Vergleichswerte verfügbar) weggelassen werden musste. Als GPS-Lösung wurde L1_93_TR herangezogen.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L1_93_TR	--> LTPNEW93		TRANSLATION IN X	
		N	E	U	TRANSLATION IN Y	
					TRANSLATION IN Z	
10	1.BRUN	-1.0	2.7	2.2	ROTATION AROUND X	
20	2.BRAE	-2.5	1.6	4.5	ROTATION AROUND Y	
31	3.GPS	-0.9	-1.8	-2.4	ROTATION AROUND Z	
40	4.ERGI	-1.7	-1.0	4.8	SCALE FACTOR	
50	5.OEMS	2.1	-2.6	-0.2		
61	6.GPS	3.9	-2.5	0.3		
70	7.TURT	1.0	-0.1	-6.6		
80	8.SUST	-0.8	3.8	-2.6		
RMS PER COORD		2.1	2.4	3.9		

Tabelle 6.9-10: Helmert-Transformation zwischen L1_93_TR und der terrestrischen Lösung

Das Resultat ist ernüchternd: Alle GPS-Konsistenzprüfungen liessen eine Genauigkeit in der horizontalen Lage unter dem Millimeter erwarten, in L1 war in der Höhe eine Genauigkeit von 2 bis 3 mm angesagt. Bei einem mittleren Transformationsfehler von etwa 2 mm in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung würde dies (falls die GPS-Resultate die erwartete Genauigkeit aufweisen) einen mittleren Fehler von über 2 mm in der Lage sowie von etwa 4 mm in der Höhe der terrestrischen Lösung bedeuten. Nach [Geiger et al., 1992] sind Fehler dieser Grösse im terrestrischen Netz nicht zu erwarten.

Man sollte aber nicht vergessen, dass die Terrameter-Messungen (sie sorgen für die hohe innere Genauigkeit der terrestrischen Vergleichslösung) schon 1986 durchgeführt wurden. Zwischen unserer GPS-Kampagne und der terrestrischen Vergleichslösung liegen somit 7 Jahre. Es ist denkbar, dass sich einige Punkte seit 1986 verschoben haben. Nach [Geiger et al., 1992] liegen die Turtmann-Punkte (a) im Helvetikum (1.BRUN, 2.BRAE), (b) im Aarmassiv (3.JEIZ), (c) im Penninikum (4.ERGI, 5.OEMS,

6.AGAR) sowie (d) im Sediment (7.TURT, 8.SUST). Sucht man in Tab.6.9-14 nach Kandidaten für eine Bewegung, kämen allenfalls die Punkte im Penninikum, also 4.ERGI, 5.OEMS und 6.AGAR in Frage. Mindestens 5.OEMS und 6.AGAR weisen grosse Residuen auf.

Lässt man diese Punkte bei der Helmert-Transformation weg, werden die restlichen Punkte tatsächlich bedeutend besser dargestellt. Man sollte aber nicht vergessen, dass die Überbestimmung bei nur noch 5 Punkten nicht mehr gross ist (15 Koordinaten und 7 Parameter (!)), und dass das Restnetz wesentlich "schrumpft". Es gibt also Indizien, aber keinen Beweis für eine Bewegung.

In Tab.6.9-11 werden die 1992er und 1993er L1-Lösungen miteinander verglichen. Da in beiden Jahren das Referenzsystem nominal das gleiche war (realisiert durch die Koordinaten des Fixpunktes Turtmann und durch die IGS-Bahnen des CODE-Rechenzentrums), wurde hier lediglich eine 4-Parameter-Helmert-Transformation durchgeführt (3 Translationen und ein Skalenfaktor). Der Skalenfaktor wurde eingeführt, da noch ein kleiner Restfehler durch die Ionosphäre befürchtet wurde. Dass dieser im Rahmen des mittleren Fehlers mit der Nullhypothese (Skalenfaktor gleich Null) verträglich ist, entnimmt man der Tab.6.9-11. Im übrigen darf man von einer ausgezeichneten Übereinstimmung der GPS-Resultate der Jahre 1992 und 1993 sprechen. Alle Residuen sind in der Lage kleiner als 2 mm, was ziemlich genau den Erwartungen der 1992er Kampagne entspricht (siehe Tab.6.8-5, Annahme eines Faktors 4 für die effektive Genauigkeit).

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS			TRANSFORMATION PARAMETERS	
		L1_93_TR	--> L1_92_SR+			
		N	E	U		
10	1.BRUN	-0.4	-0.2	-7.9	TRANSLATION IN X	0.1 ± 1.1 MM
20	2.BRAE	-0.4	1.0	7.6	TRANSLATION IN Y	-1.4 ± 1.1 MM
31	3.GPS	-1.8	-0.4	4.2	TRANSLATION IN Z	4.2 ± 1.1 MM
40	4.ERGI	-0.7	-1.0	-3.5	SCALE FACTOR	-0.36 ± 0.41 MM/KM
50	5.OEMS	1.6	-1.3	3.2		
61	6.GPS	1.2	1.4	-1.6		
70	7.TURT	0.0	1.0	-4.4		
80	8.SUST	0.4	-0.5	2.5		
RMS PER COORD		1.1	1.0	5.2		

Tabelle 6.9-11: Helmert-Transformation der 1993er auf die 1992er L1-Lösung

Tabelle 6.9-12 enthält die ITRF-Koordinaten der von uns als Schlusslösung 1993 gewählten Lösung L1_93_TR.

ITRF-Koordinaten (System ITRF 92, Epoche 1995.0): L1_93_TR				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	1. BRUN	4374499.0325	588821.4013	4590124.8396
20	2. BRAE	4373504.8990	590748.5301	4591508.3631
31	3. GPS	4373208.2375	593076.6555	4591518.4277
40	4. ERGI	4375515.2038	593027.4698	4588794.9048
50	5. OEMS	4376895.6584	590962.6440	4588103.0029
61	6. GPS	4377340.6710	587795.3920	4588206.3532
70	7. TURT	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025
80	8. SUST	4375288.6837	587437.0516	4589094.5264
90	9. EMSH	4378713.0251	590398.9180	4587675.8901

Tabelle 6.9-12: ITRF-Koordinaten der Schlusslösung 1993 (L1_93_TR); der Punkt Turtmann wurde festgehalten auf der in Tab.6.1-3 beschriebenen Positionierung relativ zu Zimmerwald

6.9.3 Nebenbetrachtung 1: Die Bahnqualität

Der Aspekt "Bahnqualität" war eigentlich für alle Kampagnen von Bedeutung. Da nur für die Kampagnen *Turt-92* und *Turt-93* genauere als Broadcast-Bahnen zur Verfügung standen, wird dieser Aspekt erst hier diskutiert. Wir werden uns auf die Kampagne *Turt-93* konzentrieren und zeigen, dass die Bahnqualität unsere Turtmann-Resultate der früheren Jahren kaum beeinträchtigt hat.

Verwendet wurden die Bahnen des Internationalen GPS-Dienstes für Geodynamik [Beutler und Brockmann, 1993b], genauer die Bahnen des CODE-Rechenzentrums von IGS. Wie in Kap.6.1 erwähnt, wurden zur Auswertung der 1993er Kampagne die Files COD07161.EPH, COD07162.EPH, COD07163.EPH, COD07164.EPH, sowie COD07165.EPH herangezogen. Tabelle 6.9-13 enthält die Übersicht über die CODE-Bahn-Information [Rothacher et al., 1993a] für den Zeitraum der Kampagne (CODE-Report für die GPS-Woche 716). Wir sehen, dass die Bahnqualität im allgemeinen gut ist (die Wiederholbarkeit liegt im Bereich von Dezimetern), dass aber der Satellit 24 am Tag 270 (27. September 1993) in seiner Bahn verschoben wurde, und somit an diesem Tag für genaue Positionierungen nicht verwendet werden sollte (und unten auch nicht verwendet wurde). Zudem wurde der damals neueste Satellit (PRN 5) vom Rechenzentrum CODE erst vom Tag 270 (des Jahres 1993) an in die Bahnbestimmung einbezogen, weshalb er vorsichtshalber in der Auswertung der 1993er Turtmann-Kampagne noch nicht verwendet wurde.

CODE ANALYSIS REPORT GPS WEEK 0716 (DAYS 269-275, DATES 26-09-93 - 02-10-93)																									

Submitted by: Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland																									
FILES SENT TO CDDIS:																									
COD07167.SUM		THIS TEXT FILE																							
COD07167.ERP		EARTH ROTATION PARAMETERS FOR GPS WEEK 0715																							
COD0716N.EPH		GPS EPHEMERIDES FOR GPS WEEK 0715, SP3 FORMAT (N=0..6)																							
THREE DAY SOLUTION STATISTICS:																									
MIDDLE DAY	FILES	OBSERVATIONS	PARAMETERS	RMS (MM)																					
269	115	122516	4726	4.1																					
270	120	121346	4662	3.8																					
271	118	130242	4725	3.8																					
272	119	132501	4854	3.8																					
273	117	132622	4809	3.8																					
274	119	128448	4847	3.8																					
275	114	131387	4770	3.7																					
ORBIT REPEATABILITY (CM) FOR PRN: (>X = VALUE > X METERS)																									
01 02 03 05 07 09 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 31																									
269	39	29	12	>>	35	29	19	18	26	18	26	16	36	22	38	34	31	13	7	26	32	19	33	34	35
270	38	28	14	0	31	27	18	17	22	13	27	17	33	21	31	32	33	11	>>	21	33	21	32	31	34
271	36	30	14	32	37	26	14	18	20	12	26	16	35	20	29	31	35	14	16	21	31	19	30	32	35
272	35	29	14	47	36	26	15	15	23	15	23	11	40	21	32	27	30	12	16	22	33	18	28	36	31
273	40	31	11	39	37	26	16	9	24	15	25	11	42	22	31	27	27	17	12	24	39	20	33	39	37
274	39	31	12	44	40	24	16	0	23	17	26	14	40	24	28	28	33	15	14	26	38	22	33	39	38
275	34	29	17	50	37	29	19	0	22	24	26	17	46	28	31	28	33	17	18	29	34	25	36	42	38
STATION SUMMARY:																									
GRAZ MADR* METS TROM* DRAO KOKB* RCM2* YELL* TIDB* PAMA USUD JOZE TOTAL																									
HERS MASP NYAL WETT* FAIR* PIET STJO KOUR HOB1 YARI* ZIMM																									
KOSG* MATE ONSA* ALGO* GOLD* QUIN WES2 SANT MCMU TAIW HART																									
269	XXX	XXX	XXX	XXX	X-X	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	X	32/34										
270	XXX	XXX	XXX	XXX	X-X	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	X	32/34										
271	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	X	33/34										
272	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	XXX	XXX	-XX	XX-	X	31/34											
273	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	X	33/34											
274	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	XX-	-XX	XXX	X	31/34												
275	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	-XX	XXX	XXX	-XX	XXX	-	31/34												
REMARKS: - Satellite PRN 24: Manoeuvre on Day 270 (26-SEP-1993)																									
(PRN 24 not included in precise orbit file)																									
- AS: Days 269,270																									
- Starting day 271 satellite PRN 05 has been included into processing																									

Tabelle 6.9-13: Information des "IGS Processing Centers CODE" zu den Bahnen für die 1993er Turtmann-Kampagne (Woche 716)

Damit dürfen wir behaupten, dass bei der Auswertung der 1993er Kampagne durch die IGS-Bahnen keine nennenswerten Fehler in die Resultate eingeführt werden. Nach [Bauersima, 1982] ist nämlich der durch einen Bahnfehler dr in eine Basislinie der Länge l (in km) eingeführte Fehler db gemäss

$$db = dr (l/26000) \quad (6.9-1)$$

zu berechnen. Nimmt man einen mittleren Bahnfehler von $dr = 20$ cm an, wären demnach im Turtmann-Netz mit Basislinienlängen von etwa 5 km Fehler der Ordnung $db = 0.004$ cm zu erwarten, was gegenüber den anderen Fehlerquellen vernachlässigbar ist.

Es stellt sich die Frage, ob unsere 1993er Resultate bei Verwendung der Broadcast-Bahnen wesentlich verfälscht worden wären. Sie ist von Bedeutung, da vor 1992 ausschliesslich die Broadcast-Bahnen verfügbar waren. Die Tab.6.9-14 und 6.9-15 geben Auskunft zu diesem Thema.

Tagesfile	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	RX (mas)	RY (mas)	RZ (mas)	SCALE (ppm)	RMS (m)
28.10.92	-0.006	-0.040	0.678	0.5	1.2	-28.7	0.0019	4.57
29.10.92	0.040	0.020	0.718	0.2	-1.4	-32.3	-0.0036	4.53
27.09.93/28.09.93	1.135	-0.441	-0.841	-6.1	13.2	17.5	-0.0312	9.37
28.09.93/29.09.93	1.220	0.233	-0.558	-8.8	15.5	17.0	-0.0321	8.30
29.09.93/30.09.93	0.786	-0.056	-0.002	-6.0	12.5	12.2	-0.0337	7.74
30.09.93/01.10.93	0.893	0.284	-0.042	-10.2	11.5	10.9	-0.0370	8.36

Tabelle 6.9-14: Parameter und mittlere Fehler der Satellitenpositionen der 7-Parameter-Helmert-Transformation zwischen den CODE- und den Broadcast-Bahnen ($1 \text{ mas} \hat{=} 1/1000''$)

Zur Tab.6.9-14: Mit sämtlichen während der 1993er Turtmann-Kampagne in Zimmerwald empfangenen Broadcast-Bahnen wurden mit der Berner Software (Programm DEFSTD) für jeden Tag (24 Stunden, jeweils von Mittag an) sogenannte 'standard orbits' erzeugt. Es sind dies Lösungen der Bewegungsgleichungen, welche (in diesem Falle) die Broadcast-Bahnen bestmöglich im mittelquadratischen Sinne approximieren. Die 'standard orbits' wurden ins Format der IGS-Bahnen transformiert (Programm STDPRE), um schliesslich mittels einer 7-Parameter-Helmert-Transformation mit den genauen IGS-Bahnen verglichen zu werden. Der Vollständigkeit halber wurden in der Tab.6.9-2 auch die CODE-Bahnen zur Zeit der Kampagne *Turt-92* eingeschlossen. Beachtet man, dass 1 mas ($1/1000''$) etwa 12 cm in der Satellitenposition entspricht, darf man festhalten, dass für das Turtmann-Netz keine nennenswerten Systematiken bei Verwendung von Broadcast- anstelle von IGS-Bahnen zu befürchten sind. Hingegen sind die Broadcast-Bahnen statistisch gesehen deutlich schlechter als die IGS-Bahnen - der Transformationsfehler von etwa 8 m 1993 und 5 m 1992 geht voll zu Lasten der Broadcast-Bahnen. Nach der "Zauberformel" (6.9-1) wären also durch Broadcast-Bahnen (bei Basislinien von 5 km) Fehler der Grössenordnung 1.5 mm im Turtmann-Netz zu erwarten (bei Basislinien von etwa 5 km Länge).

In Tab.6.9-15 werden zwei Gesamtlösungen der 1993er Kampagne verglichen, wobei die eine mit den Broadcast-, die andere mit den IGS-Bahnen gerechnet wurde (alle übrigen Optionen waren identisch). Wir sehen, dass die Fehler tatsächlich etwas kleiner sind als nach der Zauberformel (6.9-1) zu erwarten. Wenn wir annehmen, dass die Qualität der Broadcast-Bahnen in früheren Jahren vergleichbar war mit der von 1992 und 1993, dürfen wir die Bahnqualität als Fehlerquelle praktisch ausschliessen. Es sei betont, dass diese Aussage nur für kleine Netze richtig ist.

NUM	NAME	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
		IGS --> Broadcast		
		N	E	U
10	1.BRUN	0.0	0.0	-0.5
20	2.BRAE	-0.2	0.0	-0.3
31	3.GPS	-0.3	0.0	0.2
40	4.ERGI	0.0	0.0	0.7
50	5.OEMS	0.0	0.0	0.2
61	6.GPS	0.3	0.0	-0.5
70	7.TURT	-0.2	0.0	0.2
80	8.SUST	0.1	0.0	-0.6
90	9.EMSH	0.3	0.0	0.5
RMS PER COORD		0.2	0.0	0.5

Tabelle 6.9-15: 3-Parameter-Helmert-Transformation zwischen zwei vollständigen Lösungen der 1993er Kampagne, wobei einmal die Broadcast-, einmal die IGS-Bahnen des Rechenzentrums CODE verwendet wurden

Zu erwähnen bleibt, dass die hier nicht ausgewiesenen Translationsparameter alle gleich Null waren. Interessant ist, dass die Ost-West-Richtung von den Bahnfehlern nicht beeinflusst wird. Dieses Resultat ist plausibel: Zieht man nämlich in Betracht, dass (1) die 'along-track' Fehler (Fehler in der Bewegungsrichtung) der Broadcast-Bahnen gegenüber den anderen Fehlern (radial und normal zur Bahnebene) dominieren, und dass (2) die Bewegung der Satelliten in unseren Breiten immer noch vorwiegend in Nord-Süd-Richtung verläuft (im Mittel stimmt diese Aussage fast exakt), wird man nach [Beutler et al., 1988b] Verdrehungen um die Ost-West-Achse erwarten!

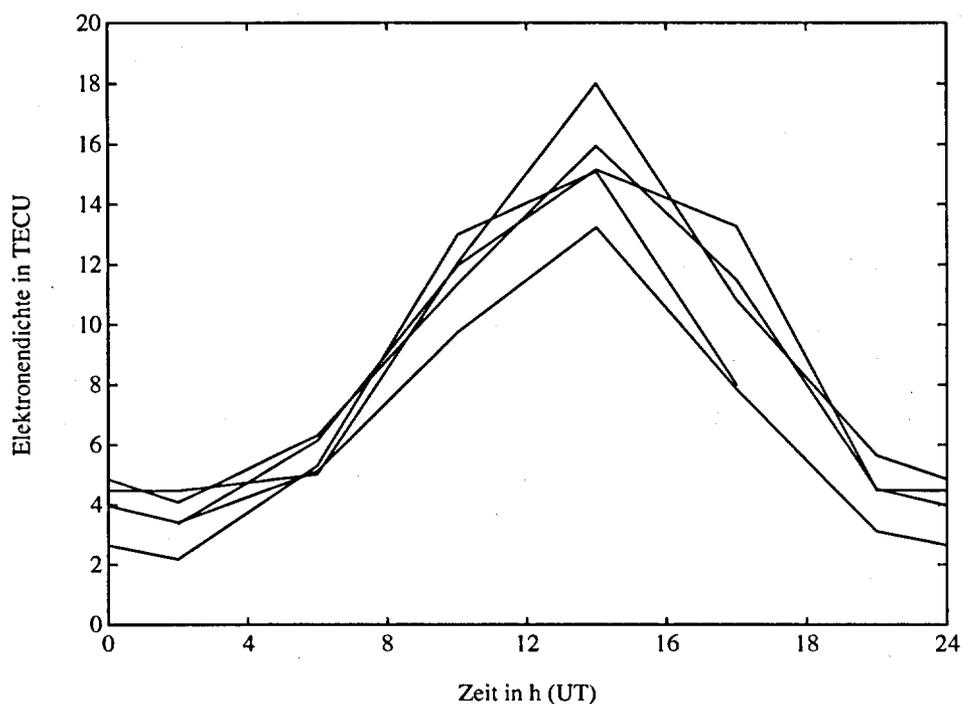
6.9.4 Nebenbetrachtung 2: Die Ionosphäre

Mit den Beobachtungen des Permanentempfängers in Zimmerwald wurde vom Programm IONEST [Wild, 1994] für alle 4 Stunden ein Ionosphärenmodell berechnet. Dabei wurde die Elektronendichte in einer Schicht der Höhe $H=350$ km über der Erdoberfläche gemäss Ansatz (6.1-3) geschätzt. Die Entwicklung in der Breite b wurde bis zu den Termen der Ordnung Zwei, die im Stundenwinkel s bis zu den Termen der Ordnung Eins getrieben, zudem wurde der erste gemischte Term berechnet. Die Tab.6.9-16 gibt die resultierenden Modellparameter für das erste in der Kampagne benötigte Teilintervall (insgesamt werden 1993 24 solcher Teilintervalle benötigt). In Fig.6.9-4 sind übereinandergelegt die fünf Tagesverläufe der Elektronendichte dargestellt (es wurden die Tage 270 bis 274 verwendet). Die maximalen Werte von etwa 12 bis 17 TECU werden gegen 13 Uhr UT, also gegen 14 Uhr Lokalzeit erreicht. Nach [Beutler et al., 1988b] ist bei einem Wert von 10 TECU bei einer L1-Auswertung ohne Ionosphärenmodell ein Skalenfaktor von etwa -1.0 ppm bei einer 15-Grad-Minimalelevation zu erwarten (GPS-Basislinien werden verkürzt). Wir haben gesehen, dass die Situation in den 1989er und 1992er Kampagnen wesentlich ungünstiger war.

[Wild, 1994] hat gezeigt, dass die Messungen einer Permanentstation "in der Nähe" eines kleinen Vermessungsnetzes sehr gut zur Ionosphärenmodellierung herangezogen werden können.

IONOSPHERE MODEL NUMBER	:	4	
STATION	:	ZIMM 14001M004	
ORIGIN OF DEVELOPMENT:	TIME (UT) (Y M D H)	: 1993 9 27 14.0	
	LATITUDE (DEGREES)	: 46.8831	
	LONGITUDE (DEGREES)	: 7.4652	
	HEIGHT OF LAYER (KM)	: 350	
DEGREE OF DEVELOPMENT:	TIME	: 2	
	LATITUDE	: 1	
	MIXED	: 2	
NORMALIZATION FACTORS:	LATITUDE (DEGREES)	: 6.00	
	TIME (HOURS)	: 2.00	
	ELECTRON CONTENT	: 1.0+16 (= 1 TECU)	
APPLICABILITY	FROM EPOCH	: 1993 9 27 12.0	
	TO EPOCH	: 1993 9 27 16.0	
COEFFICIENTS:			
DEG. LAT	DEG. TIME	COEFFICIENT	RMS
0	0	0.15146992E+02	0.51351860E-01
0	1	-0.18514834E+00	0.18897500E-01
0	2	0.31769149E+00	0.28715325E-01
1	0	-0.28160226E+01	0.21798729E-01
1	1	-0.28775530E+00	0.32322898E-01

Tabelle 6.9-16: Ionosphärenmodell geschätzt mit Hilfe des Zimmerwalder Permanentempfängers (erstes Zeitintervall)



Figur 6.9-4: Elektronendichte in TECU geschätzt mit Hilfe des Zimmerwalder Permanentempfängers (dargestellt als Funktion der Tageszeit (UT) für die Tage 270 bis 274, 1993)

7 Gesamtauswertungen

(Autoren: G. Beutler, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget)

7.1 GPS-Auswertungen im Überblick

7.1.1 Die Neuauswertungen 1994

Tabelle 7.1-1 gibt eine Übersicht über die von 1985 bis 1993 durchgeführten GPS-Kampagnen im Turtmann-Netz und über die Neuauswertungen im Rahmen des vorliegenden Berichts. Sieht man ab von der 1985er Kampagne, darf man feststellen, dass sämtliche GPS-Messungen von geodynamischer Relevanz neu und mit einheitlichen Methoden ausgewertet wurden.

Jahr	Kampagne	Geräte	Neuauswertung
1985	Turt-85.1	Macrometer V-1000, Sercel TR5S	Nein
	Turt-85.2	TI-4100	Nein
1986	Turt-86	Trimble 4000S, WILD-Magnavox WM-101	Ja
1987	Turt-87.1	WILD-Magnavox WM-101	Ja
	Turt-87.2	Trimble 4000SX	Ja
1988	Turt-88.1	Trimble 4000SL	Nein
	Turt-88.2	Trimble 4000SL/SLD	Ja
	Turt-88.3	Sercel NR52	Nein
1989	Turt-89	WILD-Magnavox WM-102	Ja
1990	Turt-90.1	Rogue SNR-8, Trimble 4000SLD	Nein
	Turt-90.2	Ashtech LD-XII	Nein
1991	Turt-91	WILD SR299	Nein
1992	Turt-92	Ashtech LM-XII3, Trimble 4000SSE, WILD SR299	Ja
1993	Turt-93	Trimble 4000SSE	Ja

Tabelle 7.1-1: Die GPS-Kampagnen im 3D-Testnetz Turtmann und ihre Neuauswertung

Tabelle 7.1-2 gibt einen Überblick über einige Kenndaten der Kampagnen. Von Bedeutung sind insbesondere die Fehlerellipsoide der Punkte relativ zum Fixpunkt Turtmann. Unsere Auswertemethode bringt es mit sich, dass das Fehlerellipsoid stark von der Höhendifferenz der Station bezüglich Turtmann abhängt. Deshalb geben wir exemplarisch die Längen der Halbachsen der Fehlerellipsoide (a = grösste, c = kleinste Halbachse) jeweils für die Punkte 8.SUST, 3.JEIZ und, falls vorhanden, für den Punkt 9.EMSH an. Dass die grosse Halbachse a mehr oder weniger vertikal steht, wird durch die (kleine) Zenitdistanz z der Richtungen der grossen Halbachsen a dokumentiert. Da sich die Längen der beiden übrigen Halbachsen nicht sehr stark unterscheiden, wird auf die Angabe eines Azimutes (beispielsweise für die Achse c) verzichtet. Das Fehlerellipsoid ist also in guter Näherung ein auf der Spitze stehender 'American football'.

Die 3D-Fehlerellipsoide lassen sich graphisch sehr anschaulich darstellen. In Kap.7.1.3 sind z.B. die mittleren Fehlerellipsoide des GPS-Lösungssatzes *Turt-93* im Grundriss (*Abb.7.1-3*) und Aufriss (*Abb.7.1-4*) ersichtlich. Auf eine Darstellung der 3D-Fehlerellipsoide zu den übrigen Lösungssätzen wurde aus platzgründen verzichtet.

7.1.2 Beurteilung der Resultate

Lösung	Anzahl DD	RMS (mm)	Fehlerellipsoide											
			8.SUST				3.JEIZ				9.EMSH			
			a	b	c	z	a	b	c	z	a	b	c	z
			(mm)	(mm)	(mm)	(Grad)	(mm)	(mm)	(mm)	(Grad)	(mm)	(mm)	(mm)	(Grad)
L1_86_WM	7'200	8.8	1.5	0.8	0.4	12.0	4.2	0.8	0.5	2.8	---	---	---	---
L1_86_TR	3'900	4.0	0.8	0.4	0.2	10.7	2.2	0.4	0.2	2.0	---	---	---	---
L1_87_WM	6'900	5.5	1.1	0.4	0.3	11.8	2.7	0.4	0.4	2.1	2.1	0.4	0.3	2.4
L1_87_TR	10'800	4.1	0.5	0.2	0.2	13.6	1.1	0.2	0.2	2.7	1.3	0.2	0.2	2.2
L1_88_TR	6'500	4.8	1.0	0.4	0.3	13.3	2.4	0.4	0.3	1.9	1.8	0.3	0.3	1.9
L1_89_WM	22'200	8.2	0.8	0.3	0.3	12.6	1.6	0.3	0.3	2.8	2.2	0.4	0.3	1.9
L1_92_SR+	7'700	6.8	0.9	0.4	0.3	3.0	1.8	0.4	0.3	2.9	---	---	---	---
L1_93_TR	181'000	5.0	0.1	0.1	0.1	0.8	0.3	0.1	0.1	1.0	0.4	0.1	0.1	1.2

Tabelle 7.1-2: Die GPS-Neuauswertungen im 3D-Testnetz Turtmann 1986-1993

Nochmals führt uns die Tab.7.1-2 eindrücklich die Überlegenheit der Kampagne *Turt-93* vor Augen. Sie ist schon vom Datenvolumen her rund 8mal umfangreicher als die zweitgrösste Kampagne *Test Turt-89*.

Aus heutiger Sicht, insbesondere in Kenntnis der Qualität der Microstrip- und der Helixantennen, würden wir die 1993er Kampagne auf den ersten Rang, die 1987er und 1992er Kampagnen auf den zweiten Rang setzen. Von den übrigen Kampagnen darf man entweder von der Geometrie, der Statistik oder von der Antennenqualität her nicht Millimeter- sondern eher etwa 5-Millimeter-Genauigkeit erwarten.

Es wurde eingangs erwähnt, dass wir alle Neuauswertungen mit einheitlichen Methoden durchgeführt haben. Insbesondere dürfen wir das Referenzsystem (abgesehen von einem Skalenfaktor für die Kampagnen vor 1989) als identisch annehmen. Zwar konnten wir nur ab 1992 das "saubere" ITRF 92 (Epoche 1995.0) verwenden, da vorher keine IGS-Bahnen zur Verfügung standen. Tabelle 6.9-15, zusammen mit der Bemerkung, dass sämtliche Transformationsparameter zu deren Erzeugung gleich Null waren, liefert den Beweis, dass in einem kleinen Netz das Referenzsystem primär durch die Koordinaten des (oder der) Fixpunkte(s) gegeben ist.

Schliessen wir deshalb die Betrachtungen in diesem Kapitel mit den Tab.7.1-3a und 7.1-3b, welche die Residuen von Helmert-Transformationen der einzelnen Kampagnen relativ zur 1993er Kampagne enthalten. In Tab.7.1-3a wurden sämtliche Kampagnen, in Tab.7.1-3b nur die als gut befundenen Kampagnen (unter Weglassung der Transformationsparameter) aufgenommen. Jede Transformation wurde mit nur vier Parametern (drei Translationen, ein Skalenfaktor) durchgeführt. Die Tabelle zeigt die Konsistenz der Mehrheit der GPS-Lösungen im Bereich von 2 bis 3 mm (rms) in der Lage und von etwa 5 mm in der Höhe über 7 Jahre hinweg. Man sieht auch deutlich die Überlegenheit der Microstrip-Antennen. Augenfällige Bewegungen sind unseres Erachtens aus dieser Tabelle keine herauszulesen. Indizien für eine Bewegung in E-W- und/oder N-S-Richtung gibt es beim Punkt 9.EMSH, auch bei 1.BRUN, 5.OEMS und 8.SUST sind Bewegungen nicht mit Sicherheit auszuschliessen (s.a. Kap.6.9.2.5). Erst die folgenden Jahre mit permanenter Überwachung des Netzes während jeweils mehrerer Tage (nach Muster der Kampagne *Turt-93*) werden mit Sicherheit Bewegungen im Bereich weniger Millimeter pro Jahr zu entdecken gestatten. Die Residuen in der Höhe rufen nach einer zenitdistanzabhängigen Antennenkalibrierung (s.a. Kap.6.9.2.4).

Zur graphischen Beurteilung der Koordinatenunterschiede der verschiedenen GPS-Lösungen dienen die Abb. 7.1-1 (Lage) und 7.1-2 (Höhe). Im Unterschied zu den Transformationen (Tab.7.1-3a,b) wurden hier direkt die Koordinatendifferenzen aus der Lösung (mit Festpunkt 7.TURT und ohne Massstabsanpassung) im lokalen Koordinatensystem dargestellt. Dies scheint deshalb vertretbar, weil die Massstabsunterschiede der verschiedenen Lösungen (Tab.7.1-3a) kaum signifikant von Null abweichen.

NUM	NAME	CAMPAIGN	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
			CAMPAIGN --> L1_93_TR		
			N	E	U
10	1.BRUN	L1_86_WM	-8.9	-2.0	-6.3
		L1_86_TR	---	---	---
		L1_87_WM	0.0	-2.1	-8.7
		L1_87_TR	1.7	-4.1	-5.1
		L1_88_TR	-4.7	-7.2	7.1
		L1_89_WM	-2.3	-4.9	-9.2
		L1_92_SR+	0.4	0.2	7.9
20	2.BRAE	L1_86_WM	3.5	-5.5	4.1
		L1_86_TR	-1.4	-6.4	3.4
		L1_87_WM	-6.4	-1.3	17.0
		L1_87_TR	2.0	-1.0	1.5
		L1_88_TR	5.8	3.0	1.6
		L1_89_WM	-7.0	-0.9	11.5
		L1_92_SR+	0.4	-1.0	-7.6
31	3.GPS	L1_86_WM	-9.7	0.0	7.4
		L1_86_TR	-6.0	-3.1	5.3
		L1_87_WM	3.4	1.1	-0.3
		L1_87_TR	2.3	3.8	-0.9
		L1_88_TR	0.3	-0.7	-4.4
		L1_89_WM	-1.7	0.2	1.8
		L1_92_SR+	1.8	0.4	-4.2
40	4.ERGI	L1_86_WM	-4.6	5.1	-9.0
		L1_86_TR	0.3	1.0	-7.2
		L1_87_WM	10.6	2.8	-14.9
		L1_87_TR	2.8	-0.1	-15.0
		L1_88_TR	-0.9	-5.1	-2.6
		L1_89_WM	10.5	2.2	-12.1
		L1_92_SR+	0.7	1.0	3.5
50	5.OEMS	L1_86_WM	5.9	4.8	21.1
		L1_86_TR	3.1	4.4	-5.6
		L1_87_WM	2.8	7.5	-22.1
		L1_87_TR	2.0	2.1	0.8
		L1_88_TR	2.1	2.8	-4.0
		L1_89_WM	4.8	3.9	4.9
		L1_92_SR+	-1.6	1.3	-3.2
61	6.GPS	L1_86_WM	-2.1	5.1	6.0
		L1_86_TR	-0.5	8.9	1.0
		L1_87_WM	-8.9	-4.7	18.7
		L1_87_TR	-2.4	-0.8	-1.3
		L1_88_TR	---	---	---
		L1_89_WM	-0.2	-0.9	6.7
		L1_92_SR+	-1.2	-1.4	1.6
70	7.TURT	L1_86_WM	9.5	-6.0	-8.5
		L1_86_TR	-4.5	-1.6	1.6
		L1_87_WM	0.3	-4.1	3.8
		L1_87_TR	-0.4	1.7	8.7
		L1_88_TR	1.7	1.4	4.3
		L1_89_WM	2.1	-0.9	-8.9
		L1_92_SR+	0.0	-1.0	4.4

NUM	NAME	CAMPAIGN	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
			CAMPAIGN --> L1_93_TR		
			N	E	U
80	8.SUST	L1_86_WM	6.3	-1.5	-14.8
		L1_86_TR	9.0	-3.2	1.5
		L1_87_WM	8.7	-3.8	9.1
		L1_87_TR	2.1	-7.0	11.2
		L1_88_TR	-0.2	-4.5	4.4
		L1_89_WM	3.2	-2.6	-6.6
		L1_92_SR+	-0.4	0.5	-2.5
90	9.EMSH	L1_86_WM	---	---	---
		L1_86_TR	---	---	---
		L1_87_WM	-10.3	4.5	-2.8
		L1_87_TR	-10.0	5.4	0.1
		L1_88_TR	-4.1	10.2	-6.4
		L1_89_WM	-9.4	4.0	11.9
		L1_92_SR+	---	---	---
TRANSLATION IN X		L1_86_WM	-9.6	± 3.1	MM
TRANSLATION IN Y			6.6	± 3.1	MM
TRANSLATION IN Z			8.8	± 3.1	MM
SCALE FACTOR			+0.52	± 1.10	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_86_TR	4.6	± 1.9	MM
TRANSLATION IN Y			1.3	± 1.9	MM
TRANSLATION IN Z			-1.7	± 1.9	MM
SCALE FACTOR			-0.30	± 0.67	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_87_WM	-0.8	± 3.2	MM
TRANSLATION IN Y			4.9	± 3.2	MM
TRANSLATION IN Z			-3.3	± 3.2	MM
SCALE FACTOR			+0.73	± 1.09	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_87_TR	-0.4	± 1.8	MM
TRANSLATION IN Y			-0.3	± 1.8	MM
TRANSLATION IN Z			-7.9	± 1.8	MM
SCALE FACTOR			+1.20	± 0.63	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_88_TR	-1.9	± 1.7	MM
TRANSLATION IN Y			-1.1	± 1.7	MM
TRANSLATION IN Z			-4.1	± 1.7	MM
SCALE FACTOR			+0.36	± 0.61	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_89_WM	-3.1	± 2.3	MM
TRANSLATION IN Y			2.7	± 2.3	MM
TRANSLATION IN Z			9.9	± 2.3	MM
SCALE FACTOR			+1.46	± 0.78	MM/KM
TRANSLATION IN X		L1_92_SR+	-0.1	± 1.1	MM
TRANSLATION IN Y			1.4	± 1.1	MM
TRANSLATION IN Z			-4.2	± 1.1	MM
SCALE FACTOR			+0.36	± 0.41	MM/KM

Tabelle 7.1-3a: Residuen aller neu ausgewerteten Turtmann-Kampagnen relativ zur Kampagne *Turt-93*

NUM	NAME	CAMPAIGN	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
			N	E	U
			CAMPAIGN --> L1_93_TR		
10	1.BRUN	L1_86_TR	---	---	---
		L1_87_TR	1.7	-4.1	-5.1
		L1_88_TR	-4.7	-7.2	7.1
		L1_89_WM	-2.3	-4.9	-9.2
		L1_92_SR+	0.4	0.2	7.9
20	2.BRAE	L1_86_TR	-1.4	-6.4	3.4
		L1_87_TR	2.0	-1.0	1.5
		L1_88_TR	5.8	3.0	1.6
		L1_89_WM	-7.0	-0.9	11.5
		L1_92_SR+	0.4	-1.0	-7.6
31	3.GPS	L1_86_TR	-6.0	-3.1	5.3
		L1_87_TR	2.3	3.8	-0.9
		L1_88_TR	0.3	-0.7	-4.4
		L1_89_WM	-1.7	0.2	1.8
		L1_92_SR+	1.8	0.4	-4.2
40	4.ERGI	L1_86_TR	0.3	1.0	-7.2
		L1_87_TR	2.8	-0.1	-15.0
		L1_88_TR	-0.9	-5.1	-2.6
		L1_89_WM	10.5	2.2	-12.1
		L1_92_SR+	0.7	1.0	3.5
50	5.OEMS	L1_86_TR	3.1	4.4	-5.6
		L1_87_TR	2.0	2.1	0.8
		L1_88_TR	2.1	2.8	-4.0
		L1_89_WM	4.8	3.9	4.9
		L1_92_SR+	-1.6	1.3	-3.2
61	6.GPS	L1_86_TR	-0.5	8.9	1.0
		L1_87_TR	-2.4	-0.8	-1.3
		L1_88_TR	---	---	---
		L1_89_WM	-0.2	-0.9	6.7
		L1_92_SR+	-1.2	-1.4	1.6
70	7.TURT	L1_86_TR	-4.5	-1.6	1.6
		L1_87_TR	-0.4	1.7	8.7
		L1_88_TR	1.7	1.4	4.3
		L1_89_WM	2.1	-0.9	-8.9
		L1_92_SR+	0.0	-1.0	4.4
80	8.SUST	L1_86_TR	9.0	-3.2	1.5
		L1_87_TR	2.1	-7.0	11.2
		L1_88_TR	-0.2	-4.5	4.4
		L1_89_WM	3.2	-2.6	-6.6
		L1_92_SR+	-0.4	0.5	-2.5
90	9.EMSH	L1_86_TR	---	---	---
		L1_87_TR	-10.0	5.4	0.1
		L1_88_TR	-4.1	10.2	-6.4
		L1_89_WM	-9.4	4.0	11.9
		L1_92_SR+	---	---	---

Tabelle 7.1-3b: Residuen aller als qualitativ "sehr gut" eingestuften Kampagnen relativ zur Kampagne *Turt-93*

Aufgrund der graphischen Darstellung der Koordinatenunterschiede der verschiedenen GPS-Lösungen zwischen 1986 - 1993, dargestellt mit Hilfe von Vektorpolygonen in chronologischer Reihenfolge (*Abb. 7.1-1*), sollte eine intuitive Beurteilung allfälliger Punktverschiebungen möglich sein. Sowohl tektonisch induzierte Bewegungen wie auch durch Hangrutschungen hervorgerufene Individualverschiebungen zeigen erfahrungsgemäss einen nahezu geradlinigen Verlauf.

Im Gegensatz dazu weisen die dargestellten Vektorpolygone praktisch bei allen Punkten auf scheinbar chaotische Koordinatenänderungen hin. Sie sind wahrscheinlich auf zufällige Messfehler oder komplexe systematische Restfehler im Beobachtungsmaterial zurückzuführen. Obwohl die einzelnen Koordinatenänderungen verglichen mit den winzigen mittleren Fehlerellipsoiden (*s. z.B. Abb. 7.1-3*) relativ gross sind, und damit im Sinne der statistischen Deformationsanalyse als signifikant von Null verschieden zu betrachten wären, fallen systematische Punktverschiebungen zwischen 1986 und 1993 als Ursache praktisch ausser betracht. Daneben zeigt sich einmal mehr, dass die mittlern 3D-Fehlerellipsoide bei der Auswertung von GPS-Messungen mit der "Berner GPS-Software" viel zu klein d.h. zu optimistisch geschätzt werden.

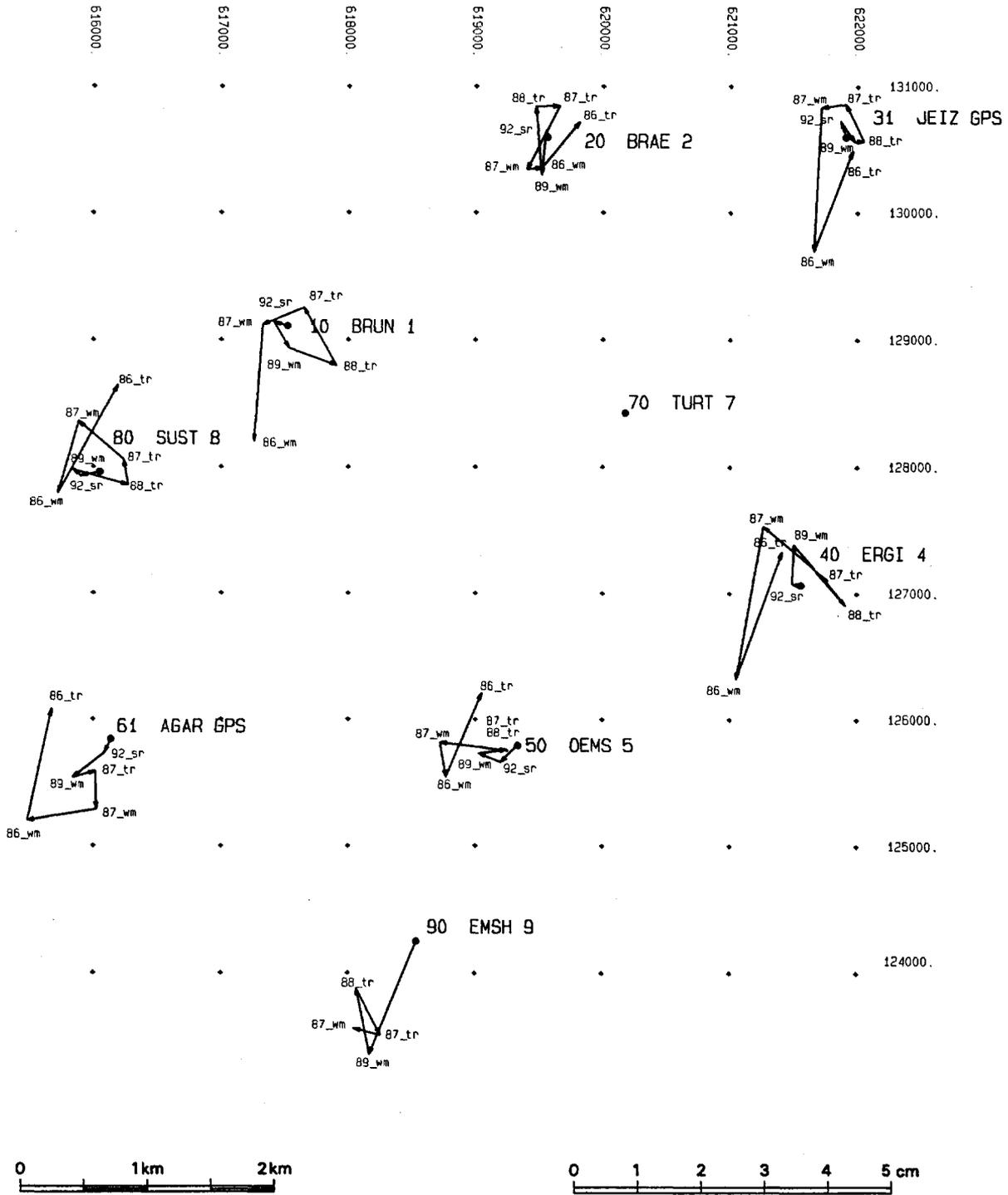


Abbildung 7.1-1: Graphischer Vergleich der Lösungen der wichtigsten GPS-Kampagnen: Lage Situation 1:50'000; Referenzpunkt 7.TURT; Ausgangskoordinaten *Turt-93*; Koordinatenänderungen (Vektoren) 1:1 (zeitlich rückläufig)

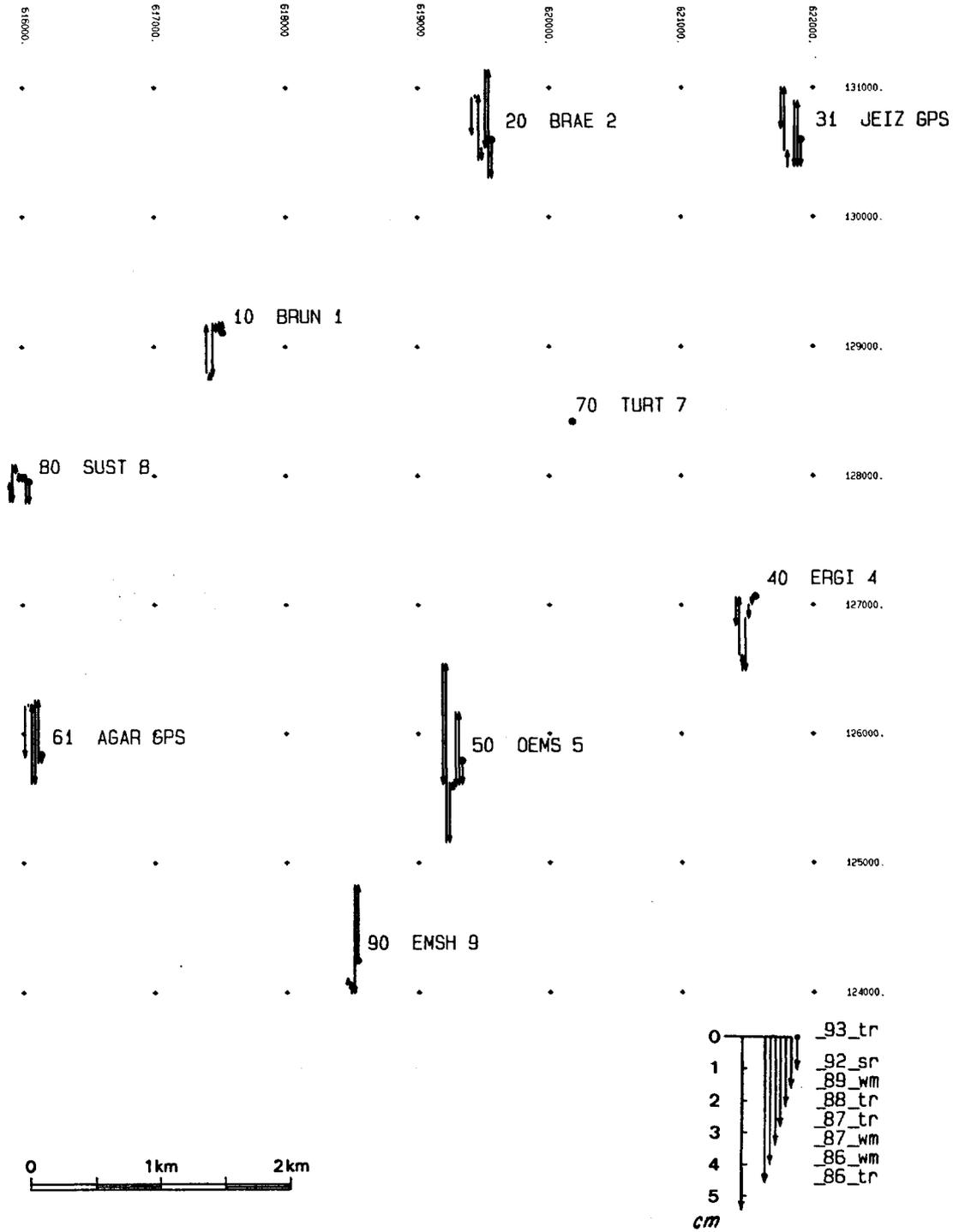


Abbildung 7.1-2: Graphischer Vergleich der Lösungen der wichtigsten GPS-Kampagnen: Höhe Situation 1:50'000; Referenzpunkt 7.TURT; Ausgangskordinaten Turt-93; Höhenänderungen 2:1 (zeitlich rückläufig)

7.1.3 GPS-Schlussresultat (Turt-93)

Die Ergebnisse der GPS-Auswertung *Turt-93* sind in der Tabelle 7.1-4 in der Form einer Koordinatenliste numerisch zusammengefasst. Die stochastischen Ergebnisse, welche als a posteriori Kovarianzmatrix numerisch vorliegen, sind zudem in graphischer Form durch die mittleren Fehlerellipsoide im Grundriss (*Abb.7.1-3*) und Aufriss (*Abb.7.1-4*) dargestellt. Es ist offensichtlich, dass die aus dem riesigen Messdatensatz *Turt-93* mit der GPS-Ausgleichung geschätzten relativen Positionsgenauigkeiten viel zu optimistisch sind. Immerhin erkennt man in *Abb.7.1-4* eine markante Abnahme der Höhengenaugigkeit mit zunehmender Höhendifferenz zum Referenzpunkt (7.TURT), was auf das verwendete mathematische Modell mit unbekanntem Troposphärenparametern (*Kap.6.9.2*) zurückzuführen ist. Die Skalierung der a posteriori Kovarianzmatrix scheint aber noch immer unrealistisch.

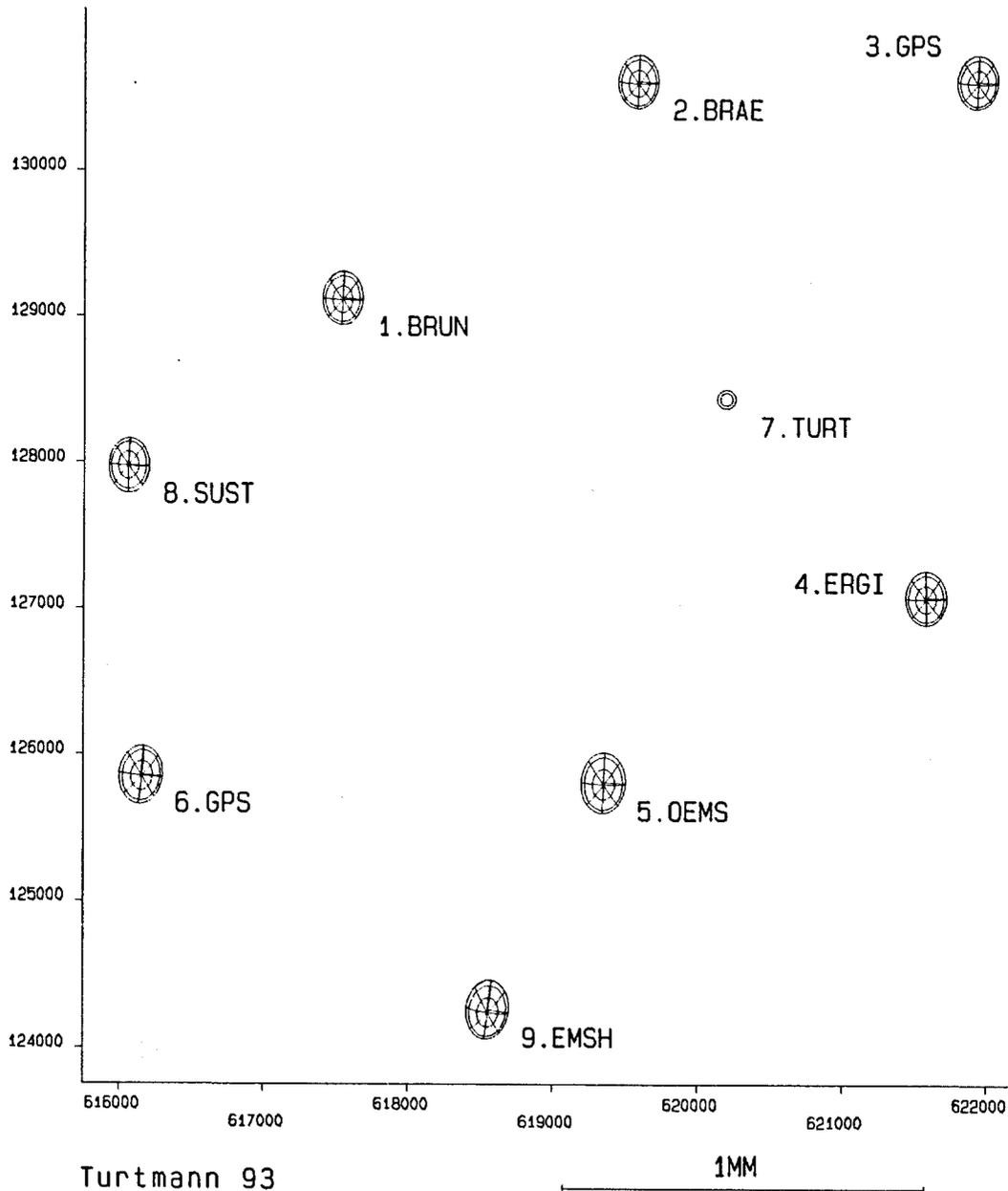


Abbildung 7.1-3: Resultate der GPS-Auswertung *Turt-93*: Mittlere Fehlerellipsoide (Grundriss): Situation 1: 50'000; Fehlerellipsoide 50:1

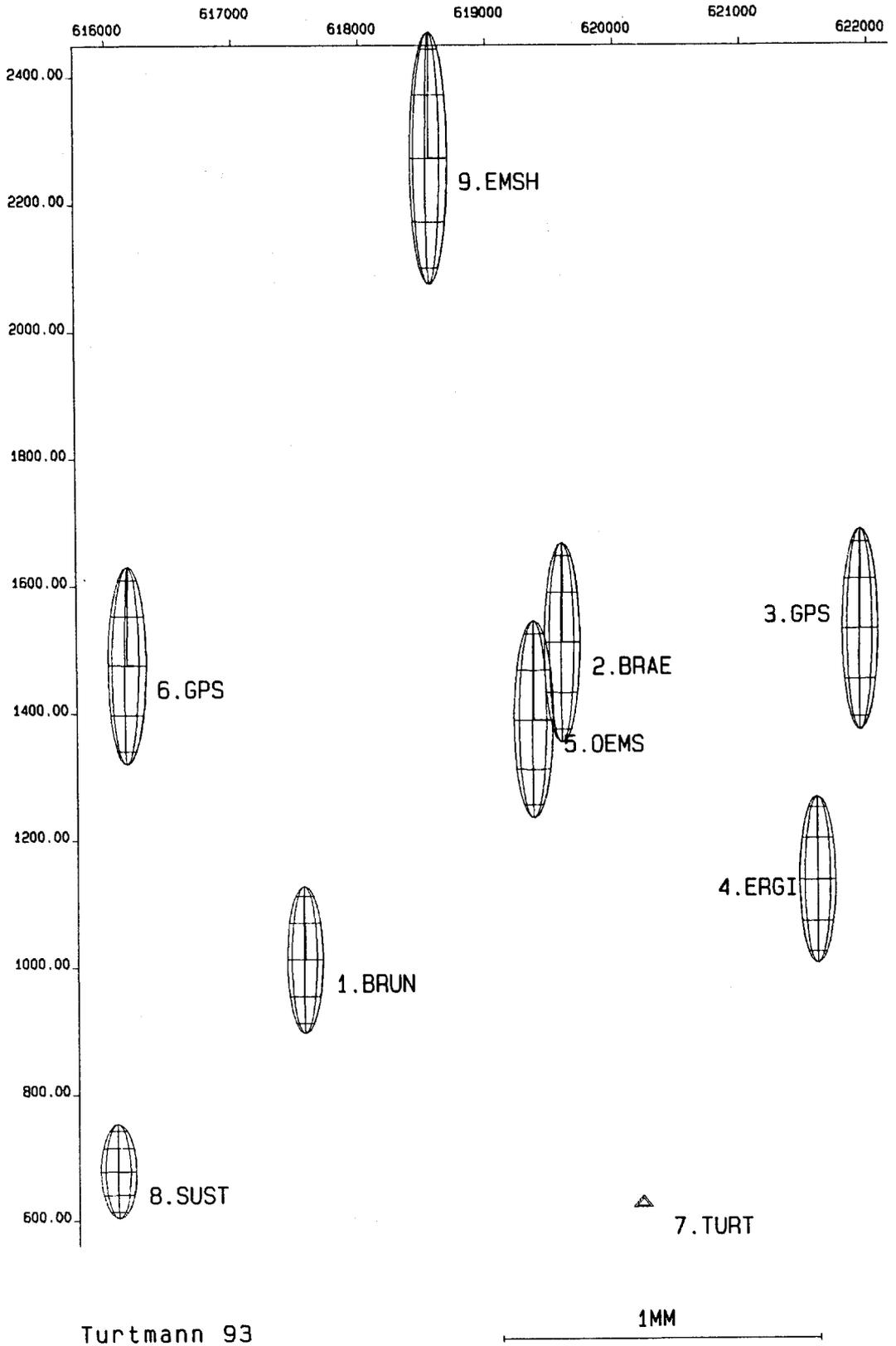


Abbildung 7.1-4: Resultate der GPS-Auswertung *Turt-93*: Mittlere Fehlerellipsoide (Aufriss):
Situation 1: 50'000; Höhe 1:10'000; Fehlerellipsoide 50:1

L1_93_TR: L1, TURT93, TR, ME 15, SR 60, TROP 16*2, ION 24 21-MAR-94 15:33

 LOCAL GEODETIC DATUM: WGS - 84

NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)	FLAG
10	BRUN 1	4374499.0325	588821.4013	4590124.8396	P
20	BRAE 2	4373504.8990	590748.5301	4591508.3631	P
31	JEIZ GPS	4373208.2375	593076.6555	4591518.4277	P
40	ERGI 4	4375515.2038	593027.4698	4588794.9048	P
50	OEMS 5	4376895.6584	590962.6440	4588103.0029	P
61	AGAR GPS	4377340.6710	587795.3920	4588206.3532	P
70	TURT 7	4374374.5092	591480.7579	4589368.7025	P
80	SUST 8	4375288.6837	587437.0516	4589094.5264	P
90	EMSH 9	4378713.0251	590398.9180	4587675.8901	P

Tabelle 7.1-4: Resultate der GPS-Auswertung *Turt-93* (geozentrische Koordinaten; ITRF92)

7.2 Dreidimensionale Gesamtausgleichungen des hybriden Netzes

7.2.1 Zielsetzung der hybriden Gesamtausgleichungen

In der Geodäsie ist es allgemein üblich, möglichst alle geodätischen Messungen, welche in einem Netz erfasst wurden, mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate in einem Guss auszugleichen. Geodätische Netze, in welchen neben den klassischen, terrestrischen Messungen auch Beobachtungen der 'space geodesy' erfasst wurden, werden zuweilen als hybride Netze bezeichnet. Solche Gesamtausgleichungen bringen u.A. die folgenden Vorteile:

1. Berechnung der wahrscheinlichsten Lösung (Koordinatensatz)
2. Möglichst realistische a posteriori Schätzung der Genauigkeit dieser Koordinaten
3. Prüfung der verwendeten stochastischen Modelle aller Beobachtungssätze im Kontext, wobei eine iterative Anpassung der Niveaus der mittleren Fehler der Beobachtungsgruppen a priori mit Hilfe der Varianzkomponentenschätzung möglich ist.
4. Aufdeckung von systematischen Restfehlern in einer oder in mehreren Beobachtungsgruppen oder von Fehlern im verwendeten mathematischen Modell

Bei der Gesamtausgleichung des klassischen, trigonometrischen 3D-Netzes Turtmann konnten z.B. die Refraktionseffekte im Höhenwinkeldatensatz wirkungsvoll untersucht werden (s. Kap.2.2, Teil I). Die Höhenbestimmung im 3D-Netz mit GPS einerseits und aus dem terrestrischen Netz (steile Raumdistanzen und Höhenwinkel) andererseits ist infolge der troposphärischen Refraktion der Mikrowellensignale, bzw. wegen Restfehlern der optischen Refraktion bei Distanzen und Höhenwinkeln mehr oder weniger stark systematisch verfälscht. Bei den terrestrischen Messungen wurden schon 3 unterschiedliche Messverfahren (1. Präzisions-EDM mit Erfassung der Refraktion auf dem Messstrahl, 2. EDM nach dem Dispersionsverfahren und 3. Höhenwinkelmessung mit stochastischer Schätzung der Refraktion; s. Teil I) in der Ausgleichung kombiniert. Es könnte deshalb davon ausgegangen werden, dass der terrestrische Datensatz *Turt-Terr-86* zwar noch mit beträchtlichen zufälligen Fehlern behaftet ist, jedoch nur noch geringe systematische Verzerrungen aufweist. Die Kombination dieser Daten mit den 8 verschiedenen Pseudo-Beobachtungssätzen der GPS-Auswertungen im Rahmen der hybriden Gesamtausgleichungen könnte zu wertvollen Erkenntnissen verhelfen.

Aus praktischen Gründen erfolgt die hybride Gesamtausgleichung von terrestrischen und GPS-Beobachtungsdaten i.A. schrittweise. Dabei erfolgt zuerst das 'processing' der GPS-Phasennmessungen (Berner GPS-Software). Als Resultat dieses Schrittes entsteht ein räumlicher Koordinatensatz mit zugehöriger Kovarianzmatrix im geozentrischen kartesischen Bezugssystem (z.B. WGS-84). Da die differentielle GPS-Phasennmessmethode eine relative Positionierungsmethode ist, werden sinnvollerweise die Koordinaten eines Referenzpunktes zur Netzlagerung festgehalten. Beim zweiten Schritt der Gesamtausgleichung werden nun die als korrelierte "Pseudo-Beobachtungen" betrachteten 3D-Koordinatensätze mit zugehöriger Kovarianzmatrix mit den terrestrischen Beobachtungen kombiniert ausgeglichen.

Das mathematische Modell einer statischen Gesamtausgleichung kann den Anforderungen eines multi-epochalen Beobachtungsdatensatzes über eine Zeitspanne von 8 Jahren nur dann gerecht werden, wenn die räumliche Lage aller Netzpunkte zeitlich invariant ist. Im Netz Turtmann, welches mit voller Absicht in einem tektonisch aktiven Gebiet der Schweiz erstellt wurde (s. Kap.1.3.2, Teil I), kann die Stabilität der Netzkonfiguration (d.h. die zeitliche Invarianz der Koordinaten) nicht von vornherein angenommen werden. Die Hypothese einer statischen Konfiguration müsste im Rahmen einer statistischen Deformationsanalyse gegen kinematische Alternativen getestet werden. Aufgrund der Resultate der intuitiven Interpretation der Koordinatenunterschiede in Kap.7.1.2 wurde darauf verzichtet. Alle folgenden hybriden Gesamtausgleichungen haben damit nur unter der obgenannten statischen Netzhypothese Gültigkeit.

7.2.2 Modell der Gesamtausgleichung (Programm RAUMTRI)

Das mathematische Modell der dreidimensionalen Ausgleichung von terrestrischen Beobachtungen mit dem Programm RAUMTRI ist im Teil I (Kap. 2.8.1; S. 104 ff) ausführlich dargestellt. Das Programm wurde in den letzten Jahren wesentlich erweitert, sodass auch GPS-Koordinatensätze (z.B. Resultate aus der Auswertung mit der Berner GPS-Software) als indirekte Beobachtungen mit den terrestrischen Messungen gesamthaft ausgeglichen werden können. RAUMTRI (Vers. 93) erlaubt die Einführung von geozentrisch-kartesischen GPS-Koordinatensätzen entweder mit zugehörigen mittleren Fehlern oder mit vollständiger Kovarianz-Matrix. Im letzteren Fall können die Korrelationen zwischen den Koordinaten korrekt berücksichtigt werden, sodass die Resultate einer solchen Ausgleichung mit einer strengen Gesamtausgleichung des hybriden Netzes (GPS + terrestrisch) in einem Guss identisch sind. Für die Ausgleichung von GPS-Koordinatensätzen wurden Ergänzungen im mathematischen Modell vorgenommen [Schürer, 1993].

7.2.2.1 Lagerung des GPS-Koordinatensatzes

Geodätische GPS-Messungen auf der Basis der Phasendifferenzen sind Relativmessungen ähnlich wie die terrestrischen Beobachtungen. Zur Lagerung dieser Netze müssen die Koordinaten mindestens eines Stationspunktes festgehalten werden. Es ist deshalb naheliegend, für den GPS-Koordinatensatz die Festpunktwahl des terrestrischen Netzes zu übernehmen. Dies geschieht, indem der GPS-Festpunkt durch Anbringen einer konstanten Transformation (GPS-Shift-Parameter) mit dem terrestrischen Festpunkt der Ausgleichung zur Deckung gebracht wird. Als indirekte Beobachtungen werden die aus der GPS-Auswertung resultierenden Vektoren vom Festpunkt zu den GPS-Stationen betrachtet.

Infolge unvermeidlicher systematischer Fehler können Unterschiede in der räumlichen Orientierung sowie Massstabsabweichungen des terrestrischen Netzes gegenüber dem GPS-Netz auftreten. Im Programm RAUMTRI ist deshalb die Schätzung von 4 Helmert-Parametern für die räumliche Orientierung und den Massstab des GPS-Netzes bezüglich dem terrestrischen Netz vorgesehen. Als Parameter werden die 3 Drehwinkel EPS1, EPS2 und EPS3 um die X, Y, bzw. Z-Achse und die Massstabskorrektur M eingeführt. Die Matrix der Helmert-Transformation lautet: $E + H$ wobei E die Einheitsmatrix ist und H wie folgt definiert ist:

$$H = \begin{vmatrix} M & \text{EPS3} & -\text{EPS2} \\ -\text{EPS3} & M & \text{EPS1} \\ \text{EPS2} & -\text{EPS1} & M \end{vmatrix}$$

7.2.2.2 Fehlergleichungen für die GPS-Beobachtungen

Die Fehlergleichungen für die GPS-Beobachtungen lauten mit

$$DP = \begin{vmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{vmatrix} \quad ; \text{ (wobei } X_f, Y_f, Z_f \text{ die Koordinaten des Festpunktes sind)}$$

in der Form der Verbesserungsgleichungen:

$$\begin{vmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} dx + DP_1 dM + DP_2 d\text{EPS3} - DP_3 d\text{EPS2} \\ dy - DP_1 d\text{EPS3} + DP_2 dM + DP_3 d\text{EPS1} \\ dz + DP_1 d\text{EPS2} - DP_2 d\text{EPS1} + DP_3 dM \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} X-X_0 - DP_1 M - DP_2 \text{EPS3} + DP_3 \text{EPS2} \\ Y-Y_0 + DP_1 \text{EPS3} - DP_2 M - DP_3 \text{EPS1} \\ Z-Z_0 - DP_1 \text{EPS2} + DP_2 \text{EPS1} - DP_3 M \end{vmatrix}$$

oder:

$$v_1 = \begin{vmatrix} E & A_h \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d_k \\ d_h \end{vmatrix} - l_1$$

wobei $d_k = [dx, dy, dz]^T$ und $d_h = [dM, d\text{EPS1}, d\text{EPS2}, d\text{EPS3}]^T$ die Inkremente der unbekannt Parameter sind. Die Helmertgrößen M , EPS1 , EPS2 und EPS3 auf der rechten Seite werden in erster Näherung auf Null gesetzt.

7.2.2.3 Verbesserungsgleichungen für die Gesamtausgleichung

Das System der Verbesserungsgleichungen der hybriden Gesamtausgleichung lautet schematisch:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E & 0 & A_h \\ A_k & A_o & 0 \\ 0 & A_a & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_k \\ d_o \\ d_h \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad \begin{aligned} d_k &= | dx, dy, dz |^T \\ d_o &= | dOM, dAB, dAL |^T \\ d_h &= | dM, dEPS1, dEPS2, dEPS3 |^T \end{aligned}$$

oder formal:

$$v = A x - l$$

wobei E die Einheitsmatrix, A_k die Koeffizientenmatrix der Koordinaten, A_o diejenige der Orientierung, A_a die der astronomischen Beobachtungen und A_h die der Helmertgrößen (Transformation des GPS-Satzes)^a sind. l_1 ist der Vektor der GPS-Beobachtungen (geozentrische Koordinaten), l_2 der Vektor der terrestrischen Beobachtungen und l_3 derjenige der astronomischen Beobachtungen. d_k , d_o und d_h sind die Inkremente der Koordinaten, der Orientierung (Orientierungswinkel OM, astronomische Breite AB und astronomische Länge AL) bzw. der Helmertgrößen.

7.2.2.4 Normalgleichungen für die Gesamtausgleichung

Die GPS-Beobachtungen (Koordinaten) l_1 sind korreliert. Ist Q die Kovarianzmatrix, so ist $W = Q^{-1}$ die entsprechende Gewichtsmatrix. Die Gewichtsmatrix P der hybriden Ausgleichung lautet dann:

$$P = \begin{pmatrix} W & 0 & 0 \\ 0 & P_k & 0 \\ 0 & 0 & P_a \end{pmatrix}$$

wobei W voll besetzt ist, während die Diagonalmatrizen P_k und P_a die ursprünglichen Gewichte der terrestrischen und astronomischen Beobachtungen enthalten.

Das System der Normalgleichungen lautet schematisch:

$$\begin{pmatrix} W + A_k^T P_k A_k & A_k^T P_k A_o & W A_h \\ A_o^T P_k A_k & A_o^T P_k A_o + A_a^T P_a A_a & 0 \\ A_h^T W & 0 & A_h^T W A_h \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_k \\ d_o \\ d_h \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} W & A_k^T P_k & 0 \\ 0 & A_o^T P_k & A_a^T P_a \\ A_h^T W & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} = 0$$

oder formal:

$$A^T P A x - A^T P l = 0$$

7.2.2.5 Resultate

RAUMTRI (Vers.93) liefert zusätzlich die folgenden Resultate der GPS-Beobachtungsgruppe:

- Die mittleren Fehler a posteriori $m(X)$, $m(Y)$, $m(Z)$ der GPS-Beobachtungsgruppen X , Y , Z (Varianzkomponenten)
- Die Helmertparameter des GPS-Koordinatensatzes: Drehungen: $R(x)$, $R(y)$ und $R(z)$ bezogen auf ein lokales kartesisches Koordinatensystem ('north/east/up') und den Massstabsfaktor M (Abweichung in ppm). (Im Output von RAUMTRI sind die lokalen Drehwinkel mit Ex , Ey und Ez bezeichnet).
- Die Residuen zu den GPS-Koordinatentripeln $v(X)$, $v(Y)$, $v(Z)$ sowie ihre Transformationen $v(x)$, $v(y)$ und $v(z)$ ins lokale Koordinatensystem ('north/east/up')

7.2.3 Hybride Gesamtausgleichungen mit GPS-Koordinaten im Vergleich

Die 8 Hauptlösungen der GPS-Auswertungen mit der Berner-Software: 86-TR, 86-WM, 87-WM, 87-TR, 88-TR, 89-WM, 92-SR und 93-TR (geozentrische Koordinatensätze mit zugehörigen Kovarianzmatrizen) wurden je einzeln mit dem terrestrischen Beobachtungssatz *Turt-Terr-86* in eine hybride Gesamtausgleichung eingeführt (Tab. 7.2-1 und 7.2-2).

In einer ersten Berechnung wurden die a posteriori Varianzschätzungen aus der Berner Software ('unit weight' rms2) direkt zur Skalierung der GPS-Varianzmatrix in RAUMTRI verwendet. Die resultierenden a posteriori Varianzschätzungen der GPS-Pseudo-Beobachtungsgruppen zeigten, dass diese stochastischen Modell-Annahmen weitaus zu optimistisch sind. Damit die Varianzfaktoren in die Größenordnung von 1 gebracht werden konnten, musste bei den ersten 7 GPS-Sätzen etwa ein Faktor von 4 (s. a. Hinweis in Kap. 6.9.2.2) und beim Datensatz *Turt 93-TR* sogar ein Faktor > 20 angewendet werden.

Gesamtausgleichungen mit Programm RAUMTRI	GPS - Koordinatensätze aus den Auswertungen mit der "Berner GPS-Software"							
GPS-Koordinatensatz	86-TR	86-WM	87-WM	87-TR	88-TR	89-WM	92-SR	93-TR
Output: Berner GPS-SW:								
rms1 'single diff.' [mm]	4.0	8.8	5.5	4.1	4.8	8.2	6.8	5.0
rms2 'unit weight' [mm]	2.8	6.3	3.9	2.9	3.4	5.8	4.8	3.6
Anzahl Doppeldiff.: n	3911	7200	6921	10751	6525	22159	7749	180979
SQRT(n)	62	85	83	104	81	149	88	425
Faktor: $k = 4 * \text{SQRT}(n) / 100$	2	3	3	4	3	6	3	16
RAUMTRI: a priori Var. $m(\text{GPS}) = k * \text{rms2}$ [mm]	5.6	18.9	11.7	11.6	10.2	34.8	14.48	57.6
RAUMTRI a post. Varianz								
\hat{m}_0	1.26	1.30	1.36	1.15	1.22	1.24	1.23	1.28
GPS $\hat{m}(X)$ [mm]	1.6	3.4	2.2	1.1	1.1	2.4	2.0	2.3
GPS $\hat{m}(Y)$ [mm]	1.4	1.8	3.5	1.0	2.9	1.3	2.3	2.0
GPS $\hat{m}(Z)$ [mm]	2.6	1.4	1.6	1.2	0.9	2.0	1.8	2.0
Helmertparameter (GPS):								
Rotation um x [cc]	-2.7 ± 0.7	-1.5 ± 0.8	-2.9 ± 0.7	-3.0 ± 0.7	-3.1 ± 0.7	-3.3 ± 0.8	-2.5 ± 0.7	-2.5 ± 0.7
Rotation um y [cc]	-2.0 ± 0.8	0.4 ± 0.9	-2.4 ± 0.9	-1.7 ± 0.8	-2.4 ± 0.8	-1.3 ± 0.9	-0.9 ± 0.8	-1.4 ± 0.8
Rotation um z [cc]	0.4 ± 1.2	-0.1 ± 1.2	-0.9 ± 1.2	-1.1 ± 1.2	-1.3 ± 1.2	-0.9 ± 1.2	-0.9 ± 1.2	-1.0 ± 1.2
Masstabskorr. [ppm]	-1.7 ± 0.1	-0.8 ± 0.2	-1.0 ± 0.2	-0.9 ± 0.1	-1.1 ± 0.2	-0.8 ± 0.3	-0.7 ± 0.1	-1.2 ± 0.1

Tabelle 7.2-1: Hybride 3D-Gesamtausgleichungen im Überblick (Teil 1): Varianzkomponenten und Helmertparameter

Gesamtausgleichungen mit Programm RAUMTRI	GPS-Koordinatensätze aus den Auswertungen mit der 'Berner GPS-Software'							
	86-TR	86-WM	87-WM	87-TR	88-TR	89-WM	92-SR	93-TR
RAUMTRI: Residuen der GPS-Koordinaten	N [mm]	N [mm]	N [mm]	N [mm]	N [mm]	N [mm]	N [mm]	N [mm]
	E [mm]	E [mm]	E [mm]	E [mm]	E [mm]	E [mm]	E [mm]	E [mm]
	U [mm]	U [mm]	U [mm]	U [mm]	U [mm]	U [mm]	U [mm]	U [mm]
1. BRUN		23.8	0.3	-1.6	5.3	5.2	1.6	1.3
		6.6	5.3	-0.5	-5.1	1.7	2.7	1.9
		-17.4	5.2	7.1	-8.4	-6.8	-10.1	-8.8
2. BRAE	0.0	11.8	7.1	-1.6	-3.3	9.5	3.7	2.8
	0.8	3.2	3.7	0.2	3.2	3.3	1.6	1.1
	-9.4	-30.8	-20.7	-2.1	-4.2	-30.3	-1.0	-10.4
3. GPS	-0.7	20.0	-2.9	-2.1	1.5	3.2	0.9	1.8
	0.5	5.5	1.7	-0.3	-3.1	-0.5	0.2	-0.9
	-8.1	-25.2	0.4	2.0	3.3	-21.9	0.9	-8.2
4. ERGI	-4.4	15.8	-7.3	0.6	5.1	-4.7	2.0	2.5
	-0.6	7.4	5.2	-2.1	-5.8	1.6	1.4	-0.4
	-5.8	-8.8	4.4	5.5	-12.2	-13.7	-11.1	-13.2
5. OEMS	-7.2	5.5	-4.2	-2.1	-3.4	-1.6	-0.2	-1.8
	-1.4	3.8	9.4	0.7	2.0	4.1	-0.3	-2.0
	-4.7	-30.6	11.1	-0.4	-4.1	-21.8	0.2	-9.2
6. GPS	0.2	14.8	4.4	-1.3		1.1	-2.3	-3.8
	2.6	4.6	-0.6	0.4		2.7	-2.9	-1.7
	-7.4	-21.7	-24.8	2.7		-19.2	-1.1	-8.0
8. SUST	-2.4	9.6	-5.9	-1.3	0.6	0.9	1.9	1.1
	0.3	6.8	3.2	-1.4	-1.0	5.4	3.6	2.4
	0.5	-1.0	-1.5	-1.6	-0.1	0.0	5.2	-2.6
9. EMSH			0.3	-1.1	-0.8	1.7		0.4
			1.1	-0.2	0.2	2.3		0.1
			-6.3	-3.0	-1.2	-21.1		0.8

Tabelle 7.2-2: Hybride Gesamtausgleichungen im Überblick (Teil 2): Residuen der GPS-Koordinaten

Ein Versuch, die Kovarianzmatrix mit einem Faktor $k = 4 * \text{SQRT}(n)/100$ zu skalieren, wobei n der Anzahl der "beobachteten" GPS-Doppeldifferenzen entspricht, führte schliesslich zu einem erstaunlich konsistenten Resultat. Alle mittleren Fehler a posteriori der Gesamtausgleichung \hat{m}_0 blieben dabei im Bereich von 1.15 bis 1.36 und auch die mittleren Fehler der GPS-Pseudo-Beobachtungsgruppen $m(X)$, $m(Y)$ und $m(Z)$ blieben in vernünftiger Grössenordnung < 3.4 (s. Tab.7.2-2). Versucht man dieses Resultat zu interpretieren, so erkennt man, dass mit dem zu $\text{SQRT}(n)$ proportionalen Faktor k die generelle statistische Gesetzmässigkeit der Fehlerfortpflanzung bei wiederholten Messungen (Abnahme des m.F. mit $\text{SQRT}(n)$) kompensiert wird. Dies würde bedeuten, dass lange GPS-Messserien, zumindest aus stochastischer Sicht, nicht zu einer Verbesserung der Genauigkeit führen. Dies liesse weiter vermuten, dass die GPS-Beobachtungen (wahrscheinlich wegen systematischen Resteffekten) noch immer hoch korreliert sind. Unter den möglichen systematischen Effekten sind vor allem troposphärische Restfehler, elevationsabhängige Phasenoffsets der Antennen (s.a. Kap.6.9.2.4) und systematische Multipath-Effekte zu vermuten.

Die Lage- und Höhenunterschiede der verschiedenen hybriden Lösungen gegenüber der terrestrischen Vergleichslösung *Turt-Terr-86* sind in den Abbildungen 7.2-1 und 7.2-2 graphisch dargestellt. Die Diskussion der Resultate ist in 7.2.5 zu finden.

7.2.4 Gesamtresultat des hybriden Netzes (Turt-Terr-86 + GPS-93)

In Tabelle 7.2-3 ist der vollständige RAUMTRI-Output der hybriden Gesamtausgleichung *Turt-Terr-86* + *GPS: TR-93* mit dem terrestrischen Beobachtungs-Datensatz *Turt-Terr-86* und dem GPS-Pseudo-Beobachtungsdatensatz *Turt 93-TR* abgedruckt.

Tabelle 7.2-3: Hybride Gesamtausgleichung: *Turt-Terr-86* + *GPS-93* (vollständiger RAUMTRI-Output: s. Seiten 150 - 164

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 1

MESS.FILE: turt/turt-terr-86.mes
PUNKT.FILE: turt/turt-terr-86.koo3

GEODAETISCHES DATUM: CH-1903 AE=6377397.155 EXQU= .006674372231
FUNDAMENTALPUNKT: L = 7 26 22.50 B = 46 57 8.66
MITTL.FEHLER DER GEWICHTSEINHEIT: 1.0000
MITTL.REFRAKTIONSKOEFFIZIENT: .0000
RMS DER GPS-KORR.= 57.6000
KORREL.GPS-BEOBACHTUNGEN

PROJEKTIONSKOORDINATEN (1.PUNKT UND FX = FESTPUNKTE, STATIONSPUNKTE, ZP = ZIELPUNKTE, GP = GPS.PUNKTE)

NR	TYP	PUNKT	YP [m]	XP [m]	H(ORTHO) [m]	DGEOID [m]	ETA [cc]	XI [cc]
1	GP	7.TURT	20176.7100	-71575.5720	622.4474	1.3098	-17.1	1.7
2	GP	6.GPS	16136.3376	-74159.8588	1473.1156	1.3242	-14.9	79.9
3	GP	2.BRAE	19560.4792	-69405.8929	1506.8276	1.3621	-24.4	-53.9
4	GP	1.BRUN	17522.6167	-70893.7060	1008.8876	1.2478	-23.2	-26.1
5	GP	9.EMSH	18537.8160	-75752.7900	2269.7400	1.4914	-6.5	82.8
6	GP	4.ERGI	21561.0060	-72934.4035	1131.8407	1.3928	-29.4	56.2
7	GP	3.GPS	21906.9461	-69404.1242	1526.7261	1.4086	-8.2	-52.4
8	GP	8.SUST	16048.6844	-72041.9524	677.1122	1.2019	-18.7	19.5
9	GP	5.OEMS	19334.3226	-74208.6334	1385.6658	1.4129	-13.6	74.1
10	ST	7.1	20186.5917	-71581.5454	622.4474	1.3101	-17.1	2.0
11	ST	7.2	20166.2419	-71583.6603	622.4474	1.3142	-17.4	2.1
12	ST	3.JEIZ	21848.7765	-69471.5886	1498.7611	1.4044	-8.2	-53.4
13	ST	3.GPS.E	21912.2608	-69400.7209	1526.7261	1.4088	-8.2	-52.4
14	ST	6.AGAR	16102.5313	-74137.1041	1475.3806	1.3215	-14.6	79.8
15	ST	8.1	16034.1642	-72052.3813	677.1122	1.2019	-18.5	19.8
16	ZI	2.GPS	19544.1414	-69407.9947	1506.8276	1.3615	-25.1	-53.7

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 2

GEOZENTRISCHE KOORDINATEN

NR	PUNKT	GL [g]	GB [g]	H(ELL) [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
1 GP	7.TURT	8.557249986	51.453520036	623.7572	4373700.0721	591465.9898	4588963.1846
2 GP	6.GPS	8.498868909	51.427808193	1474.4398	4376666.2617	587780.6080	4587800.8390
3 GP	2.BRAE	8.548462416	51.475229017	1508.1897	4372830.4517	590733.7589	4591102.8454
4 GP	1.BRUN	8.518993827	51.460418979	1010.1354	4373824.5919	588806.6330	4589719.3200
5 GP	9.EMSH	8.533424474	51.411815927	2271.2314	4378038.4158	590384.3125	4587270.6996
6 GP	4.ERGI	8.577148136	51.439888979	1133.2335	4374840.7897	593012.7150	4588389.4053
7 GP	3.GPS	8.582321866	51.475166135	1528.1347	4372533.8010	593061.8847	4591112.9270
8 GP	8.SUST	8.497686219	51.448981732	678.3141	4374614.2525	587422.2902	4588688.9957
9 GP	5.OEMS	8.544977196	51.427226782	1387.0787	4376221.2408	590947.8771	4587697.4949
10 ST	7.1	8.557392239	51.453459994	623.7575	4373703.0547	591476.3449	4588959.0356
11 ST	7.2	8.557098597	51.453439533	623.7616	4373707.2524	591456.3698	4588957.6245
12 ST	3.JEIZ	8.581478960	51.474493850	1500.1655	4372570.7257	593007.9337	4591046.2479
13 ST	3.GPS.E	8.582398735	51.475199962	1528.1349	4372530.6592	593066.8353	4591115.2643
14 ST	6.AGAR	8.498382342	51.428036557	1476.7021	4376655.9357	587745.1673	4587818.2641
15 ST	8.1	8.497476384	51.448877867	678.3141	4374623.6345	587408.8709	4588681.8174
16 ZI	2.GPS	8.548226564	51.475208536	1508.1891	4372834.1087	590717.7571	4591101.4299

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 3

MESSUNGEN *****									
NR	TYP	STATION	ZIEL	BEOB [g,m]	M.F. [g,m]	IH [m]	SH [m]	ZENTRIERT [g,m]	GR
1	XX	1.BRUN		4374499.03250	2.70				
2	YY	1.BRUN		588821.40130	.95				
3	ZZ	1.BRUN		4590124.83960	2.74				
4	XX	2.BRAE		4373504.89900	3.59				
5	YY	2.BRAE		590748.53010	1.01				
6	ZZ	2.BRAE		4591508.36310	3.66				
7	XX	3.GPS		4373208.23750	3.60				
8	YY	3.GPS		593076.65550	1.02				
9	ZZ	3.GPS		4591518.42770	3.68				
10	XX	4.ERGI		4375515.20380	3.03				
11	YY	4.ERGI		593027.46980	.99				
12	ZZ	4.ERGI		4588794.90480	3.11				
13	XX	5.OEMS		4376895.65840	3.58				
14	YY	5.OEMS		590962.64400	1.09				
15	ZZ	5.OEMS		4588103.00290	3.65				
16	XX	6.GPS		4377340.67100	3.55				
17	YY	6.GPS		587795.39200	1.08				
18	ZZ	6.GPS		4588206.35320	3.67				
19	XX	8.SUST		4375288.68370	1.85				
20	YY	8.SUST		587437.05160	.91				
21	ZZ	8.SUST		4589094.52640	1.92				
22	XX	9.EMSH		4378713.02510	4.56				
23	YY	9.EMSH		590398.91800	1.12				
24	ZZ	9.EMSH		4587675.89010	4.60				
25	DS	2.BRAE	1.BRUN	2572.24886	.83	1.8369	1.6471	2572.2121	
26	DS	2.BRAE	5.OEMS	4810.37795	1.47	1.8369	1.5049	4810.3697	
27	DS	3.JEIZ	2.BRAE	2289.65543	.75	1.7863	1.8199	2289.6553	
28	DS	3.JEIZ	4.ERGI	3494.52012	1.09	1.7863	2.1601	3494.5592	
29	DS	4.ERGI	1.BRUN	4526.86512	1.39	2.1771	1.6471	4526.8509	
30	DS	4.ERGI	2.BRAE	4074.00659	1.26	2.1771	1.8199	4074.0396	
31	DS	4.ERGI	3.JEIZ	3494.52137	1.09	2.1771	1.7693	3494.5643	
32	DS	4.ERGI	5.OEMS	2578.29072	.82	2.1771	1.5049	2578.3569	
33	DS	4.ERGI	6.AGAR	5600.66388	1.71	2.1771	1.5620	5600.7018	
34	DS	4.ERGI	7.TURT	2005.82841	.67	2.1771	1.5726	2005.6749	
35	DS	6.AGAR	1.BRUN	3571.70204	1.11	1.5790	1.6471	3571.7109	
36	DS	6.AGAR	2.BRAE	5861.26145	1.78	1.5790	1.8199	5861.2600	
37	DS	6.AGAR	3.JEIZ	7403.06489	2.24	1.5790	1.7693	7403.0642	
38	DS	6.AGAR	5.OEMS	3234.32492	1.01	1.5790	1.5049	3234.3229	
39	DS	6.AGAR	7.TURT	4887.98014	1.50	1.5790	1.5726	4887.9790	
40	DS	7.TURT	1.BRUN	2767.57468	.88	1.5896	1.6471	2767.5666	
41	DS	7.TURT	4.ERGI	2005.82038	.67	1.5896	2.1601	2005.6753	
42	DS	8.SUST	1.BRUN	1897.87791	.64	1.0156	1.6471	1897.7673	
43	DS	8.SUST	2.BRAE	4469.42480	1.37	1.0156	1.8199	4469.2751	
44	DS	8.SUST	3.JEIZ	6397.91377	1.94	1.0156	1.7693	6397.8165	
45	DS	8.SUST	4.ERGI	5603.11949	1.70	1.0156	2.1601	5603.0260	
46	DS	8.SUST	5.OEMS	3999.49977	1.23	1.0156	1.5049	3999.4129	
47	DS	8.SUST	7.TURT	4154.80558	1.28	1.0156	1.5726	4154.8127	
48	DS	1.BRUN	2.BRAE	2572.24770	1.32	1.2649	1.4378	2572.2142	
49	DS	1.BRUN	3.JEIZ	4580.82170	1.41	1.2649	1.3888	4580.8084	
50	DS	1.BRUN	4.ERGI	4526.86200	2.28	1.2649	1.7779	4526.8478	
51	DS	1.BRUN	5.OEMS	3796.90500	.64	1.2649	1.1239	3796.9190	
52	DS	1.BRUN	6.AGAR	3571.69840	.61	1.2649	1.1825	3571.7092	
53	DS	1.BRUN	7.TURT	2767.57650	.88	1.2649	1.1909	2767.5662	
54	DS	1.BRUN	8.SUST	1897.88270	.99	1.2649	.6176	1897.7695	
55	DS	2.BRAE	1.BRUN	2572.24660	.49	1.4378	1.2649	2572.2131	
56	DS	2.BRAE	3.JEIZ	2289.65720	1.18	1.4378	1.3888	2289.6570	
57	DS	2.BRAE	4.ERGI	4074.00690	.68	1.4378	1.7779	4074.0381	
58	DS	2.BRAE	5.OEMS	4810.38010	.78	1.4378	1.1239	4810.3723	
59	DS	2.BRAE	6.AGAR	5861.25680	.93	1.4378	1.1825	5861.2555	
60	DS	2.BRAE	7.TURT	2423.00840	.47	1.4378	1.1909	2422.9183	
61	DS	2.BRAE	8.SUST	4469.42660	.73	1.4378	.6176	4469.2745	
62	DS	3.JEIZ	1.BRUN	4580.82480	.75	1.3888	1.2649	4580.8116	
63	DS	3.JEIZ	2.BRAE	2289.65740	1.18	1.3888	1.4378	2289.6572	
64	DS	3.JEIZ	4.ERGI	3494.52130	.60	1.3888	1.7779	3494.5620	
65	DS	3.JEIZ	5.OEMS	5365.09250	.85	1.3888	1.1239	5365.0870	
66	DS	3.JEIZ	6.AGAR	7403.06020	1.15	1.3888	1.1825	7403.0597	
67	DS	3.JEIZ	7.TURT	2827.09480	1.44	1.3888	1.1909	2827.0335	

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 4

NR	TYP	STATION	ZIEL	BEOB [g,m]	M.F. [g,m]	IH [m]	SH [m]	ZENTRIERT [g,m]	GR
68	DS	3.JEIZ	8.SUST	6397.91230	1.94	1.3888	.6176	6397.8136	
69	DS	4.ERGI	1.BRUN	4526.86340	.74	1.7779	1.2649	4526.8496	
70	DS	4.ERGI	2.BRAE	4074.00610	.68	1.7779	1.4378	4074.0375	
71	DS	4.ERGI	3.JEIZ	3494.51980	.60	1.7779	1.3888	3494.5607	
72	DS	4.ERGI	5.OEMS	2578.29250	.49	1.7779	1.1239	2578.3569	
73	DS	4.ERGI	6.AGAR	5600.66340	.89	1.7779	1.1825	5600.7001	
74	DS	4.ERGI	7.TURT	2005.82390	.42	1.7779	1.1909	2005.6748	
75	DS	4.ERGI	8.SUST	5603.11720	.89	1.7779	.6176	5603.0234	
76	DS	5.OEMS	1.BRUN	3796.90680	.64	1.1239	1.2649	3796.9208	
77	DS	5.OEMS	2.BRAE	4810.38050	.78	1.1239	1.4378	4810.3725	
78	DS	5.OEMS	3.JEIZ	5365.09200	.85	1.1239	1.3888	5365.0863	
79	DS	5.OEMS	4.ERGI	2578.29370	.49	1.1239	1.7779	2578.3579	
80	DS	5.OEMS	6.AGAR	3234.32480	.57	1.1239	1.1825	3234.3232	
81	DS	5.OEMS	7.TURT	2868.19610	.52	1.1239	1.1909	2868.2139	
82	DS	5.OEMS	8.SUST	3999.50170	.67	1.1239	.6176	3999.4121	
83	DS	6.AGAR	1.BRUN	3571.69930	.61	1.1825	1.2649	3571.7100	
84	DS	6.AGAR	2.BRAE	5861.25630	.92	1.1825	1.4378	5861.2548	
85	DS	6.AGAR	3.JEIZ	7403.05780	1.15	1.1825	1.3888	7403.0570	
86	DS	6.AGAR	4.ERGI	5600.66530	.89	1.1825	1.7779	5600.7015	
87	DS	6.AGAR	5.OEMS	3234.32540	.57	1.1825	1.1239	3234.3238	
88	DS	6.AGAR	7.TURT	4887.97550	.79	1.1825	1.1909	4887.9770	
89	DS	6.AGAR	8.SUST	2243.15800	.73	1.1825	.6176	2242.9569	
90	DS	7.TURT	1.BRUN	2767.57740	.88	1.1909	1.2649	2767.5671	
91	DS	7.TURT	2.BRAE	2423.00860	.47	1.1909	1.4378	2422.9184	
92	DS	7.TURT	3.JEIZ	2827.09310	.90	1.1909	1.3888	2827.0317	
93	DS	7.TURT	4.ERGI	2005.82490	.67	1.1909	1.7779	2005.6756	
94	DS	7.TURT	5.OEMS	2868.19600	.52	1.1909	1.1239	2868.2138	
95	DS	7.TURT	6.AGAR	4887.97740	.79	1.1909	1.1825	4887.9789	
96	DS	7.TURT	8.SUST	4154.80780	2.10	1.1909	.6176	4154.8155	
97	DS	8.SUST	1.BRUN	1897.87907	1.00	.6176	1.2649	1897.7657	
98	DS	8.SUST	2.BRAE	4469.42742	2.25	.6176	1.4378	4469.2748	
99	DS	8.SUST	3.JEIZ	6397.91394	3.21	.6176	1.3888	6397.8144	
100	DS	8.SUST	4.ERGI	5603.11577	2.82	.6176	1.7779	5603.0209	
101	DS	8.SUST	5.OEMS	3999.50071	2.02	.6176	1.1239	3999.4108	
102	DS	8.SUST	6.AGAR	2243.15823	1.16	.6176	1.1825	2242.9570	
103	DS	8.SUST	7.TURT	4154.80231	2.10	.6176	1.1909	4154.8096	
104	RI	1.BRUN	4.ERGI	399.99990	2.20				
105	RI	1.BRUN	5.OEMS	38.37034	2.20				
106	RI	1.BRUN	6.AGAR	96.48505	2.20				
107	RI	1.BRUN	8.SUST	128.07939	2.20				
108	RI	1.BRUN	2.BRAE	330.06524	2.20				
109	RI	1.BRUN	3.JEIZ	349.99403	2.20				
110	RI	1.BRUN	7.TURT	386.22268	2.20				
111	RI	2.BRAE	6.AGAR	-.00002	2.20				
112	RI	2.BRAE	8.SUST	18.82683	2.20				
113	RI	2.BRAE	1.BRUN	19.67175	2.20				
114	RI	2.BRAE	3.JEIZ	261.64724	3.40				
115	RI	2.BRAE	4.ERGI	326.98554	3.30				
116	RI	2.BRAE	7.TURT	342.20461	2.90				
117	RI	2.BRAE	5.OEMS	362.81576	2.20				
118	RI	2.BRAE	2.GPS	51.67663	12.00				
119	RI	2.BRAE	7.2	-57.44797	999.00				
120	RI	3.JEIZ	4.ERGI	-.00028	2.20				
121	RI	3.JEIZ	5.OEMS	25.78708	2.20				
122	RI	3.JEIZ	7.TURT	37.46941	2.20				
123	RI	3.JEIZ	6.AGAR	51.30500	2.20				
124	RI	3.JEIZ	8.SUST	68.16425	2.20				
125	RI	3.JEIZ	1.BRUN	74.50175	2.20				
126	RI	3.JEIZ	2.BRAE	96.54847	2.20				
127	RI	3.JEIZ	3.GPS	240.01980	3.70				
128	RI	3.JEIZ	3.GPS.E	241.22588	3.70				
129	RI	3.JEIZ	6.GPS	50.97113	999.00				
130	RI	3.JEIZ	7.2	37.54410	5.00				
131	RI	3.GPS	3.JEIZ	33.15427	3.70				
132	RI	3.GPS	3.GPS.E	251.59883	30.00				
133	RI	3.GPS.E	7.2	30.73015	5.00				
134	RI	3.GPS.E	3.JEIZ	34.28537	3.70				
135	RI	3.GPS.E	3.GPS	51.51966	30.00				
136	RI	4.ERGI	1.BRUN	399.99998	2.20				
137	RI	4.ERGI	7.TURT	19.62191	2.20				

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 5

NR	TYP	STATION	ZIEL	BEOB [g,m]	M.F. [g,m]	IH [m]	SH [m]	ZENTRIERT [g,m]	GR
138	RI	4.ERGI	2.BRAE	37.37797	2.20				
139	RI	4.ERGI	3.JEIZ	75.49140	2.20				
140	RI	4.ERGI	5.OEMS	337.12230	2.20				
141	RI	4.ERGI	6.AGAR	356.40522	2.20				
142	RI	4.ERGI	8.SUST	380.43072	2.20				
143	RI	5.OEMS	4.ERGI	399.99996	2.20				
144	RI	5.OEMS	6.AGAR	234.49881	2.20				
145	RI	5.OEMS	8.SUST	270.20456	2.20				
146	RI	5.OEMS	1.BRUN	301.24854	2.20				
147	RI	5.OEMS	2.BRAE	336.08599	2.20				
148	RI	5.OEMS	7.TURT	352.80132	2.20				
149	RI	5.OEMS	3.JEIZ	364.15686	2.20				
150	RI	6.AGAR	1.BRUN	.00008	2.20				
151	RI	6.AGAR	2.BRAE	13.90851	2.20				
152	RI	6.AGAR	3.JEIZ	30.31276	2.20				
153	RI	6.AGAR	7.TURT	37.99527	2.20				
154	RI	6.AGAR	4.ERGI	59.92170	2.20				
155	RI	6.AGAR	5.OEMS	75.13725	2.20				
156	RI	6.AGAR	6.GPS	111.44425	5.60				
157	RI	6.AGAR	8.SUST	372.09093	2.20				
158	RI	6.GPS	1.BRUN	.00000	5.00				
159	RI	6.GPS	6.AGAR	312.16165	5.60				
160	RI	7.TURT	1.BRUN	-.00002	2.20				
161	RI	7.TURT	2.BRAE	66.37436	2.20				
162	RI	7.TURT	3.JEIZ	126.74109	2.20				
163	RI	7.TURT	4.ERGI	233.39973	2.20				
164	RI	7.TURT	5.OEMS	303.70266	2.20				
165	RI	7.TURT	6.AGAR	348.25904	2.20				
166	RI	7.TURT	8.SUST	376.82875	2.20				
167	RI	7.TURT	7.1	218.60507	16.80				
168	RI	7.TURT	7.2	342.10967	14.80				
169	RI	7.TURT	6.GPS	347.76396	5.00				
170	RI	7.1	8.SUST	.00000	5.00				
171	RI	7.1	7.2	.46188	9.90				
172	RI	7.1	7.TURT	41.66754	16.80				
173	RI	7.1	6.GPS	-29.03609	5.00				
174	RI	7.1	1.BRUN	23.13918	5.00				
175	RI	7.2	6.GPS	.00000	5.00				
176	RI	7.2	1.BRUN	52.46355	5.00				
177	RI	7.2	7.TURT	194.33087	14.80				
178	RI	7.2	7.1	229.61740	9.90				
179	RI	8.SUST	1.BRUN	-.00004	2.20				
180	RI	8.SUST	2.BRAE	1.14102	2.20				
181	RI	8.SUST	3.JEIZ	15.57653	2.20				
182	RI	8.SUST	7.TURT	34.97064	2.20				
183	RI	8.SUST	4.ERGI	52.35099	2.20				
184	RI	8.SUST	5.OEMS	79.24644	2.20				
185	RI	8.SUST	6.AGAR	140.49540	2.20				
186	RI	8.SUST	8.1	202.47932	11.10				
187	RI	8.1	1.BRUN	.00000	5.00				
188	RI	8.1	2.BRAE	1.12235	5.00				
189	RI	8.1	8.SUST	2.45667	11.10				
190	HW	1.BRUN	2.BRAE	12.38943	3.00	.0000	.0000	12.3894	
191	HW	1.BRUN	3.JEIZ	6.79746	3.00	.0000	.0000	6.7975	
192	HW	1.BRUN	4.ERGI	1.70810	3.00	.0000	.0000	1.7081	
193	HW	1.BRUN	5.OEMS	6.31275	3.00	.0000	.0000	6.3128	
194	HW	1.BRUN	6.AGAR	8.32516	3.00	.0000	.0000	8.3252	
195	HW	1.BRUN	7.TURT	-8.93229	3.00	.0000	.0000	-8.9323	(1)
196	HW	1.BRUN	8.SUST	-11.19460	3.00	.0000	.0000	-11.1946	
197	HW	2.BRAE	1.BRUN	-12.41294	3.00	.0000	.0000	-12.4129	(1)
198	HW	2.BRAE	3.JEIZ	-.23744	3.00	.0000	.0000	-.2374	(1)
199	HW	2.BRAE	4.ERGI	-5.88405	3.00	.0000	.0000	-5.8841	
200	HW	2.BRAE	5.OEMS	-1.62149	3.00	.0000	.0000	-1.6215	
201	HW	2.BRAE	6.AGAR	-.36536	3.00	.0000	.0000	-.3654	
202	HW	2.BRAE	7.TURT	-23.79473	3.00	.0000	.0000	-23.7947	(1)
203	HW	2.BRAE	8.SUST	-11.90659	3.00	.0000	.0000	-11.9066	
204	HW	3.JEIZ	1.BRUN	-6.84395	3.00	.0000	.0000	-6.8440	
205	HW	3.JEIZ	2.BRAE	.21149	3.00	.0000	.0000	.2115	(1)
206	HW	3.JEIZ	4.ERGI	-6.70879	3.00	.0000	.0000	-6.7088	
207	HW	3.JEIZ	5.OEMS	-1.36412	3.00	.0000	.0000	-1.3641	

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 6

NR	TYP	STATION	ZIEL	BOEB [g,m]	M.F. [g,m]	IH [m]	SH [m]	ZENTRIERT [g,m]	GR
208	HW	3.JEIZ	6.AGAR	-.23497	3.00	.0000	.0000	-.2350	
209	HW	3.JEIZ	7.TURT	-20.07625	3.00	.0000	.0000	-20.0763	(1)
210	HW	3.JEIZ	8.SUST	-8.22963	3.00	.0000	.0000	-8.2296	
211	HW	4.ERGI	1.BRUN	-1.74889	3.00	.0000	.0000	-1.7489	
212	HW	4.ERGI	2.BRAE	5.85335	3.00	.0000	.0000	5.8533	
213	HW	4.ERGI	3.JEIZ	6.68455	3.00	.0000	.0000	6.6845	
214	HW	4.ERGI	5.OEMS	6.26464	3.00	.0000	.0000	6.2646	
215	HW	4.ERGI	6.AGAR	3.88015	3.00	.0000	.0000	3.8801	
216	HW	4.ERGI	7.TURT	-16.35466	3.00	.0000	.0000	-16.3547	(1)
217	HW	4.ERGI	8.SUST	-5.19903	3.00	.0000	.0000	-5.1990	
218	HW	5.OEMS	1.BRUN	-6.34208	3.00	.0000	.0000	-6.3421	
219	HW	5.OEMS	2.BRAE	1.58619	3.00	.0000	.0000	1.5862	
220	HW	5.OEMS	3.JEIZ	1.32111	3.00	.0000	.0000	1.3211	
221	HW	5.OEMS	4.ERGI	-6.28860	3.00	.0000	.0000	-6.2886	
222	HW	5.OEMS	6.AGAR	1.74980	3.00	.0000	.0000	1.7498	
223	HW	5.OEMS	7.TURT	-17.15633	3.00	.0000	.0000	-17.1563	(1)
224	HW	5.OEMS	8.SUST	-11.35597	3.00	.0000	.0000	-11.3560	
225	HW	6.AGAR	1.BRUN	-8.35035	3.00	.0000	.0000	-8.3504	
226	HW	6.AGAR	2.BRAE	.31864	3.00	.0000	.0000	.3186	
227	HW	6.AGAR	3.JEIZ	.16920	3.00	.0000	.0000	.1692	
228	HW	6.AGAR	4.ERGI	-3.93364	3.00	.0000	.0000	-3.9336	
229	HW	6.AGAR	5.OEMS	-1.78176	3.00	.0000	.0000	-1.7818	
230	HW	6.AGAR	7.TURT	-11.18678	3.00	.0000	.0000	-11.1868	
231	HW	6.AGAR	8.SUST	-23.17140	3.00	.0000	.0000	-23.1714	(1)
232	HW	7.TURT	1.BRUN	8.90530	3.00	.0000	.0000	8.9053	
233	HW	7.TURT	2.BRAE	23.77701	3.00	.0000	.0000	23.7770	
234	HW	7.TURT	3.JEIZ	20.05205	3.00	.0000	.0000	20.0521	
235	HW	7.TURT	4.ERGI	16.33853	3.00	.0000	.0000	16.3385	
236	HW	7.TURT	5.OEMS	17.13571	3.00	.0000	.0000	17.1357	
237	HW	7.TURT	6.AGAR	11.14401	3.00	.0000	.0000	11.1440	
238	HW	7.TURT	8.SUST	.81725	3.00	.0000	.0000	.8173	
239	HW	8.SUST	1.BRUN	11.17940	3.00	.0000	.0000	11.1794	
240	HW	8.SUST	2.BRAE	11.86792	3.00	.0000	.0000	11.8679	
241	HW	8.SUST	3.JEIZ	8.16836	3.00	.0000	.0000	8.1684	
242	HW	8.SUST	4.ERGI	5.14481	3.00	.0000	.0000	5.1448	
243	HW	8.SUST	5.OEMS	11.31966	3.00	.0000	.0000	11.3197	
244	HW	8.SUST	6.AGAR	23.15603	3.00	.0000	.0000	23.1560	
245	HW	8.SUST	7.TURT	-.85782	3.00	.0000	.0000	-.8578	
246	AL	7.TURT		8.55475	4.00				
247	AB	7.TURT		51.45363	3.00				
248	AL	7.1		8.55489	4.00				
249	AB	7.1		51.45359	3.00				
250	AL	7.2		8.55455	4.00				
251	AB	7.2		51.45359	3.00				
252	AL	1.BRUN		8.51574	4.00				
253	AB	1.BRUN		51.45769	3.00				
254	AL	2.BRAE		8.54517	4.00				
255	AB	2.BRAE		51.46974	3.00				
256	AL	3.JEIZ		8.58013	4.00				
257	AB	3.JEIZ		51.46909	3.00				
258	AL	3.GPS		8.58109	4.00				
259	AB	3.GPS		51.46978	3.00				
260	AL	3.GPS.E		8.58118	4.00				
261	AB	3.GPS.E		51.46982	3.00				
262	AL	4.ERGI		8.57281	4.00				
263	AB	4.ERGI		51.44540	3.00				
264	AL	5.OEMS		8.54285	4.00				
265	AB	5.OEMS		51.43471	3.00				
266	AL	6.AGAR		8.49666	4.00				
267	AB	6.AGAR		51.43609	3.00				
268	AL	6.GPS		8.49723	4.00				
269	AB	6.GPS		51.43583	3.00				
270	AL	8.SUST		8.49497	4.00				
271	AB	8.SUST		51.45090	3.00				
272	AL	8.1		8.49476	4.00				
273	AB	8.1		51.45085	3.00				
274	AL	7.TURT		8.55494	2.20				
275	AB	7.TURT		51.45298	1.50				
276	AL	1.BRUN		8.51516	999.00				
277	AB	1.BRUN		51.45676	999.00				

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 7

NR	TYP	STATION	ZIEL	BEOB [g,m]	M.F. [g,m]	IH [m]	SH [m]	ZENTRIERT [g,m]	GR
278	AL	2.BRAE		8.54527	2.20				
279	AB	2.BRAE		51.46913	1.50				
280	AL	3.JEIZ		8.58056	2.20				
281	AB	3.JEIZ		51.46860	1.50				
282	AL	4.ERGI		8.57307	2.20				
283	AB	4.ERGI		51.44524	1.50				
284	AL	5.OEMS		8.54312	2.20				
285	AB	5.OEMS		51.43472	1.50				
286	AL	6.AGAR		8.49648	2.20				
287	AB	6.AGAR		51.43608	1.50				
288	AL	8.SUST		8.49511	2.20				
289	AB	8.SUST		51.45039	1.50				
290	AZ	1.BRUN	5.OEMS	168.34016	4.00				
291	AZ	1.BRUN	8.SUST	258.04936	4.00				
292	AZ	2.BRAE	5.OEMS	203.19998	4.00				
293	AZ	2.BRAE	8.SUST	259.21079	4.00				
294	AZ	3.JEIZ	5.OEMS	231.29565	4.00				
295	AZ	3.JEIZ	8.SUST	273.67190	4.00				
296	AZ	4.ERGI	8.SUST	310.44352	4.00				
297	AZ	4.ERGI	5.OEMS	267.13483	5.00				
298	AZ	5.OEMS	7.TURT	19.91439	5.00				
299	AZ	5.OEMS	1.BRUN	368.36074	5.00				
300	AZ	6.GPS	1.BRUN	25.72178	4.00				
301	AZ	6.GPS	7.TURT	63.94144	4.00				
302	AZ	7.TURT	5.OEMS	219.92237	4.00				
303	AZ	7.TURT	8.SUST	293.04923	4.00				
304	AZ	7.TURT	1.BRUN	316.22059	5.00				
305	AZ	8.SUST	7.TURT	93.00554	4.00				
306	AZ	8.SUST	5.OEMS	137.28135	5.00				
307	DH	7.TURT	8.SUST	54.66610	12.00	1.3098	1.2019	54.5582	
308	DS	3.GPS	3.JEIZ	92.93790	5.00	.1429	1.6597	93.3809	
309	DS	3.GPS.E	3.JEIZ	99.12830	5.00	1.4585	1.6597	99.1848	
310	DS	3.JEIZ	3.GPS	92.86700	5.00	1.7730	.0000	93.3826	
311	DS	6.AGAR	6.GPS	40.86200	10.00	1.5100	.8660	40.8213	
312	DS	3.GPS	3.JEIZ	92.93790	5.00	.1429	1.6597	93.3809	
313	DS	2.BRAE	2.GPS	16.47530	.60	.0000	.0000	16.4753	
314	DS	3.GPS.E	3.GPS	6.31200	.30	.0000	.0000	6.3120	
315	DS	7.TURT	7.1	11.54750	.60	.0000	.0000	11.5475	
316	DS	7.TURT	7.2	13.22910	.50	.0000	.0000	13.2291	
317	DS	7.2	7.1	20.46000	2.00	.0000	.0000	20.4600	
318	DS	8.SUST	8.1	17.87810	.40	.0000	.0000	17.8781	
319	DS	8.1	8.SUST	17.87880	.90	.0000	.0000	17.8788	
320	DS	7.TURT	7.1	11.54750	.30	.0000	.0000	11.5475	
321	DS	7.TURT	7.2	13.22830	.50	.0000	.0000	13.2283	
322	DS	7.TURT	7.1	11.54750	.40	.0000	.0000	11.5475	
323	DS	7.2	7.1	20.45940	.70	.0000	.0000	20.4594	
324	DS	8.SUST	8.1	17.87960	.80	.0000	.0000	17.8796	
325	DS	8.1	8.SUST	17.87890	1.30	.0000	.0000	17.8789	
326	DS	7.TURT	7.2	13.23034	.30	1.1909	1.2176	13.2303	
327	DS	7.TURT	7.2	13.23024	.30	1.1909	1.2176	13.2302	
328	DS	7.TURT	7.1	11.54780	.30	1.1909	1.3849	11.5462	
329	DS	7.TURT	7.1	11.54770	.30	1.1909	1.3849	11.5461	
330	DS	2.BRAE	2.GPS	16.51024	.30	1.4377	.3403	16.4737	
331	DS	3.JEIZ	3.GPS	92.95602	.30	1.3888	-.0724	93.3832	
332	DS	3.JEIZ	3.GPS.E	99.08321	.30	1.3888	1.0194	99.1867	
333	DS	6.AGAR	6.GPS	40.81590	.30	1.1824	1.4177	40.8283	
334	DH	2.BRAE	2.GPS	.00000	.10	1.3621	1.3615	-.0006	
335	DH	3.GPS	3.GPS.E	.00000	.10	1.4086	1.4088	.0002	
336	DH	7.TURT	7.1	.00000	.10	1.3098	1.3101	.0003	
337	DH	7.TURT	7.2	.00000	.10	1.3098	1.3142	.0044	
338	DH	6.AGAR	6.GPS	-2.26520	.10	1.3215	1.3242	-2.2625	
339	DH	8.SUST	8.1	.00000	.10	1.2019	1.2019	.0000	
340	HW	3.JEIZ	3.GPS	18.49629	5.00	1.5060	.1905	19.3555	
341	HW	3.JEIZ	3.GPS	18.19641	5.00	1.6840	-.0890	19.3561	

FUER FOLGENDE ROTATIONSUNBEKANNTE FEHLEN NOETIGE BEOBACHTUNGEN, DIE NAEHERUNGSWERTE WERDEN FESTGEHALTEN

UNBEKANNTE: 58

UNBEKANNTE: 59

UNBEKANNTE: 60

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION: IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 8

RESULTATE DER AUSGLEICHUNG ITERATION: 1

```

*****
16 PUNKTE          SUMME PVV      = 400.679      86 RICHTUNGEN    64.705  1.073
15 STATIONEN      SIGMA0        = 1.000        58 HOEHENWINKEL  48.282  1.033
95 UNBEKANNTE     MO            = 1.276        105 SCHRAEGDISTANZEN 83.868  1.345
 1 REFR.KOEFF.    MO**2/SIGMA0**2 = 1.629        22 BREITEN       10.967  1.200
 0 MASSSTAEBE     22 LAENGEN    12.258   .917
341 BEOBACHTUNGEN 17 AZIMUTE    14.664   .973
246 FREIHEITSGRADE 7 ELL.HOEHEN-DIFF. .860  1.309

DELTA X = -674.4371      8 GPS-KOORD.XX    6.320  2.344
DELTA Y = -14.7681      8 YY              5.462  2.017
DELTA Z = -405.5179     8 ZZ              6.211  1.987

```

DIE UNBEKANNTEN UND IHRE MITTL.FEHLER:

NR	PUNKT		X0 [m]	DX [mm]	X0+DX [m]	MX [mm]	B/L/H(ELL) [g,m]	YKO/XKO/H(ORTH) [m]
	7.TURT	X	4373700.0721		FESTPUNKT		51.45352004	620176.7100
		Y	591465.9898				8.55724999	128424.4280
		Z	4588963.1846				623.7572	622.4474
1	6.GPS	X	4376666.2617	-38.61	4376666.2230	8.03	51.42780836	616136.3431
2	6.GPS	Y	587780.6080	.39	587780.6084	7.60	8.49886899	125840.1582
3	6.GPS	Z	4587800.8390	-15.43	4587800.8235	7.76	1474.4022	1473.0780
4	2.BRAE	X	4372830.4517	-6.85	4372830.4449	4.07	51.47522902	619560.4812
5	2.BRAE	Y	590733.7589	1.07	590733.7600	4.84	8.54846244	130594.1076
6	2.BRAE	Z	4591102.8454	-6.26	4591102.8391	2.05	1508.1806	1506.8185
7	1.BRUN	X	4373824.5919	-15.13	4373824.5768	6.15	51.46041904	617522.6147
8	1.BRUN	Y	588806.6330	-4.04	588806.6289	1.26	8.51899380	129106.2997
9	1.BRUN	Z	4589719.3200	-7.98	4589719.3120	4.64	1010.1189	1008.8711
10	9.EMSH	X	4378038.4158	176.80	4378038.5926	6.06	51.41181260	618537.6181
11	9.EMSH	Y	590384.3125	-176.95	590384.1356	11.15	8.53342161	124246.8769
12	9.EMSH	Z	4587270.6996	-322.63	4587270.3769	8.88	2271.1030	2269.6116
13	4.ERGI	X	4374840.7897	-25.37	4374840.7644	3.70	51.43988903	621560.9930
14	4.ERGI	Y	593012.7150	-16.55	593012.6985	3.08	8.57714795	127065.6012
15	4.ERGI	Z	4588389.4053	-21.69	4588389.3837	3.42	1133.1989	1131.8061
16	3.GPS	X	4372533.8010	-6.70	4372533.7943	4.73	51.47516605	621906.9499
17	3.GPS	Y	593061.8847	2.91	593061.8876	5.37	8.58232192	130595.8678
18	3.GPS	Z	4591112.9270	-18.21	4591112.9088	3.45	1528.1172	1526.7086
19	8.SUST	X	4374614.2525	-22.69	4374614.2299	8.77	51.44898194	616048.6749
20	8.SUST	Y	587422.2902	-12.55	587422.2776	2.31	8.49768608	127958.0684
21	8.SUST	Z	4588688.9957	4.86	4588689.0006	6.99	678.3009	677.0990
22	5.OEMS	X	4376221.2408	-20.72	4376221.2201	2.35	51.42722683	619334.3139
23	5.OEMS	Y	590947.8771	-11.53	590947.8656	6.78	8.54497707	125791.3717
24	5.OEMS	Z	4587697.4949	-15.61	4587697.4793	4.24	1387.0522	1385.6393
25	7.1	X	4373703.0547	.06	4373703.0548	.19	51.45345999	620186.5912
26	7.1	Y	591476.3449	-.48	591476.3445	.21	8.55739223	128418.4546
27	7.1	Z	4588959.0356	.01	4588959.0356	.18	623.7575	622.4474
28	7.2	X	4373707.2524	.23	4373707.2526	.18	51.45343953	620166.2415
29	7.2	Y	591456.3698	-.33	591456.3695	.24	8.55709859	128416.3394
30	7.2	Z	4588957.6245	-.17	4588957.6244	.18	623.7616	622.4474
31	3.JEIZ	X	4372570.7257	-2.12	4372570.7236	4.62	51.47449376	621848.7774
32	3.JEIZ	Y	593007.9337	.61	593007.9343	5.20	8.58147897	130528.4027
33	3.JEIZ	Z	4591046.2479	-14.73	4591046.2331	3.36	1500.1534	1498.7490
34	3.GPS.E	X	4372530.6592	-6.47	4372530.6527	4.74	51.47519988	621912.2642
35	3.GPS.E	Y	593066.8353	2.55	593066.8379	5.39	8.58239878	130599.2708
36	3.GPS.E	Z	4591115.2643	-18.40	4591115.2459	3.46	1528.1174	1526.7086

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 9

NR	PUNKT		X0 [m]	DX [mm]	X0+DX [m]	MX [mm]	B/L/H(ELL) [g,m]	YKO/XKO/H(ORTH) [m]
37	6.AGAR	X	4376655.9357	-40.59	4376655.8951	8.08	51.42803677	616102.5301
38	6.AGAR	Y	587745.1673	-6.64	587745.1607	7.55	8.49838233	125862.9171
39	6.AGAR	Z	4587818.2641	-12.37	4587818.2517	7.80	1476.6647	1475.3432
40	8.1	X	4374623.6345	-22.49	4374623.6121	8.79	51.44887807	616034.1544
41	8.1	Y	587408.8709	-12.89	587408.8580	2.36	8.49747624	127947.6393
42	8.1	Z	4588681.8174	4.71	4588681.8222	7.01	678.3009	677.0990
43	2.GPS	X	4372834.1087	-7.50	4372834.1012	4.09	51.47520855	619544.1446
44	2.GPS	Y	590717.7571	2.25	590717.7593	4.85	8.54822661	130592.0065
45	2.GPS	Z	4591101.4299	-5.80	4591101.4241	2.08	1508.1800	1506.8185
			ORI [g]	DX(I) [cc]	ORI+DX [g]	MX [cc]	XI/ETA [cc]	
46	7.TURT	OM	316.220261	-2.69	316.219992	2.00		
47	7.TURT	AB	51.453690	-5.00	51.453190	1.38	-3.30	
48	7.TURT	AL	8.554775	-1.79	8.554596	1.78	-18.33	
49	6.GPS	OM	25.721523	3.98	25.721920	6.02		
50	6.GPS	AB	51.435798	.43	51.435841	3.81	80.33	
51	6.GPS	AL	8.496713	4.05	8.497117	3.56	-12.10	
52	2.BRAE	OM	240.383348	7.09	240.384056	2.14		
53	2.BRAE	AB	51.469839	-6.07	51.469232	1.38	-59.97	
54	2.BRAE	AL	8.544929	1.95	8.545124	1.91	-23.06	
55	1.BRUN	OM	129.969471	5.24	129.969995	2.24		
56	1.BRUN	AB	51.457809	-1.40	51.457669	2.12	-27.50	
57	1.BRUN	AL	8.515635	2.07	8.515842	2.39	-21.77	
58	9.EMSH	OM	.000000	.00	.000000	.00		
59	9.EMSH	AB	51.420096	.00	51.420096	.00	82.80	
60	9.EMSH	AL	8.532484	.00	8.532484	.00	-6.50	
61	4.ERGI	OM	330.011742	3.18	330.012060	2.11		
62	4.ERGI	AB	51.445509	-4.05	51.445104	1.42	52.15	
63	4.ERGI	AL	8.572893	4.85	8.573377	1.83	-26.05	
64	3.GPS	OM	212.373639	11.56	212.374795	6.52		
65	3.GPS	AB	51.469926	-1.52	51.469774	3.83	-53.92	
66	3.GPS	AL	8.581134	-3.36	8.581099	5.10	-8.45	
67	8.SUST	OM	58.034679	5.71	58.035251	2.09		
68	8.SUST	AB	51.450932	-3.56	51.450576	1.46	15.94	
69	8.SUST	AL	8.494979	2.75	8.495254	1.79	-16.80	
70	5.OEMS	OM	67.112135	.79	67.112214	2.19		
71	5.OEMS	AB	51.434637	.10	51.434647	1.36	74.20	
72	5.OEMS	AL	8.543009	-.06	8.543003	1.90	-13.64	
73	7.1	OM	293.157477	-.46	293.157431	5.42		
74	7.1	AB	51.453660	-.20	51.453640	3.82	1.80	
75	7.1	AL	8.554917	-.34	8.554882	5.10	-17.34	
76	7.2	OM	264.000019	-2.21	263.999798	5.95		
77	7.2	AB	51.453650	-.63	51.453587	3.83	1.47	
78	7.2	AL	8.554580	-.32	8.554547	5.10	-17.62	
79	3.JEIZ	OM	205.508808	-.33	205.508775	2.04		
80	3.JEIZ	AB	51.469154	-3.03	51.468850	1.43	-56.43	
81	3.JEIZ	AL	8.580292	3.22	8.580614	1.89	-5.98	
82	3.GPS.E	OM	212.450865	-13.71	212.449493	5.46		
83	3.GPS.E	AB	51.469960	-1.35	51.469825	3.83	-53.75	
84	3.GPS.E	AL	8.581211	-.48	8.581164	5.10	-8.53	
85	6.AGAR	OM	26.440059	3.90	26.440449	2.35		
86	6.AGAR	AB	51.436017	.22	51.436038	1.43	80.02	
87	6.AGAR	AL	8.496269	1.90	8.496459	1.97	-13.29	
88	8.1	OM	58.058622	.25	58.058647	5.75		
89	8.1	AB	51.450858	-.15	51.450843	3.83	19.65	
90	8.1	AL	8.494798	-.32	8.494766	5.10	-18.72	
91		RE(1)	.0000	-.0664	-.0664	.0110		

HELMERT-GROESSEN (TRANSFORMATION DES GPS-SYSTEMS)

92	EX	-2.50 [cc]	.72 [cc]
93	EY	-1.36 [cc]	.83 [cc]
94	EZ	-.99 [cc]	1.18 [cc]
95	DM	-1.22 [ppm]	.13 [ppm]

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 10

VERBESSERUNGEN UND AUSGEGLICHENE BEOBACHTUNGEN

NR	VISUR	TYP	M.F. [mm, cc]	V(I) [mm, cc]	ML(I) [mm, cc]	ZI %	WI	N, E, U [mm]	
1	169	7.TURT	6.GPS	RI	5.00	3.53	1.07	97.16	.56
2	161	7.TURT	2.BRAE	RI	2.20	-1.04	1.15	83.21	-.41
3	160	7.TURT	1.BRUN	RI	2.20	1.42	1.06	85.68	.55
4	163	7.TURT	4.ERGI	RI	2.20	-.09	1.12	84.10	-.04
5	166	7.TURT	8.SUST	RI	2.20	.46	1.05	86.06	.18
6	164	7.TURT	5.OEMS	RI	2.20	-.68	1.11	84.36	-.26
7	167	7.TURT	7.1	RI	16.80	10.55	13.34	61.29	.63
8	168	7.TURT	7.2	RI	14.80	13.45	11.58	62.39	.90
9	162	7.TURT	3.JEIZ	RI	2.20	-.35	1.14	83.40	-.14
10	165	7.TURT	6.AGAR	RI	2.20	-.87	1.07	85.37	-.34
11	91	7.TURT	2.BRAE	DS	.47	-.04	.40	56.19	-.08
12	40	7.TURT	1.BRUN	DS	.88	.96	.48	81.45	.95
13	90	7.TURT	1.BRUN	DS	.88	.55	.48	81.45	.54
14	41	7.TURT	4.ERGI	DS	.67	.13	.34	84.39	.16
15	93	7.TURT	4.ERGI	DS	.67	-.19	.34	84.39	-.25
16	96	7.TURT	8.SUST	DS	2.10	-2.66	.58	95.38	-1.02
17	94	7.TURT	5.OEMS	DS	.52	-.15	.41	62.08	-.29
18	315	7.TURT	7.1	DS	.60	-.68	.19	94.07	-.91
19	320	7.TURT	7.1	DS	.30	-.68	.19	76.27	-2.03
20	322	7.TURT	7.1	DS	.40	-.68	.19	86.65	-1.43
21	328	7.TURT	7.1	DS	.30	.66	.19	76.27	1.96
22	329	7.TURT	7.1	DS	.30	.76	.19	76.27	2.26
23	316	7.TURT	7.2	DS	.50	.62	.22	88.28	1.04
24	321	7.TURT	7.2	DS	.50	1.42	.22	88.28	2.37
25	326	7.TURT	7.2	DS	.30	-.58	.22	67.43	-1.85
26	327	7.TURT	7.2	DS	.30	-.48	.22	67.43	-1.54
27	92	7.TURT	3.JEIZ	DS	.90	.68	.65	67.80	.72
28	95	7.TURT	6.AGAR	DS	.79	-.75	.45	80.30	-.83
29	233	7.TURT	2.BRAE	HW	3.00	-2.60	1.47	85.19	-.73
30	232	7.TURT	1.BRUN	HW	3.00	-7.15	1.32	88.09	-1.99
31	235	7.TURT	4.ERGI	HW	3.00	-.12	1.43	86.02	-.03
32	238	7.TURT	8.SUST	HW	3.00	-3.22	1.26	89.12	-.89
33	236	7.TURT	5.OEMS	HW	3.00	-1.59	1.44	85.83	-.45
34	234	7.TURT	3.JEIZ	HW	3.00	-6.74	1.40	86.65	-1.89
35	237	7.TURT	6.AGAR	HW	3.00	-6.89	1.30	88.53	-1.91
36	247	7.TURT	7.TURT	AB	3.00	-4.40	1.38	87.08	-1.23
37	275	7.TURT	7.TURT	AB	1.50	2.10	1.38	48.32	1.58
38	246	7.TURT	7.TURT	AL	4.00	-1.54	1.78	87.86	-.32
39	274	7.TURT	7.TURT	AL	2.20	-3.44	1.78	59.86	-1.58
40	304	7.TURT	1.BRUN	AZ	5.00	-4.76	1.70	92.88	-.77
41	303	7.TURT	8.SUST	AZ	4.00	-4.42	1.71	88.75	-.92
42	302	7.TURT	5.OEMS	AZ	4.00	2.14	1.90	86.12	.45
43	307	7.TURT	8.SUST	DH	12.00	-14.47	5.81	85.61	-1.02
44	336	7.TURT	7.1	DH	.10	.00	.13	.00 **	.72
45	337	7.TURT	7.2	DH	.10	.00	.13	.00 **	1.52
46	158	6.GPS	1.BRUN	RI	5.00	-1.18	5.36	29.38	-.34
47	159	6.GPS	6.AGAR	RI	5.60	1.48	5.68	36.85	.34
48	269	6.GPS	6.GPS	AB	3.00	.11	3.81	.74 **	.35
49	268	6.GPS	6.GPS	AL	4.00	-1.13	3.56	51.30	-.31
50	301	6.GPS	7.TURT	AZ	4.00	1.30	2.78	70.35	.30
51	300	6.GPS	1.BRUN	AZ	4.00	.22	2.81	69.68	.05
52	1	6.GPS	6.GPS	XX	3.55	-2.59	1.49	89.11	-.61
53	2	6.GPS	6.GPS	YY	1.08	-2.03	.86	61.29	-1.89
54	3	6.GPS	6.GPS	ZZ	3.67	-8.41	1.89	83.64	-1.97
55	116	2.BRAE	7.TURT	RI	2.90	-4.97	1.28	88.03	-1.43
56	113	2.BRAE	1.BRUN	RI	2.20	.47	1.22	81.13	.18
57	115	2.BRAE	4.ERGI	RI	3.30	-.07	1.21	91.71	-.02
58	112	2.BRAE	8.SUST	RI	2.20	2.39	1.22	81.22	.95
59	117	2.BRAE	5.OEMS	RI	2.20	-1.98	1.21	81.41	-.78
60	119	2.BRAE	7.2	RI	999.00	-20.81	1.28	100.00	-.02
61	114	2.BRAE	3.JEIZ	RI	3.40	1.73	1.22	92.03	.42
62	111	2.BRAE	6.AGAR	RI	2.20	1.29	1.21	81.32	.51
63	118	2.BRAE	2.GPS	RI	12.00	.00	15.31	.00 **	.00
64	60	2.BRAE	7.TURT	DS	.47	.08	.40	56.19	.18
65	55	2.BRAE	1.BRUN	DS	.49	-.15	.40	59.68	-.31
66	25	2.BRAE	1.BRUN	DS	.83	.86	.40	85.95	.88
67	57	2.BRAE	4.ERGI	DS	.68	-.09	.44	74.56	-.12
68	61	2.BRAE	8.SUST	DS	.73	.73	.49	72.85	.91

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 11

NR	VISUR	TYP	M.F. [mm, cc]	V(I) [mm, cc]	ML(I) [mm, cc]	ZI %	WI	N, E, U [mm]	
69	58	2.BRAE	5.OEMS	DS	.78	-.83	.49	75.95	-.95
70	26	2.BRAE	5.OEMS	DS	1.47	1.77	.49	93.23	.98
71	56	2.BRAE	3.JEIZ	DS	1.18	-.29	.50	88.78	-.20
72	59	2.BRAE	6.AGAR	DS	.93	-.57	.52	80.63	-.54
73	313	2.BRAE	2.GPS	DS	.60	-1.28	.34	80.00	-1.88
74	330	2.BRAE	2.GPS	DS	.30	.32	.34	20.00 **	1.88
75	202	2.BRAE	7.TURT	HW	3.00	-.37	1.81	77.54	-.11
76	197	2.BRAE	1.BRUN	HW	3.00	-4.40	1.90	75.49	-1.32
77	199	2.BRAE	4.ERGI	HW	3.00	.23	1.50	84.69	.06
78	203	2.BRAE	8.SUST	HW	3.00	.09	1.33	87.99	.02
79	200	2.BRAE	5.OEMS	HW	3.00	3.43	1.41	86.39	.96
80	198	2.BRAE	3.JEIZ	HW	3.00	-.26	1.93	74.68	-.08
81	201	2.BRAE	6.AGAR	HW	3.00	-.11	1.33	88.01	-.03
82	255	2.BRAE	2.BRAE	AB	3.00	-5.08	1.38	87.07	-1.42
83	279	2.BRAE	2.BRAE	AB	1.50	1.02	1.38	48.26	.76
84	254	2.BRAE	2.BRAE	AL	4.00	-.46	1.91	85.93	-.10
85	278	2.BRAE	2.BRAE	AL	2.20	-1.46	1.91	53.48	-.71
86	293	2.BRAE	8.SUST	AZ	4.00	3.36	1.75	88.22	.70
87	292	2.BRAE	5.OEMS	AZ	4.00	-3.61	1.82	87.29	-.76
88	334	2.BRAE	2.GPS	DH	.10	.00	.13	.01 **	.00
89	4	2.BRAE	2.BRAE	XX	3.59	-9.21	1.41	90.55	-2.11
90	5	2.BRAE	2.BRAE	YY	1.01	-.09	.64	75.59	-.08
91	6	2.BRAE	2.BRAE	ZZ	3.66	-5.58	.96	95.79	-1.22
92	110	1.BRUN	7.TURT	RI	2.20	-2.44	1.12	84.05	-.95
93	108	1.BRUN	2.BRAE	RI	2.20	-.61	1.11	84.35	-.24
94	104	1.BRUN	4.ERGI	RI	2.20	1.29	1.06	85.65	.50
95	107	1.BRUN	8.SUST	RI	2.20	2.07	1.11	84.28	.80
96	105	1.BRUN	5.OEMS	RI	2.20	-.86	1.07	85.39	-.33
97	109	1.BRUN	3.JEIZ	RI	2.20	-2.18	1.07	85.41	-.84
98	106	1.BRUN	6.AGAR	RI	2.20	2.72	1.10	84.54	1.05
99	53	1.BRUN	7.TURT	DS	.88	1.42	.48	81.45	1.40
100	48	1.BRUN	2.BRAE	DS	1.32	-1.18	.40	94.44	-.72
101	50	1.BRUN	4.ERGI	DS	2.28	1.82	.43	97.85	.63
102	54	1.BRUN	8.SUST	DS	.99	-1.81	.45	87.38	-1.54
103	51	1.BRUN	5.OEMS	DS	.64	.95	.44	71.17	1.38
104	49	1.BRUN	3.JEIZ	DS	1.41	3.13	.47	93.17	1.80
105	52	1.BRUN	6.AGAR	DS	.61	.28	.42	70.84	.42
106	195	1.BRUN	7.TURT	HW	3.00	-2.48	2.06	71.02	-.77
107	190	1.BRUN	2.BRAE	HW	3.00	-.63	1.66	81.30	-.18
108	192	1.BRUN	4.ERGI	HW	3.00	-2.39	1.74	79.29	-.70
109	196	1.BRUN	8.SUST	HW	3.00	1.03	1.71	80.14	.30
110	193	1.BRUN	5.OEMS	HW	3.00	1.30	1.99	72.89	.40
111	191	1.BRUN	3.JEIZ	HW	3.00	2.51	1.54	83.90	.71
112	194	1.BRUN	6.AGAR	HW	3.00	.68	1.87	76.09	.20
113	253	1.BRUN	1.BRUN	AB	3.00	-.21	2.12	69.35	-.06
114	277	1.BRUN	1.BRUN	AB	999.00	9.09	2.12	100.00	.01
115	252	1.BRUN	1.BRUN	AL	4.00	1.02	2.39	78.04	.23
116	276	1.BRUN	1.BRUN	AL	999.00	6.82	2.39	100.00	.01
117	291	1.BRUN	8.SUST	AZ	4.00	2.32	1.89	86.30	.49
118	290	1.BRUN	5.OEMS	AZ	4.00	.89	2.07	83.50	.19
119	7	1.BRUN	1.BRUN	XX	2.70	-7.22	1.29	86.10	-2.26
120	8	1.BRUN	1.BRUN	YY	.95	.96	.57	77.62	.90
121	9	1.BRUN	1.BRUN	ZZ	2.74	-5.43	1.31	85.99	-1.67
122	10	9.EMSH	9.EMSH	XX	4.56	.27	4.90	28.84	.09
123	11	9.EMSH	9.EMSH	YY	1.12	.15	1.18	31.55	.19
124	12	9.EMSH	9.EMSH	ZZ	4.60	.83	4.89	30.79	.26
125	137	4.ERGI	7.TURT	RI	2.20	2.07	1.12	83.99	.80
126	138	4.ERGI	2.BRAE	RI	2.20	-4.90	1.07	85.36	-1.89
127	136	4.ERGI	1.BRUN	RI	2.20	-2.30	1.06	85.69	-.88
128	142	4.ERGI	8.SUST	RI	2.20	2.87	1.07	85.55	1.11
129	140	4.ERGI	5.OEMS	RI	2.20	-1.02	1.08	85.28	-.40
130	139	4.ERGI	3.JEIZ	RI	2.20	.46	1.08	85.32	.18
131	141	4.ERGI	6.AGAR	RI	2.20	2.83	1.07	85.50	1.09
132	34	4.ERGI	7.TURT	DS	.67	.57	.34	84.39	.73
133	74	4.ERGI	7.TURT	DS	.42	.63	.34	60.28	1.52
134	30	4.ERGI	2.BRAE	DS	1.26	-1.57	.44	92.59	-1.01
135	70	4.ERGI	2.BRAE	DS	.68	.50	.44	74.56	.66
136	69	4.ERGI	1.BRUN	DS	.74	.06	.43	79.60	.07
137	29	4.ERGI	1.BRUN	DS	1.39	-1.21	.43	94.22	-.70

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 12

NR	VISUR	TYP	M.F. [mm,cc]	V(I) [mm,cc]	ML(I) [mm,cc]	ZI %	WI	N,E,U [mm]
138	75 4.ERGI	8.SUST	DS	.89	2.01	.51	79.96	1.98
139	32 4.ERGI	5.OEMS	DS	.82	.03	.34	89.31	.03
140	72 4.ERGI	5.OEMS	DS	.49	.04	.34	70.05	.08
141	31 4.ERGI	3.JEIZ	DS	1.09	-3.22	.41	91.30	-2.43
142	71 4.ERGI	3.JEIZ	DS	.60	.31	.41	71.27	.48
143	33 4.ERGI	6.AGAR	DS	1.71	-1.36	.41	96.50	-.63
144	73 4.ERGI	6.AGAR	DS	.89	.34	.41	87.10	.32
145	216 4.ERGI	7.TURT	HW	3.00	5.64	1.69	80.61	1.64
146	212 4.ERGI	2.BRAE	HW	3.00	.81	1.44	85.85	.23
147	211 4.ERGI	1.BRUN	HW	3.00	-.90	1.31	88.22	-.25
148	217 4.ERGI	8.SUST	HW	3.00	3.50	1.29	88.72	.97
149	214 4.ERGI	5.OEMS	HW	3.00	2.98	1.45	85.62	.84
150	213 4.ERGI	3.JEIZ	HW	3.00	3.75	1.56	83.42	1.07
151	215 4.ERGI	6.AGAR	HW	3.00	-.05	1.33	87.89	-.01
152	263 4.ERGI	4.ERGI	AB	3.00	-2.96	1.42	86.18	-.83
153	283 4.ERGI	4.ERGI	AB	1.50	-1.36	1.42	44.70	-1.06
154	262 4.ERGI	4.ERGI	AL	4.00	5.67	1.83	87.08	1.19
155	282 4.ERGI	4.ERGI	AL	2.20	3.07	1.83	57.29	1.45
156	296 4.ERGI	8.SUST	AZ	4.00	-4.53	1.83	87.13	-.95
157	297 4.ERGI	5.OEMS	AZ	5.00	-5.72	1.85	91.61	-.94
158	13 4.ERGI	4.ERGI	XX	3.03	-10.78	.98	93.54	-2.88 ** 2.50
159	14 4.ERGI	4.ERGI	YY	.99	-1.92	.46	86.59	-1.63
160	15 4.ERGI	4.ERGI	ZZ	3.11	-7.84	1.28	89.67	-2.09
161	131 3.GPS	3.JEIZ	RI	3.70	.46	4.70	.79 **	1.09
162	132 3.GPS	3.GPS.E	RI	30.00	-30.04	26.62	51.65	-1.09
163	308 3.GPS	3.JEIZ	DS	5.00	2.02	.30	99.78	.32
164	312 3.GPS	3.JEIZ	DS	5.00	2.02	.30	99.78	.32
165	259 3.GPS	3.GPS	AB	3.00	-.06	3.83	.02 **	-1.09
166	258 3.GPS	3.GPS	AL	4.00	.09	5.10	.02 **	1.09
167	335 3.GPS	3.GPS.E	DH	.10	-.01	.13	.32 **	-1.37
168	16 3.GPS	3.GPS	XX	3.60	-6.80	1.65	87.05	-1.58
169	17 3.GPS	3.GPS	YY	1.02	-1.84	.70	71.21	-1.68
170	18 3.GPS	3.GPS	ZZ	3.68	-4.70	1.48	90.02	-1.05
171	182 8.SUST	7.TURT	RI	2.20	-.35	1.07	85.37	-.13
172	180 8.SUST	2.BRAE	RI	2.20	-1.41	1.08	85.13	-.55
173	179 8.SUST	1.BRUN	RI	2.20	.45	1.09	84.91	.17
174	183 8.SUST	4.ERGI	RI	2.20	.67	1.06	85.72	.26
175	184 8.SUST	5.OEMS	RI	2.20	.45	1.07	85.53	.17
176	181 8.SUST	3.JEIZ	RI	2.20	-.97	1.07	85.54	-.38
177	185 8.SUST	6.AGAR	RI	2.20	.95	1.17	82.68	.37
178	186 8.SUST	8.1	RI	11.10	5.51	10.31	47.07	.57
179	103 8.SUST	7.TURT	DS	2.10	3.20	.58	95.38	1.22
180	47 8.SUST	7.TURT	DS	1.28	.13	.58	87.58	.09
181	98 8.SUST	2.BRAE	DS	2.25	.46	.49	97.14	.16
182	43 8.SUST	2.BRAE	DS	1.37	.12	.49	92.29	.07
183	97 8.SUST	1.BRUN	DS	1.00	2.00	.45	87.63	1.68
184	42 8.SUST	1.BRUN	DS	.64	.39	.45	69.80	.57
185	100 8.SUST	4.ERGI	DS	2.82	4.45	.51	98.00	1.25
186	45 8.SUST	4.ERGI	DS	1.70	-.56	.51	94.51	-.27
187	46 8.SUST	5.OEMS	DS	1.23	-.11	.52	88.93	-.07
188	101 8.SUST	5.OEMS	DS	2.02	1.97	.52	95.90	.78
189	99 8.SUST	3.JEIZ	DS	3.21	-.47	.54	98.29	-.12
190	44 8.SUST	3.JEIZ	DS	1.94	-2.56	.54	95.32	-1.06
191	102 8.SUST	6.AGAR	DS	1.16	-.50	.67	79.59	-.38
192	318 8.SUST	8.1	DS	.40	.38	.41	35.16	1.26
193	324 8.SUST	8.1	DS	.80	-1.12	.41	83.79	-1.20
194	245 8.SUST	7.TURT	HW	3.00	-1.42	1.23	89.66	-.39
195	240 8.SUST	2.BRAE	HW	3.00	-1.03	1.31	88.36	-.29
196	239 8.SUST	1.BRUN	HW	3.00	-4.90	1.41	86.51	-1.38
197	242 8.SUST	4.ERGI	HW	3.00	-2.72	1.29	88.71	-.75
198	243 8.SUST	5.OEMS	HW	3.00	1.14	1.45	85.61	.32
199	241 8.SUST	3.JEIZ	HW	3.00	-3.10	1.25	89.42	-.86
200	244 8.SUST	6.AGAR	HW	3.00	-1.08	1.68	80.76	-.31
201	271 8.SUST	8.SUST	AB	3.00	-3.24	1.46	85.50	-.92
202	289 8.SUST	8.SUST	AB	1.50	1.86	1.46	41.99	1.50
203	270 8.SUST	8.SUST	AL	4.00	2.84	1.79	87.74	.59
204	288 8.SUST	8.SUST	AL	2.20	1.44	1.79	59.46	.66
205	305 8.SUST	7.TURT	AZ	4.00	3.16	1.79	87.71	.66

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 13

NR	VISUR	TYP	M.F. [mm, cc]	V(I) [mm, cc]	ML(I) [mm, cc]	ZI %	WI	N, E, U [mm]		
206	306	8.SUST	5.OEMS	AZ	5.00	3.86	1.86	91.53	.63	
207	339	8.SUST	8.1	DH	.10	.00	.13	.00 **	-.64	
208	19	8.SUST	8.SUST	XX	1.85	-2.93	1.43	63.26	-1.56	1.14
209	20	8.SUST	8.SUST	YY	.91	1.98	.69	64.34	2.12	2.36
210	21	8.SUST	8.SUST	ZZ	1.92	-1.11	1.59	58.15	-.59	-2.62
211	148	5.OEMS	7.TURT	RI	2.20	1.40	1.11	84.47	.54	
212	147	5.OEMS	2.BRAE	RI	2.20	-1.26	1.07	85.49	-.49	
213	146	5.OEMS	1.BRUN	RI	2.20	-3.19	1.06	85.62	-1.23	
214	143	5.OEMS	4.ERGI	RI	2.20	.00	1.07	85.40	.00	
215	145	5.OEMS	8.SUST	RI	2.20	3.76	1.08	85.08	1.45	
216	149	5.OEMS	3.JEIZ	RI	2.20	-.88	1.07	85.50	-.34	
217	144	5.OEMS	6.AGAR	RI	2.20	.17	1.07	85.43	.07	
218	81	5.OEMS	7.TURT	DS	.52	-.22	.41	62.08	-.43	
219	77	5.OEMS	2.BRAE	DS	.78	-.99	.49	75.95	-1.14	
220	76	5.OEMS	1.BRUN	DS	.64	-.76	.44	71.17	-1.11	
221	79	5.OEMS	4.ERGI	DS	.49	-.89	.34	70.05	-1.71	
222	82	5.OEMS	8.SUST	DS	.67	.67	.52	62.70	1.00	
223	78	5.OEMS	3.JEIZ	DS	.85	.89	.49	79.24	.92	
224	80	5.OEMS	6.AGAR	DS	.57	.11	.39	71.91	.18	
225	223	5.OEMS	7.TURT	HW	3.00	-2.81	1.96	73.74	-.85	
226	219	5.OEMS	2.BRAE	HW	3.00	3.42	1.40	86.55	.96	
227	218	5.OEMS	1.BRUN	HW	3.00	.15	1.44	85.84	.04	
228	221	5.OEMS	4.ERGI	HW	3.00	2.48	1.42	86.27	.70	
229	224	5.OEMS	8.SUST	HW	3.00	-.99	1.43	85.98	-.28	
230	220	5.OEMS	3.JEIZ	HW	3.00	1.59	1.38	87.01	.44	
231	222	5.OEMS	6.AGAR	HW	3.00	-2.61	1.44	85.86	-.74	
232	265	5.OEMS	5.OEMS	AB	3.00	-.63	1.36	87.31	-.18	
233	285	5.OEMS	5.OEMS	AB	1.50	-.73	1.36	49.23	-.55	
234	264	5.OEMS	5.OEMS	AL	4.00	1.53	1.90	86.11	.32	
235	284	5.OEMS	5.OEMS	AL	2.20	-1.17	1.90	54.07	-.57	
236	298	5.OEMS	7.TURT	AZ	5.00	-7.15	2.10	89.20	-1.19	
237	299	5.OEMS	1.BRUN	AZ	5.00	-3.05	1.93	90.83	-.50	
238	22	5.OEMS	5.OEMS	XX	3.58	-4.71	1.16	93.54	-1.07	-1.82
239	23	5.OEMS	5.OEMS	YY	1.09	-2.63	.65	77.97	-2.15	-1.97
240	24	5.OEMS	5.OEMS	ZZ	3.65	-7.89	1.68	87.06	-1.82	-9.17
241	172	7.1	7.TURT	RI	16.80	13.53	13.17	62.28	.80	
242	173	7.1	6.GPS	RI	5.00	4.25	3.60	68.21	.81	
243	174	7.1	1.BRUN	RI	5.00	6.14	3.58	68.46	1.16	
244	170	7.1	8.SUST	RI	5.00	-7.20	3.59	68.30	-1.37	
245	171	7.1	7.2	RI	9.90	-17.20	7.53	64.50	-1.69	
246	249	7.1	7.1	AB	3.00	.50	3.82	.47 **	1.89	
247	248	7.1	7.1	AL	4.00	-.08	5.10	.27 **	-.29	
248	177	7.2	7.TURT	RI	14.80	3.04	11.43	63.39	.20	
249	175	7.2	6.GPS	RI	5.00	.24	4.32	54.19	.05	
250	176	7.2	1.BRUN	RI	5.00	-.97	4.32	54.19	-.21	
251	178	7.2	7.1	RI	9.90	1.51	7.59	63.90	.15	
252	317	7.2	7.1	DS	2.00	.02	.31	98.50	.01	
253	323	7.2	7.1	DS	.70	.62	.31	87.79	.74	
254	251	7.2	7.2	AB	3.00	-.03	3.83	.13 **	-.25	
255	250	7.2	7.2	AL	4.00	-.03	5.10	.27 **	-.10	
256	122	3.JEIZ	7.TURT	RI	2.20	2.93	1.10	84.58	1.13	
257	129	3.JEIZ	6.GPS	RI	999.00	-16.12	1.05	100.00	-.01	
258	126	3.JEIZ	2.BRAE	RI	2.20	-1.09	1.06	85.85	-.42	
259	125	3.JEIZ	1.BRUN	RI	2.20	-2.21	1.04	86.34	-.85	
260	120	3.JEIZ	4.ERGI	RI	2.20	-.65	1.04	86.23	-.25	
261	127	3.JEIZ	3.GPS	RI	3.70	.75	3.09	57.06	.21	
262	124	3.JEIZ	8.SUST	RI	2.20	-5.20	1.04	86.34	-1.99	
263	121	3.JEIZ	5.OEMS	RI	2.20	1.84	1.04	86.16	.70	
264	130	3.JEIZ	7.2	RI	5.00	1.78	1.10	97.01	.28	
265	128	3.JEIZ	3.GPS.E	RI	3.70	1.31	3.06	58.09	.36	
266	123	3.JEIZ	6.AGAR	RI	2.20	3.31	1.05	86.07	1.27	
267	67	3.JEIZ	7.TURT	DS	1.44	-1.10	.65	87.42	-.64	
268	63	3.JEIZ	2.BRAE	DS	1.18	-.47	.50	88.78	-.33	
269	27	3.JEIZ	2.BRAE	DS	.75	1.44	.50	72.23	1.77	
270	62	3.JEIZ	1.BRUN	DS	.75	-.06	.47	75.86	-.07	
271	64	3.JEIZ	4.ERGI	DS	.60	-.98	.41	71.27	-1.51	
272	28	3.JEIZ	4.ERGI	DS	1.09	1.80	.41	91.30	1.36	
273	310	3.JEIZ	3.GPS	DS	5.00	.31	.30	99.78	.05	

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 14

NR	VISUR	TYP	M.F. [mm, cc]	V(I) [mm, cc]	ML(I) [mm, cc]	ZI %	WI	N, E, U [mm]	
274	331	3.JEIZ	3.GPS	DS	.30	-.28	.30	38.82	-1.16
275	68	3.JEIZ	8.SUST	DS	1.94	.41	.54	95.32	.17
276	65	3.JEIZ	5.OEMS	DS	.85	.16	.49	79.24	.17
277	332	3.JEIZ	3.GPS.E	DS	.30	.31	.31	35.90	1.33
278	66	3.JEIZ	6.AGAR	DS	1.15	-1.08	.51	87.86	-.79
279	209	3.JEIZ	7.TURT	HW	3.00	4.80	1.87	76.23	1.44
280	205	3.JEIZ	2.BRAE	HW	3.00	-.52	1.79	78.12	-.15
281	204	3.JEIZ	1.BRUN	HW	3.00	2.39	1.28	88.83	.66
282	206	3.JEIZ	4.ERGI	HW	3.00	-2.24	1.55	83.68	-.64
283	340	3.JEIZ	3.GPS	HW	5.00	1.98	4.44	51.53	.43
284	341	3.JEIZ	3.GPS	HW	5.00	-3.91	4.44	51.53	-.85
285	210	3.JEIZ	8.SUST	HW	3.00	2.51	1.24	89.46	.69
286	207	3.JEIZ	5.OEMS	HW	3.00	4.35	1.35	87.60	1.21
287	208	3.JEIZ	6.AGAR	HW	3.00	.64	1.23	89.65	.18
288	281	3.JEIZ	3.JEIZ	AB	1.50	2.50	1.43	44.14	1.97
289	257	3.JEIZ	3.JEIZ	AB	3.00	-2.40	1.43	86.03	-.67
290	280	3.JEIZ	3.JEIZ	AL	2.20	.54	1.89	54.59	.26
291	256	3.JEIZ	3.JEIZ	AL	4.00	4.84	1.89	86.26	1.02
292	295	3.JEIZ	8.SUST	AZ	4.00	6.05	1.77	87.95	1.26
293	294	3.JEIZ	5.OEMS	AZ	4.00	3.88	1.81	87.38	.81
294	135	3.GPS.E	3.GPS	RI	30.00	15.14	25.21	56.63	.53
295	133	3.GPS.E	7.2	RI	5.00	-8.25	4.30	54.53	-1.75
296	134	3.GPS.E	3.JEIZ	RI	3.70	4.29	3.92	31.16	1.63
297	314	3.GPS.E	3.GPS	DS	.30	-.35	.32	31.54	-1.64
298	309	3.GPS.E	3.JEIZ	DS	5.00	2.20	.31	99.77	.35
299	261	3.GPS.E	3.GPS.E	AB	3.00	.05	3.83	.02 **	.85
300	260	3.GPS.E	3.GPS.E	AL	4.00	-.16	5.10	.04 **	-1.61
301	153	6.AGAR	7.TURT	RI	2.20	.02	1.07	85.43	.01
302	156	6.AGAR	6.GPS	RI	5.60	-14.51	5.55	39.63	-3.22 **
303	151	6.AGAR	2.BRAE	RI	2.20	.59	1.07	85.50	.23
304	150	6.AGAR	1.BRUN	RI	2.20	3.10	1.06	85.74	1.19
305	154	6.AGAR	4.ERGI	RI	2.20	-3.40	1.06	85.70	-1.31
306	157	6.AGAR	8.SUST	RI	2.20	4.28	1.14	83.55	1.67
307	155	6.AGAR	5.OEMS	RI	2.20	-3.18	1.07	85.56	-1.23
308	152	6.AGAR	3.JEIZ	RI	2.20	.84	1.07	85.51	.32
309	39	6.AGAR	7.TURT	DS	1.50	-.91	.45	94.54	-.49
310	88	6.AGAR	7.TURT	DS	.79	1.16	.45	80.30	1.28
311	311	6.AGAR	6.GPS	DS	10.00	7.04	.37	99.92	.55
312	333	6.AGAR	6.GPS	DS	.30	.03	.37	7.90 **	.25
313	36	6.AGAR	2.BRAE	DS	1.78	-5.07	.52	94.71	-2.29
314	84	6.AGAR	2.BRAE	DS	.92	.16	.52	80.21	.15
315	83	6.AGAR	1.BRUN	DS	.61	-.58	.42	70.84	-.88
316	35	6.AGAR	1.BRUN	DS	1.11	-1.45	.42	91.19	-1.07
317	86	6.AGAR	4.ERGI	DS	.89	-1.04	.41	87.10	-.98
318	89	6.AGAR	8.SUST	DS	.73	-.44	.67	48.47	-.68
319	38	6.AGAR	5.OEMS	DS	1.01	.39	.39	91.05	.32
320	87	6.AGAR	5.OEMS	DS	.57	-.52	.39	71.91	-.84
321	85	6.AGAR	3.JEIZ	DS	1.15	1.56	.51	87.86	1.13
322	37	6.AGAR	3.JEIZ	DS	2.24	-5.59	.51	96.80	-1.99
323	230	6.AGAR	7.TURT	HW	3.00	3.06	1.25	89.27	.85
324	226	6.AGAR	2.BRAE	HW	3.00	.74	1.29	88.63	.20
325	225	6.AGAR	1.BRUN	HW	3.00	-.74	1.39	86.85	-.21
326	228	6.AGAR	4.ERGI	HW	3.00	-3.63	1.34	87.76	-1.01
327	231	6.AGAR	8.SUST	HW	3.00	1.81	1.91	75.09	.55
328	229	6.AGAR	5.OEMS	HW	3.00	.36	1.47	85.18	.10
329	227	6.AGAR	3.JEIZ	HW	3.00	-1.41	1.25	89.31	-.39
330	287	6.AGAR	6.AGAR	AB	1.50	-.42	1.43	44.10	-.33
331	267	6.AGAR	6.AGAR	AB	3.00	-.52	1.43	86.02	-.15
332	266	6.AGAR	6.AGAR	AL	4.00	-2.01	1.97	85.15	-.43
333	286	6.AGAR	6.AGAR	AL	2.20	-.21	1.97	50.91	-.10
334	338	6.AGAR	6.GPS	DH	.10	-.01	.13	.09 **	-2.49
335	188	8.1	2.BRAE	RI	5.00	2.86	4.41	52.27	.62
336	187	8.1	1.BRUN	RI	5.00	-1.75	4.40	52.53	-.38
337	189	8.1	8.SUST	RI	11.10	-5.48	10.24	47.71	-.56
338	319	8.1	8.SUST	DS	.90	-.32	.41	87.19	-.30
339	325	8.1	8.SUST	DS	1.30	-.42	.41	93.86	-.26
340	273	8.1	8.1	AB	3.00	-.07	3.83	.08 **	-.64
341	272	8.1	8.1	AL	4.00	.06	5.10	.04 **	.61

BA FUER LANDESTOPOGRAPHIE TITEL: TURTMANN-93-TR (AUSW.94)
PROGRAMM RAUMTRI VERSION:IBM 10.93

WABERN, DEN 12. 7.1994 16. 4.34
SEITE 15

BERECHNUNG DER FEHLERELLIPSOIDE (IM LOKALEN KARTESISCHEN KOORDINATENSYSTEM DES FESTPUNKTES)

PUNKT	M.F. MXYZ [mm]	EBENE	PROJEKTIONSELLIPSEN			ELLIPSOIDE:		BXYZ [mm]	CXYZ [mm]	
			THETA [g]	HA1 [mm]	HA2 [mm]	HALBACHSEN [mm]	AXYZ [mm]			
6.GPS	9.722	X-Y	-37.30	11.64	1.26	A=	11.75	9.60	1.53	-.29
6.GPS	6.520	Y-Z	53.11	7.66	5.40	B=	6.64	-6.49	.34	-.46
6.GPS	6.738	Z-X	-89.19	9.80	6.63	C=	.56	-1.93	6.45	.09
2.BRAE	2.076	X-Y	81.37	5.19	1.50	A=	5.21	1.63	-1.24	.35
2.BRAE	4.990	Y-Z	2.01	4.99	3.87	B=	4.12	4.91	.91	-.10
2.BRAE	3.874	Z-X	-26.07	4.18	1.35	C=	.39	-.64	3.82	.14
1.BRUN	6.332	X-Y	14.76	6.50	.69	A=	6.64	6.27	.90	.12
1.BRUN	1.639	Y-Z	98.27	4.26	1.64	B=	4.07	1.40	.72	-.46
1.BRUN	4.261	Z-X	-81.63	6.50	4.00	C=	.48	-1.70	3.91	.06
9.EMSH	4.979	X-Y	-76.32	11.51	2.90	A=	11.52	4.09	1.90	-2.10
9.EMSH	10.778	Y-Z	23.69	10.92	9.79	B=	10.10	-10.75	.11	-.83
9.EMSH	9.950	Z-X	12.45	10.10	4.67	C=	2.29	-.66	9.92	.41
4.ERGI	3.384	X-Y	51.19	4.79	.88	A=	4.83	3.23	-1.00	-.23
4.ERGI	3.505	Y-Z	-44.73	3.89	2.88	B=	3.38	3.49	.13	.23
4.ERGI	3.339	Z-X	60.86	3.43	3.29	C=	.33	-.86	-3.23	.08
3.GPS	4.388	X-Y	-54.46	6.50	1.37	A=	6.59	4.35	.28	.51
3.GPS	4.989	Y-Z	6.93	5.00	4.35	B=	4.39	-4.74	1.49	.41
3.GPS	4.359	Z-X	-50.56	5.13	3.45	C=	.68	-1.42	-4.12	.18
8.SUST	9.783	X-Y	-7.08	9.84	.58	A=	10.01	9.71	-1.18	.06
8.SUST	1.233	Y-Z	96.47	5.82	1.19	B=	5.53	-1.09	.10	.57
8.SUST	5.810	Z-X	-86.07	9.95	5.53	C=	.57	-2.15	-5.40	.00
5.OEMS	2.402	X-Y	-80.42	6.91	1.24	A=	6.91	2.07	1.16	-.37
5.OEMS	6.598	Y-Z	6.51	6.62	4.45	B=	4.63	-6.59	.21	-.12
5.OEMS	4.480	Z-X	18.51	4.63	2.09	C=	.40	-.23	4.47	.10
7.1	.220	X-Y	46.33	.24	.18	A=	.24	.18	-.12	.00
7.1	.213	Y-Z	.00	.21	.13	B=	.18	.16	.14	.00
7.1	.128	Z-X	-100.00	.22	.13	C=	.13	.00	.00	.13
7.2	.221	X-Y	-68.17	.25	.21	A=	.25	.12	.19	.00
7.2	.240	Y-Z	.00	.24	.13	B=	.21	-.22	.10	.00
7.2	.128	Z-X	99.99	.22	.13	C=	.13	.00	.00	.13
3.JEIZ	4.238	X-Y	-54.53	6.29	1.32	A=	6.38	4.20	.25	.47
3.JEIZ	4.830	Y-Z	7.16	4.84	4.28	B=	4.31	-4.58	1.48	.38
3.JEIZ	4.287	Z-X	-49.04	5.01	3.36	C=	.62	-1.42	-4.04	.17
3.GPS.E	4.402	X-Y	-54.42	6.52	1.38	A=	6.60	4.36	.29	.52
3.GPS.E	5.000	Y-Z	6.81	5.01	4.35	B=	4.39	-4.75	1.49	.42
3.GPS.E	4.361	Z-X	-50.79	5.14	3.46	C=	.69	-1.41	-4.12	.19
6.AGAR	9.796	X-Y	-36.82	11.67	1.21	A=	11.78	9.68	1.52	-.23
6.AGAR	6.460	Y-Z	53.97	7.63	5.37	B=	6.64	-6.44	.36	-.37
6.AGAR	6.737	Z-X	-89.38	9.87	6.63	C=	.45	-1.92	6.46	.08
8.1	9.823	X-Y	-7.19	9.89	.69	A=	10.05	9.75	-1.18	.08
8.1	1.310	Y-Z	96.39	5.82	1.27	B=	5.53	-1.11	.10	.69
8.1	5.811	Z-X	-86.18	9.98	5.53	C=	.69	-2.14	-5.40	.00
2.GPS	2.139	X-Y	80.85	5.21	1.55	A=	5.23	1.68	-1.24	.49
2.GPS	4.997	Y-Z	2.00	5.00	3.87	B=	4.12	4.91	.93	-.14
2.GPS	3.876	Z-X	-26.47	4.19	1.43	C=	.54	-.66	3.82	.19

7.2.5 Beurteilung der Resultate und Schlussfolgerungen

Die Resultate der hybriden Gesamtausgleichung *Turt-Terr-86* + *GPS-93*, bei welcher nur der beste GPS-Datensatz *93-TR* (*GPS-93*) eingeführt wurde, befriedigen in zweifacher Beziehung nicht ganz:

1. Die Residuen der Höhenkomponenten der GPS-Koordinaten nehmen trotz allen Bemühungen zur Verbesserung der Troposphärenmodelle Beträge von bis zu 13.2mm an und sind offensichtlich mit der Stationshöhe stark korreliert (*Abb.7.2-1*). Wendet man das Verfahren der linearen Regression auf diese Daten (ohne Punkt 9.OEMS) an, so erhält man eine Steigung von -8mm / 1000m (was einer Höhenmassstabs-Abweichung von -8ppm entspricht) bei einem Korrelationskoeffizienten von -0.7. Falls die Annahme stimmt, dass das terrestrische Netz in guter Näherung von systematischen Höhenfehlern frei ist, müsste man daraus schliessen, dass die GPS-Höhen noch immer durch systematische Restfehler der Troposphärenrefraktion verzerrt sind.

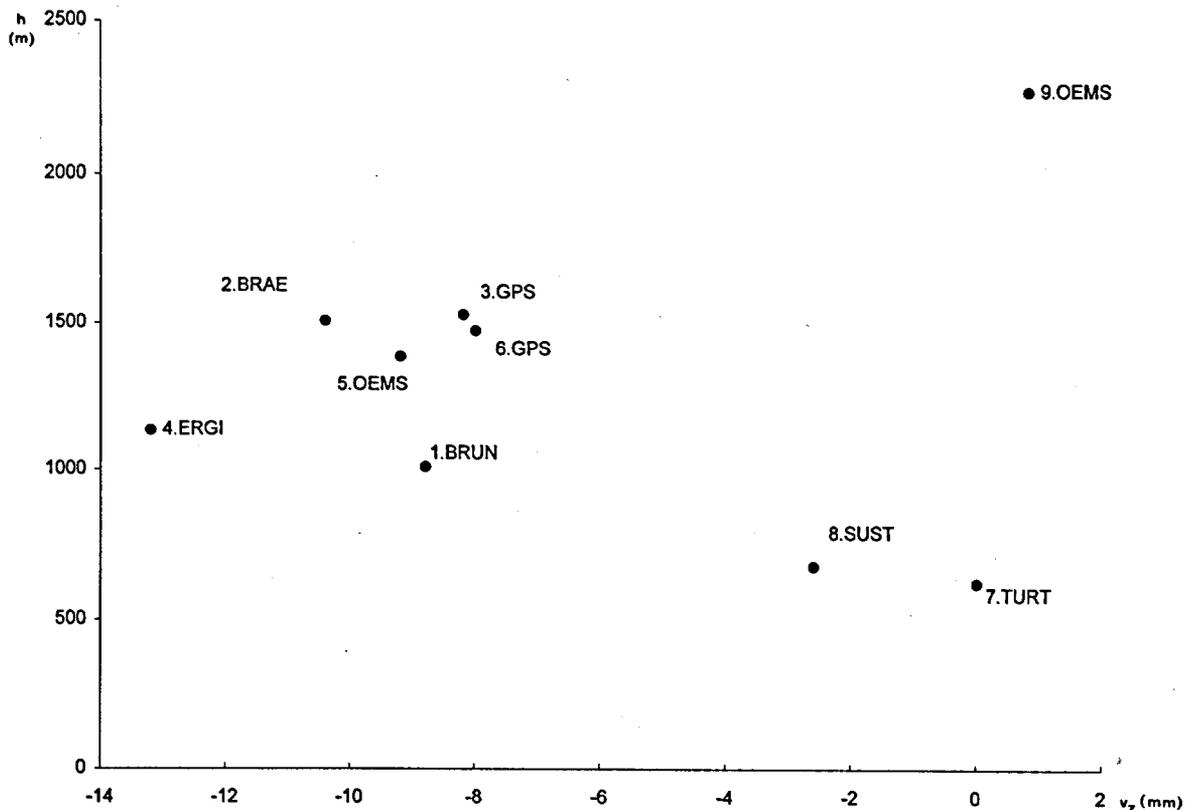


Abbildung 7.2-1: Residuen der Höhenkomponenten $v(z)$ der GPS-Pseudo-Beobachtungen aus der hybriden Gesamtausgleichung (*Turt-Terr-86* + *GPS-93*) dargestellt in Funktion der Stationshöhe

2. Trotz der starken Reduktion des Gewichts des GPS-Koordinatensatzes (*s. Kap.7.2.3*) gelang es nicht, die Varianzkomponenten dieser Beobachtungsgruppe in den Bereich ihres Erwartungswertes 1 zu bringen. Dieser Umstand weist ebenfalls auf dominant vorhandene systematische Restfehler hin.

Im Hinblick auf die Anwendung von GPS für präzise Höhenbestimmungen im Alpenraum sollten die Fragen der troposphärischen Modelle sowie der elevationsabhängigen Antennenoffsets mit grosser Priorität weiter untersucht werden. Im Herbst 1994 fand bereits eine weitere Messkampagne (*Turt-94*) mit mehrtägigen Permanentmessungen auf allen Stationen und simultanen Messungen mit 2 Wasserdampfradiometern statt. Die Auswertung der dabei erfassten Messdaten war bei der Drucklegung dieses Bandes noch nicht abgeschlossen. Ihre Behandlung soll in einer weiteren Publikation erfolgen.

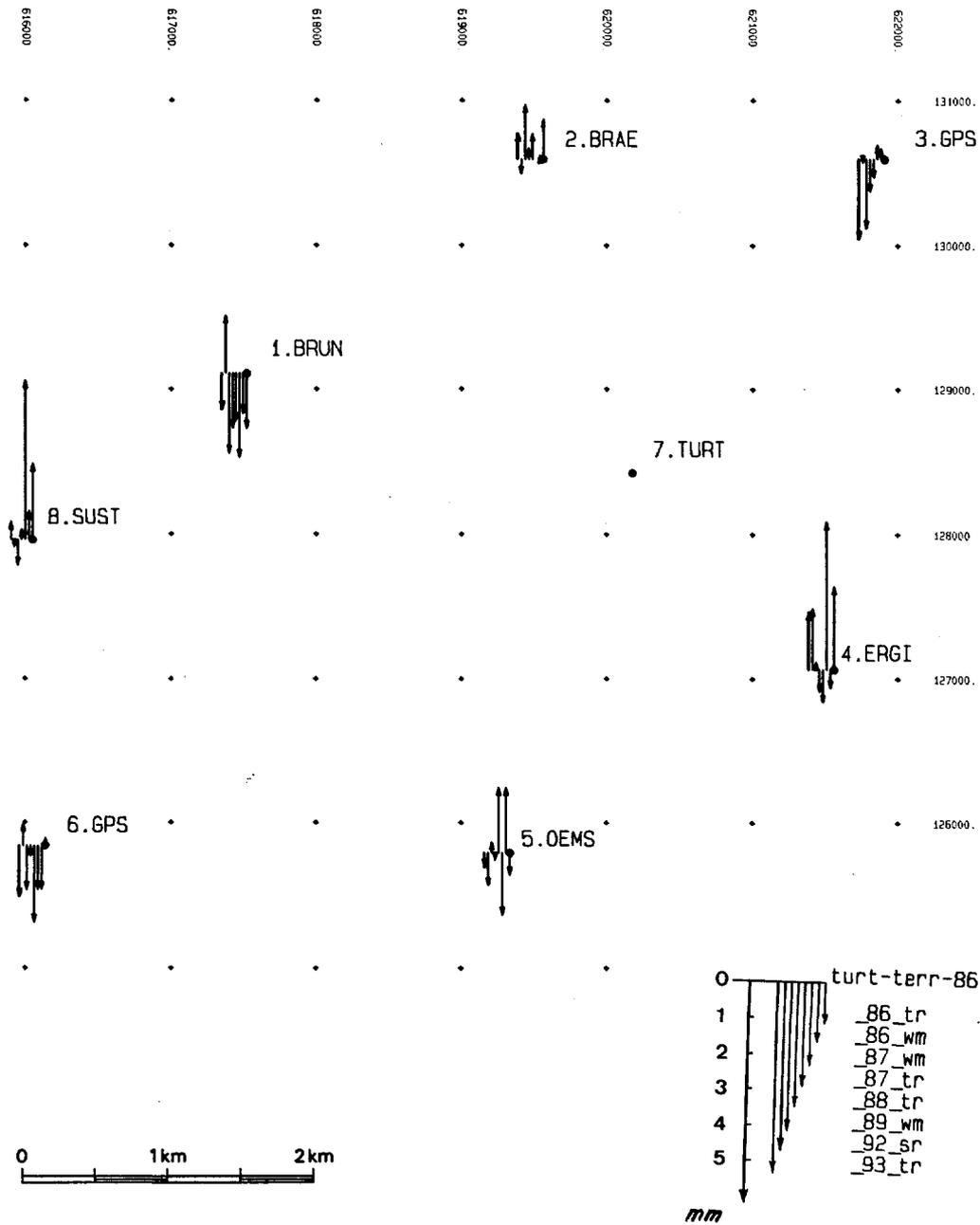


Abbildung 7.2-3: Höhenunterschiede der hybriden Lösungen gegenüber dem terrestrischen Vergleichssatz *Turt-Terr-86* (Situation 1:50'000; Höhenänderungen 5:1)

8 Schlusswort

(Autoren: G. Beutler, D. Schneider)

8.1 Epilog

Der vorliegende Turtmann-Band ist ein Rechenschaftsbericht über neun Jahre intensiver Arbeiten. Seit 1985 haben sich sowohl das Satellitensystem als auch die Empfänger sowie die Auswerteprogramme ganz wesentlich gewandelt. Man sah nämlich in allen drei Gebieten den Übergang von einer Test- oder Pilot-Phase zur operationellen Phase:

Zum Satellitensystem: Verfügte man noch 1986 während drei Stunden über insgesamt nur fünf Satelliten, wobei im besten Fall vier gleichzeitig beobachtet werden konnten (s. Tab.6.3-4), wurde im Jahre 1993 permanent beobachtet, wobei von den insgesamt 25 Satelliten nicht selten sechs oder mehr gleichzeitig sichtbar waren.

Zu den Empfängern: Hier sah man die Ablösung der Einfrequenz- durch die Zweifrequenzen-Geräte. Zudem machten die Helix- und Dipol-Antennen den Microstrip-Antennen Platz. Letztere erst garantieren eine Genauigkeit in der Lage von 1 Millimeter.

Zu den Auswerteprogrammen: Auch hier war eine grosse Umwälzung von Nöten. Zunächst mussten die Zweifrequenzdaten korrekt verarbeitet werden. Sodann wurde die Effizienz ganz beträchtlich gesteigert: Konnte man früher fast jede Einzelbeobachtung einer eingehenden Prüfung unterziehen (Sprünge in der Phase, Eliminieren grober Fehler), übernehmen heute automatische Pre- und Post-Processingalgorithmen diese Arbeit. Zudem musste auch die Modellierung verfeinert werden: Gerade das Turtmann-Netz hat unser Wissen über die Troposphäre, Multipath und Phasenzentrumsvariationen wesentlich verbessert.

In Anbetracht dieser stürmischen Entwicklung in allen Gebieten darf man kaum homogene Resultate über die letzten neun Jahre erwarten. Wir meinen aber, dass die Resultate -- in Würdigung der Umstände -- herausragend sind und eindrücklich zeigen, dass GPS durchaus geeignet ist, auch in solch kleinen Netzen Resultate von geodynamischer Relevanz zu erzeugen.

In dieser Test-Phase hat die 'ground truth', welche eingehend in Teil 1 dieses Berichts vorgestellt wurde, unschätzbare Dienste geleistet. Noch bis heute ist diese terrestrische Lösung mindestens von vergleichbarer Qualität wie die besten GPS-Lösungen. Man darf gespannt sein, ob diese Aussage nach Auswertung der 1994-er Kampagne (die Beobachtungen liegen schon vor!) auch noch gilt.

8.2 Ausblick

Ruft man sich die Resultate der Kampagne Turt-93 in Erinnerung, ist man versucht zu sagen, dass die Zukunft der dem Permanentbetrieb gehört. Vieles spricht dafür: Effekte wie Multipath und andere antennenspezifische Effekte wie elevationsabhängige Phasenzentrumsvariationen sind wesentlich weniger gefährlich, wenn stets dieselbe Empfänger/Antennenkombination verwendet wird. Zudem wird man gerade bei der Bestimmung der Stationshöhen möglichst lange Zeitreihen analysieren wollen, um die erwähnten Effekte aufzutrennen. Wo sollte man diese Effekte denn trennen können, wenn nicht in kleinen Netzen?

Unsere Schlussfolgerung ist klar: Das Turtmann-Netz hat nicht ausgedient. Es wird eine nächste Phase von Untersuchungen geben, welche sich auf den Permanentbetrieb während jeweils einigen Tagen abstützt. In dieser neuen Phase wird die Kampagne Turt-93 die Rolle einer ersten Epoche spielen. Man wird für solche Untersuchungen auch neue Geräte zur Erfassung der troposphärischen Refraktion (beispielsweise Wasserdampf-Radiometer) einsetzen -- gerade mit dem Ziel der Auftrennung verschiedener Effekte. Die zu erwartenden Resultate sind nicht nur für kleine Netze, sondern beispielsweise auch für das globale IGS-Netz von Bedeutung.

8.3 Dank

Die Arbeiten im Turtmann-Netz erforderten eine Konzentration aller an hochpräzisen Anwendungen des GPS interessierten Kreise in der Schweiz. Die Zusammenarbeit umfasste unter dem Schirm der Schweizerischen Geodätischen Kommission sowohl das Bundesamt für Landestopographie als auch Industrie und Hochschulen. Bei einigen Kampagnen konnte auch sehr erspriesslich mit ausländischen Stellen zusammengearbeitet werden; diesen sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Die gesamt-schweizerische Zusammenarbeit über diesen langen Zeitraum war immer geprägt von Kollegialität, und sie war getragen vom Interesse an der Sache. Der vorliegende Bericht zeigt, dass die Arbeiten sehr fruchtbar waren. Es bleibt zu hoffen, dass dieser Geist und der Wille zur Zusammenarbeit auch für die Zukunft erhalten werden können.

Schliesslich gilt unser Dank all den Vermessungs-Ingenieuren und Technikern, die durch ihr sorgfältiges Arbeiten vor, während und nach den Kampagnen so gute Resultate erst ermöglichten. Unseres Wissens gab es nämlich während der ganzen Zeit nie ernsthafte Kunstfehler der Vermessungstrupps. Auch hier hoffen wir auf ähnliche Qualität in den folgenden Jahren.

Die Abteilung Geodäsie der L+T bearbeitet z.Z. die "Neue Landesvermessung (LV95)". Angefangen mit der Evaluation von geeigneten GPS-Empfängern für den praktischen Einsatz in der Landesvermessung bis zur Erprobung der Auswertemethoden, gab es im Rahmen dieses Projektes eine Vielzahl von geodätischen Problemen zu lösen. Die Erfahrungen, welche bei den GPS-Testmessungen in Turtmann und bei ihrer Auswertungen mit der Berner Software gewonnen wurden, haben dabei unschätzbare Dienste geleistet. Den Projekt-Verantwortlichen der L+T ist es deshalb ein besonderes Anliegen, allen beteiligten Personen aus den verschiedenen Instituten und Firmen im In- und Ausland im besonderen aber der GPS-Arbeitsgruppe am AIUB unter der Leitung von Prof. Dr. G. Beutler für die fruchtbare Zusammenarbeit zu danken.

Unser Dank gilt nicht zuletzt auch Frau Ch. Studer (L+T), welche die textliche Bearbeitung und die Gestaltung der beiden "Turtmann-Bände" mit Sorgfalt und grosser Ausdauer übernommen hat.

Literatur

- Bauersima, I. (1982): NAVSTAR/Global Positioning System (GPS), (I). *Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald, No. 7, Druckerei der Universität Bern.*
- Bauersima, I. (1983): NAVSTAR/Global Positioning System (GPS), (II). *Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald, No.10, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland.*
- Beutler, G., D.A. Davidson, R. Langley, R. Santerre, P. Vanicek, D.E. Wells (1984): Some Theoretical and Practical Aspects of Geodetic Positioning using Carrier Phase Difference Observations of GPS Satellites. *Mitteilungen der Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald, Nr.14, and Department of Surveying Engineering, Technical Report No.109, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.*
- Beutler, G., J. Gervaise, W. Gurtner, M. Mayoud (1985c): Test of GPS on the CERN-LEP Control Network. *Proceedings of the Joint Meeting of the FIG Groups 5b and 5c on Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, July 1985, Munich.*
- Beutler, G., W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht, I. Bauersima (1986): Determination of GPS Orbits using Double Difference Phase Observations from Regional Networks. *Bulletin Géodésique, Vol.60, 1986, pp.205-220. Also in Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, April 1986, pp.319-335.*
- Beutler, G., I. Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht (1987): Evaluation of the Alaska Global Positioning System Campaign with the Bernese Software. *Journal of Geophysical Research, Vol.92, No.B2, pp.1295-1303, 1987.*
- Beutler, G., W. Gurtner, U. Hugentobler, M. Rothacher, T. Schildknecht, U. Wild (1988a): Ionosphere and GPS Processing Techniques. *Paper presented at the 1988 Chapman Conference on the Use of GPS for Geodynamics, Ft. Lauderdale, U.S.A. Auch in Mitteilung Nr.24 der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald, Druckerei der Universität Bern, 1990.*
- Beutler, G., I. Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht, A. Geiger (1988b): Atmospheric refraction and other important biases in GPS carrier phase observations. *Monograph 12, School of Surveying, University of New South Wales, Australia.*
- Beutler, G. (1989): Exemplary Processing of a 1989 GPS Campaign in the Swiss Alps. *Presented at the Simposio Brasileiro de Posicionamento Preciso com GPS, Curitiba, Brazil, 1989. (Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald Nr.24, 1990).*
- Beutler, G., W. Gurtner, M. Rothacher, U. Wild, E. Frei (1990): Relative Static Positioning with the Global Positioning System: Basic Technical Considerations. *Global Positioning System: An Overview, IAG Symposium No.102, pp.1-23, Springer-Verlag, ISBN 0-387-97266-8.*
- Beutler, G. und E. Brockmann (1993b): International GPS Service for Geodynamics. *Proceedings of the 1993 IGS Workshop, 369 pages, Druckerei der Universität Bern.*
- Beutler, G., J. Kouba, T. Springer (1993c): Combining the Orbits of IGS Processing Centers. *Proceedings, 1993 IGS Analysis Centers Workshop, Ottawa, pp.20-56.*
- Beutler, G., I.I. Mueller, R.E. Neilan (1994a): The International GPS Service for Geodynamics (IGS): Development and Start of the Official Service on 1 January 1994. *Bulletin Géodésique, Vol. 68, No.1, pp.43-51.*
- Beutler, G., I.I. Mueller, R.E. Neilan, R. Weber (1994b): IGS - Der Internationale GPS-Dienst für Geodynamik. *Zeitschrift für Vermessungswesen Heft 5, 119. Jahrgang, pp.221-232.*

- Beutler, G., E. Brockmann, W. Gurtner, U. Hugentobler, L. Mervart, M. Rothacher (1994c): Extended Orbit Modeling Techniques at the CODE Processing Center of the International GPS Service for Geodynamics (IGS): Theory and Initial Results. *Manuscripta Geodaetica, Vol.19, pp.367-386.*
- Boucher, C., Z. Altamimi, L. Duhem (1993): IERS Technical Note 15: ITRF 92 and its Associated Velocity Field. *Observatoire de Paris.*
- Brockmann, E., G. Beutler, W. Gurtner, M. Rothacher, T. Springer, L. Mervart (1993): Solutions using European GPS Observations Produced at the Center for Orbit Determination in Europe (CODE) During the IGS Campaign. *Proceedings, 1993 IGS Workshop, pp. 251-260, Druckerei der Universität Bern.*
- Bürki, B., H. Hirter, M. Cocard, H.-G. Kahle (1994): Mikrowellen - Wasserdampf - Radiometrie und deren Anwendung in der Geodäsie, Teil I, Verfahren, Hard- und Softwarebeschreibung. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, Bericht Nr.234, pp.74.*
- Cocard, M. (1987): Geodätische Auswertung von GPS-Messungen (im GPS-Testnetz Turtmann, Wallis). *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, Bericht Nr.129, pp.111.*
- Cocard, M., A. Geiger, B. Wirth, B. Bürki (1988): Versuche zur Kalibration von WM-101-Antennen. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, Bericht Nr.142, p33.*
- Eckert, V., M. Cocard, A. Geiger (1992): COMEDIE, Collocation of Meteorological Data for Interpretation and Estimation of Tropospheric Path Delays. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, Bericht Nr.194/195.*
- Frei, E. und G. Beutler (1990): Rapid Static Positioning based on the Fast Ambiguity Resolution Technique: Method and First Results. *Manuscripta Geodaetica, Vol.15, No.6, pp.325-356.*
- Frei, E. (1991): Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS). *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 44.*
- Geiger, A., H.-G. Kahle, D. Schneider, M. Rothacher, G. Beutler und W. Gurtner (1986a): Das schweizerische GPS-Testnetz "Turtmann", Kanton Wallis: Erste Messkampagne 1985. *Zeitschrift für Vermessung: Berichte aus Forschung und Praxis 8/1986, S.367-370.*
- Geiger, A., H.-G. Kahle, D. Schneider, M. Rothacher, G. Beutler und W. Gurtner (1986b): Das GPS-Testnetz Turtmann: Netzanlage und Messkampagne 1985. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 7/86, S.266-271.*
- Geiger, A. (1987a): Einfluss richtungsabhängiger Fehler bei Satellitenmessungen. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, Bericht Nr.130, pp.40.*
- Geiger, A. (1987b): Simplified error estimation of satellite positioning. *Paper presented at the GPS Technology Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, March 23, 1987.*
- Geiger, A. (1988a): Einfluss und Bestimmung der Variabilität des Phasenzentrums von GPS-Antennen. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, Mitteilungen Nr.43, pp.6.*
- Geiger, A. (1988b): Simulating Disturbances in GPS by Continuous Satellite Distribution. *Journal of Surveying Engineering, Vol.114, No.4.*
- Geiger, A., H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neining, D. Schneider, B. Wirth (1992): Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Bd.45, Herausgeber: F. Jeanrichard.*

- Goad, C.C. (1985): Precise Relative Position Determination using Global Positioning System Carrier Phase Measurements in a Non-Difference Mode. *1st International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Rockville, Maryland, April 15 - 19.*
- Gough, R., E. Frei, J. Reiner und R. Scherrer (1987): The WM101 and PoPSTM: An Investigation in the Swiss Alps. *In: WM Satellite Survey Company, VI.87.*
- Gurtner, W., G. Beutler, S. Botton und M. Rothacher (1987): The use of the Global Positioning System in Mountainous Areas. *Paper presented at the XIXth IUGG General Assembly, Vancouver, August 1987.*
- Gurtner, W., G. Beutler, S. Botton, M. Rothacher, A. Geiger, H.-G.Kahle, D. Schneider, A. Wiget (1989): The Use of the GPS in Mountainous Areas. *Manuscripta Geodactica, Vol.14, pp.53-60.*
- McCarthy, D.D. (1992): IERS Standards. *IERS Technical Note 13, Observatoire de Paris, July 1992.*
- Mervart, L., G. Beutler, M. Rothacher, U. Wild (1994): Ambiguity Resolution Strategies using the Results of the International GPS Service for Geodynamics. *Bulletin Géodésique, Vol.68, No.1, pp.29-38.*
- Mueller, I.I. und G. Beutler (1992): The International GPS Service for Geodynamics - Development and Current Structure. *Proceedings, Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Vol.II, pp.823-833.*
- Müller, M.V. (1986): Integrierte Geodäsie: Methode und ihre Anwendung im Präzisionsversuchsnetz Turtmann (und spezieller Berücksichtigung von geodätischen Satellitenbeobachtungen). *Bericht Nr.111 aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Oktober 1986.*
- Nortech (1985): Report on the Precise Differential GPS Surveys of Two Configurations in Switzerland. *Report to the Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ.*
- Riemensberger, M. (1988): GPS-Vermessungen mit Sercel NR52 im Mai 1988. *Interner Technischer Bericht der Fa. KERN & Co. AG, Aarau.*
- Rothacher, M., G. Beutler, W. Gurtner, A. Geiger, H.-G. Kahle und D. Schneider (1986): The 1985 Swiss GPS-Campaign. *Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, 28. April - 2. Mai 1986, Vol.2, pp.979-991.*
- Rothacher, M., G. Beutler, W. Gurtner, U. Wild, D. Schneider, A. Wiget, A. Geiger, H.-G. Kahle (1990): The role of the atmosphere in small GPS Networks. *Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, pp.581-598.*
- Rothacher, M. (1992): Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Bd.46, Schweizerische Geodätische Kommission.*
- Rothacher, M., G. Beutler, W. Gurtner, S. Botton, C. Boucher (1993a): Results of the IGS Data Processing at the Center for Orbit Determination in Europe (CODE). *Proceedings of the 1993 IGS Workshop, pp.133-144, Druckerei der Universität Bern.*
- Rothacher, M., G. Beutler, W. Gurtner, E. Brockmann, L. Mervart (1993b): Bernese GPS Software Version 3.4: Documentation May 1993. *Printing Office, University of Berne, Switzerland.*
- Santerre, R. (1989): GPS Satellite Sky Distribution: Impact on the Propagation of Some Important Errors in Precise Relative Positioning. *Ph.D. Thesis, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick.*
- Santerre, R., G. Beutler, A. Geiger (1990): GPS Error Analysis and Modelling. *Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning with the GPS, pp.356-372.*

- Santerre, R. (1991): Impact of GPS satellite sky distribution. *Manuscripta Geodaeica, Vol.16, pp.28-53.*
- Schneider, D. (1987): Terrestrische Bestimmung von Koordinaten des GPS-Testnetzes Turtmann, interner Bericht Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Schneider, D. und A. Wiget (1992): Grundlagenvermessungen für Tunnelbauten des Projekts BAHN 2000. *XI. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, ETH Zürich, 21. - 26.9.1992, Dümmler, Bonn, 1992.*
- Schneider, D. (1993): Neues Konzept der Schweizerischen Landesvermessung: Erste Erfahrungen bei der Realisierung eines GPS-gestützten Landesnetzes. *Beitrag zum 31. DVW-Seminar: GPS - eine universelle geodätische Methode. Technische Universität Dresden, 22.-24. März 1993.*
- Schubernigg, M. (1992): Hochgenaue GPS-Messungen im Testnetz "Turtmann". In: *WILD GPS-System 200, Juni 1992.*
- Schürer, M. (1993): RAUMTRI: Dreidimensionale Geodäsie. Benutzeranleitung und Programmbeschrieb. *Zwischenbericht Nr.31, Rechenzentrum L + T, Wabern, November 1993.*
- Signer, Th. (1993): Vergleich von GPS-Systemen "Wild GPS-System 200" und "Trimble 4000SSE" im Messmodus "Rapid Static". *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 5/93, pp.346-348.*
- Wiget, A., E. Gubler, D. Schneider, G. Beutler, U. Wild (1990): High-precision regional crustal motion network in Switzerland. *Second International Symposium on Precise Positioning with GPS, Sept. 1990, Ottawa, Canada, pp.835-852.*
- Wiget, A. und D. Schneider (1992): Erfahrungen mit GPS in Staumauer-Überwachungsnetzen. *XI. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, ETH Zürich, 21. - 26.9.1992, Dümmler, Bonn, 1992.*
- Wild, U., G. Beutler, W. Gurtner, M. Rothacher (1989): Estimating the Ionosphere using one or more dual frequency GPS receivers. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Satellite Positioning, pp.724-736.*
- Wild, U. (1994): Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Bd.48, SGK.*
- Wirth, B. (1990): Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveaulächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz Bd.42, Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich.*
- Wunderlin, N. (1987): Versuche zur Refraktionsbestimmung mit Hilfe der Kollokation. *Bericht Nr.132 aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Juli 1987.*



“Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz”

**(Fortsetzung der Publikationsreihe “Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz”
der Schweizerischen Geodätischen Kommission (ab Bd. 36):**

- 36 1984 Ein gravimetrisches Krusten-Mantel-Modell für ein Profil im nördlichen Alpenvorland bis an die Ligurische Küste. H. Schwendener. 160 Seiten.
- 37 1986 Les levés aéromagnétiques de la Suisse. E. Klingelé. 69 Seiten.
- 38 1986 Lokale Schwerefeldbestimmung und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)- Testnetz “Turtmann” (Wallis). I. Bernauer, A. Geiger. 106 Seiten.
- 39 1989 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission
 - I. Bedeutung geodätischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik. (R. Sigl)
 - II. Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik. (H.-G. Kahle)
 - III. L'état actuel de la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre en Suisse. (F. Jeanrichard)
 - IV. Die Satellitengeodäsie im Dienste der globalen Geodynamik. (I. Bauersima)
 - V. Die Veranstaltungen zum 125 Jahr-Jubiläum der Schweizerischen Geodätischen Kommission. (W. Fischer). 62 Seiten.
- 40 1989 Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea- Zone und deren geophysikalische Interpretation. B. Bürki. 186 Seiten.
- 41 1990 ALGESTAR satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz. U. Marti. 61 Seiten plus Punktprotokolle.
- 42 1990 Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. B. Wirth. 204 Seiten.
- 43 1990 Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. A. Geiger. 231 Seiten.
- 44 1991 Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS). E. Frei. 178 Seiten.
- 45 1992 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990 Teil I. F. Jeanrichard (Hrsg.)
Autoren: A. Geiger, H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neiningen, D. Schneider, B. Wirth. 183 Seiten.
- 46 1993 Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. M. Rothacher. 243 Seiten.
- 47 1993 NFP 20. Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik. H.-G. Kahle (Hrsg.) Autoren: I. Bauersima, G. Beutler, B. Bürki, M. Cocard, A. Geiger, E. Gubler, W. Gurtner, H.-G. Kahle, U. Marti, B. Mattli, M. Rothacher, Th. Schildknecht, D. Schneider, A. Wiget, B. Wirth. 153 Seiten plus 90 Seiten Anhang.
- 48 1994 Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring: Urs Wild, 155 Seiten.
- 49 1994 Optical Astrometry of Fast Moving Objects using CCD Detectors: Thomas Schildknecht, 200 Seiten.
- 50 1995 Geodätische Alpen traverse Gotthard: A. Elmiger, R. Köchle, A. Ryf und F. Chaperon. 214 Seiten.
- 51 1995 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1993 Teil II (GPS-Netz).
F. Jeanrichard (Hrsg.) Autoren: G. Beutler, A. Geiger, M. Rothacher, Stefan Schaer, D. Schneider, A. Wiget, 173 Seiten.

