

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

Satellitengeodäsie

Ergebnisse aus dem gleichnamigen
Sonderforschungsbereich der
Technischen Universität München

Herausgegeben von
Manfred Schneider

Sonderforschungsbereiche



Inhaltsverzeichnis

11

Vorwort	V
-------------------	---

Teil I

Bedeutung künstlicher Erdsatelliten für die Geodäsie

Stand der geodätischen Arbeiten zur Zeit der Gründung des Sonderforschungsbereichs 78 „Satellitengeodäsie“	3
--	---

Rudolf Sigl

Zusammenfassung	3
1 Vorbemerkung	4
2 Aufgabe der Geodäsie	4
3 Einige Bemerkungen zum Stand der Geodäsie Mitte der 60er Jahre	5
4 Anfänge der Satellitengeodäsie, erste Ergebnisse	10
5 Forschungsziele des 1970 gegründeten Sonderforschungsbereichs 78	24
6 Literatur	27



Teil II

1 Fundamentalstation Wettzell	35
1.1 Konzept und Rolle von Fundamentalstationen	35
<i>Manfred Schneider</i>	
1.1.1 Aufgabe der Fundamentalstationen	35
1.1.2 Konzept der Fundamentalstationen	36
1.1.3 Fundamentalstation Wettzell	36
1.1.4 Ausblick	38

Inhaltsverzeichnis

1.2	Das 20-m-Radioteleskop	39
	<i>Richard Kilger</i>	
1.2.1	Entwurfskriterien	39
1.2.2	Technische Auslegung	42
1.2.3	Signalweg und Verarbeitung	44
1.2.4	Vorverarbeitung der Daten und Korrelation	51
1.2.5	Aufbau und Betrieb	55
1.2.6	Literatur	61
	:	
1.3	Stationäre Laserentfernungsmeßsysteme	63
	<i>Reiner Dassing, Reinhard Höpfl, Wolfgang Schlüter</i>	
1.3.1	Einleitung	63
1.3.2	Physikalisches Meßprinzip	64
1.3.3	Die Systemkomponenten	68
1.3.3.1	Das Nd: YAG-Pulslasersystem	68
1.3.3.2	Sende-, Empfangsteleskop, Montierung	69
1.3.3.3	Das Empfangssystem	70
1.3.4	Computer und Systemsoftware	71
1.3.4.1	Die Rechnerkonfiguration	71
1.3.4.2	Die SRS-Systemsoftware	73
1.3.5	Meßergebnisse	75
1.3.6	Konzept eines neuen Laserentfernungsmeßsystems für Messungen zum Mond und nach Satelliten	78
1.3.7	Literatur	81
	:	
1.4	Das mobile Laserentfernungsmeßsystem MTLRS-1	83
	<i>Hans Junginger, Peter Wilson</i>	
1.4.1	Einführung	83
1.4.2	Technische Besonderheiten von MTLRS-1	84
1.4.2.1	Systemüberblick	84
1.4.2.2	Der Laser	86
1.4.2.3	Teleskop und Montierung	87
1.4.2.4	Empfänger	87
1.4.2.5	Das Computersystem	88
1.4.2.6	Kalibrierung	89
1.4.2.7	Bestimmung der Exzentrizität des Meßsystems	89
1.4.3	Daten	89
1.4.3.1	Rohdaten	89
1.4.3.2	Testmessungen	91
1.4.3.2.1	Test von Systemkomponenten: Laufzeitzähler	91
1.4.3.2.2	Bodentests des Gesamtsystems	94
1.4.3.2.3	Kollokationsmessungen	95
1.4.3.3	Basislinienmessungen im östlichen Mittelmeerraum	96

Inhaltsverzeichnis

1.4.4	Versuch einer Bewertung und Ausblick	98
1.4.5	Literatur	99
1.5	Zeit und Frequenz	101
	<i>Wolfgang Schlüter</i>	
1.5.1	Anforderungen	102
1.5.2	Das Zeitsystem der Fundamentalstation	103
1.5.3	Literatur	109
1.6	Terrestrische Messungen	110
	<i>Wolfgang Schlüter, Bernd Richter, Gundolf Reichert</i>	
1.6.1	Messungen zur Erfassung der Refraktion	111
1.6.1.1	Die zentrale Wetterstation	111
1.6.1.2	Das Wasserdampfradiometer des Sonderforschungsbereichs	112
1.6.2	Geodätische Überwachungsnetze	115
1.6.2.1	Lagenetze	115
1.6.2.2	Höhen- und Schwereüberwachungsnetz	117
1.6.3	Permanente Beobachtung von zeitlichen Schwereänderungen	120
1.6.4	Seismologische Messungen	123
1.6.5	Literatur	124
2	Orientierung der Erde	127
2.1	Astronomische Fragen und Antworten	127
	<i>Peter Brosche</i>	
2.1.1	Was haben die Quasare mit der Erde zu tun?	127
2.1.2	Zu welchem Zweck betreibt man noch photographische Astrometrie?	128
2.1.3	Was haben wir herausbekommen?	129
2.1.3.1	Der Stand der Kunst	129
2.1.3.2	Neue optische Positionen	130
2.1.3.3	„Eigenbewegungen“	132
2.1.4	Literatur	134
2.2	Definition und Realisierung von Referenzsystemen im Zusammenhang mit Laserentfernungsmessungen zum Satelliten LAGEOS .	135
	<i>Christoph Reigber, Peter Schwintzer</i>	
	Zusammenfassung	135
2.2.1	Einführung	135
2.2.2	Definitionen und Grundlagen	137
2.2.3	Realisierung der Referenzsysteme bei der Prozessierung von LAGEOS-Beobachtungen	139
2.2.3.1	Realisierung des mittleren terrestrischen Referenzsystems	139

Inhaltsverzeichnis

2.2.3.2	Verknüpfungsparameter zu den momentanen Referenzsystemen und dem Quasiinertialsystem	145
2.2.3.2.1	Polkoordinaten	145
2.2.3.2.2	Rotationsgeschwindigkeit	146
2.2.3.2.3	Präzession und Nutation	149
2.2.4.	Ausblick	150
2.2.5	Literatur	151
2.3	Erdrotationsparameter – abgeleitet aus Laserentfernungsmessungen zum Satelliten LAGEOS <i>Peter Schwintzer, Wolfgang Barth, Christoph Reigber</i> Zusammenfassung	152
2.3.1	Einführung	152
2.3.2	Definitionen	153
2.3.3	Laserbeobachtungen zum Satelliten LAGEOS und Methodik der Prozessierung	154
2.3.4	Bestimmung der Erdrotationsparameter aus LAGEOS-Beobachtungen	155
2.3.4.1	Datenumfang und Datenprozessierung	155
2.3.4.2	Ergebnis: ERP(DGFI)87L02	160
2.3.4.3	Analyse und Genauigkeitsvergleich	163
2.3.5	Ausblick	165
2.3.6	Literatur	168
2.4	Bestimmung der Erdrotationsparameter durch VLBI <i>Harald Schuh</i> Zusammenfassung	169
2.4.1	Grundlagen der VLBI	169
2.4.1.1	Das Grundprinzip der geodätischen VLBI	169
2.4.1.2	Auswertung des Experimentes	171
2.4.2	Bestimmung der Erdrotationsparameter im Projekt POLARIS/IRIS	173
2.4.3	Untersuchung der IRIS DUT1-Reihen	176
2.4.3.1	Frequenzanalyse	176
2.4.3.2	Analyse von Teildatensätzen	185
2.4.3.3	Analyse unter Vorgabe der theoretischen Perioden	187
2.4.3.4	Bestimmung der Loveschen Zahl k	188
2.4.4	Beobachtung der Polbewegung mit VLBI	190
2.4.4.1	Untersuchung der IRIS-Polbahn	190
2.4.4.2	Beobachtung von täglichen Polkoordinaten	194
2.4.5	Schlußfolgerungen und zukünftige Aspekte	196
2.4.6	Literatur	197

3	Schwerefeld der Erde	201
3.1	Überblick über Stand und Entwicklung von Erdschweremodellen zur präzisen Bahnbestimmung bei geodynamischen Anwendungen	201
	<i>Christoph Reigber</i>	
	Zusammenfassung	201
3.1.1	Einleitung	201
3.1.2	Erfordernisse für hochgenaue Schweremodellierung	203
3.1.3	Vorhandene globale Schwerfeldmodelle	204
3.1.4	Neuentwicklungen bei Schweremodellen	210
3.1.5	Schluß	211
3.1.6	Literatur	212
3.2	Zukünftige Möglichkeiten der globalen hochauflösenden Schwerfeldbestimmung	213
	<i>Karl Heinz Ilk</i>	
3.2.1	Einleitung	213
3.2.1.1	Stand der Gravitationsfeldbestimmung	213
3.2.1.2	Grenzen der verfügbaren Techniken der Schwerfeldbestimmung und Anforderungen an zukünftige Methoden	214
3.2.1.3	Historische Entwicklung und momentaner Stand der Satelliteto-satellite-Verfahren und der Satellitengravitationsradiometrie	216
3.2.2	Die Struktur des Gezeitenkraftfeldes	217
3.2.3	Die Ausmessung des Gezeitenfeldes	227
3.2.3.1	Effekte des Gravitationsfeldes in den Observablen	229
3.2.3.2	Meßprinzip	236
3.2.4	Die Auswertung der Beobachtungen	240
3.2.4.1	Das mathematische Modell	240
3.2.4.2	Analyseverfahren	244
3.2.4.3	Ein Simulationsbeispiel	246
3.2.5	Schlußbemerkungen	251
3.2.6	Literatur	252
4	Geodynamische Anwendungen	257
4.1	Die Nutzung geodätischer Raummethoden in der Geodynamik-Forschung	257
	<i>Hermann Drewes, Ewald Reinhart, Peter Wilson</i>	
	Zusammenfassung	257
4.1.1	Einleitung	257
4.1.2	Erdrotationsschwankungen	259
4.1.3	Globale Plattenkinematik	260
4.1.4	Plattendynamik	262

Inhaltsverzeichnis

4.1.5	Deformationen an Plattenrändern und innerhalb der Platten	264
4.1.6	Schluß	265
4.1.7	Literatur	265
4.2	Basislängenänderungen – abgeleitet aus VLBI-Beobachtungen im Projekt IRIS <i>James Campbell</i>	269
4.2.1	Einleitung	269
4.2.2	Zur Genauigkeit der geodätischen VLBI	271
4.2.3	Ergebnisse	277
4.2.4	Schlußfolgerungen	285
4.2.5	Literatur	287
4.3	Globale relative Stationsbewegungen – abgeleitet aus Laserentfernungsmessungen zum Satelliten LAGEOS <i>Christoph Reigber, Peter Schwintzer, Horst Müller, Franz-Heinrich Massmann</i>	290
	Zusammenfassung	290
4.3.1	Einführung	290
4.3.2	Bestimmung globaler Änderungsraten der Stationsentfernung aus LAGEOS-Beobachtungen	291
4.3.2.1	Strategien zur Ableitung globaler Plattenbewegungsparameter	292
4.3.2.2	Numerische Ergebnisse	296
4.3.2.3	Analyse	302
4.3.3	Ausblick	303
4.3.4	Literatur	304
4.4	Stand und Entwicklung des WEGENER-MEDLAS-Projekts <i>Peter Wilson, Ewald Reinhart</i>	305
4.4.1	Einführung	305
4.4.2	Stand des Projekts	306
4.4.3	Vorgeschichte und Zielsetzung des Projekts	314
4.4.3.1	Der Mittelmeerraum	315
4.4.3.2	Das WEGENER-MEDLAS-Projekt	320
4.4.4	Punktauswahl	320
4.4.5	Die Beobachtungen	321
4.4.6	Projektkoordination und Berichterstattung	322
4.4.7	Auswertung und Interpretation	323
4.4.8	Literatur	323
4.5	MEDLAS-Stationskoordinaten und Basislinien 1986 <i>Hermann Hauck, Christoph Reigber, Peter Wilson</i>	324
4.5.1	Einleitung	324
4.5.2	Globale Lösungen des DGFI und des IfAG	325

Inhaltsverzeichnis

4.5.2.1	Verwendete Modelle	325
4.5.2.2	Datenmaterial und Lösungsansätze	326
4.5.3	Short-Arc-Methoden	330
4.5.3.1	Die Auswertetechnik	330
4.5.3.2	Datenmaterial und numerische Ergebnisse	331
4.5.4.	Vergleiche	331
4.5.5	Ausblick	332
4.5.6	Literatur	334
4.6	Modellierung geodynamischer Deformationen im Mittelmeerraum	335
	<i>Hermann Drewes, Erwin Geiß</i>	
	Zusammenfassung	335
4.6.1	Einführung	335
4.6.2	Datensatz	336
4.6.3	Interpolation nach kleinsten Quadraten	337
4.6.4	Ansatz mit Mikroplatten	340
4.6.5	Ansatz mit finiten Elementen	341
4.6.6	Schlußfolgerungen	345
4.6.7	Literatur	348
4.7	Interpretation des globalen Erdschwerefeldes im Hinblick auf die Geodynamik	350
	<i>Hermann Drewes</i>	
	Zusammenfassung	350
4.7.1	Einführung	350
4.7.2	Berechnung des Effekts von bekannten Massenunregelmäßigkeiten des Erdkörpers auf das Geoid	352
4.7.2.1	Wirkung der äußeren Massenschichten der Erde auf das Geoid .	353
4.7.2.2	Wirkung der Massenunregelmäßigkeiten des unteren Mantels auf das Geoid	355
4.7.3	Verwendung eines isostatischen Modells	357
4.7.4	Inversion des bekannten Erdschwerefeldes in Massenunregelmäßigkeiten innerhalb der Erde	359
4.7.5	Schluß	364
4.7.6	Literatur	366
5	Satellitengeodäsie – nach-Newtonisch	369
	<i>Michael Soffel, Hanns Ruder, Manfred Schneider</i>	
5.1	Bezugssysteme	370
5.1.1	Weltlinienkongruenz	370
5.1.2	Uhren und der zeitliche Aspekt von Bezugssystemen	375

Inhaltsverzeichnis

5.1.3	Räumliche Bezugsrichtungen	380
5.1.3.1	Gravitationskompaß und Geoid	381
5.1.3.2	Der Sternenkompaß	384
5.1.3.3	Der Kreiselkompaß	394
5.1.3.4	Stationskoordinaten und Problem der Länge	402
5.2	Nach-Newtonssche Theorie der Satellitenbewegung	407
5.2.1	Sphärisches Feld der Erde und Koordinatenproblem	408
5.2.2	Das Gravito-Magnetfeld der Erde	414
5.2.3	Der nach-Newtonssche Quadrupol	416
5.2.4	Diskussion	417
5.3	Relativistische Effekte bei geodätischen Messungen	418
5.3.1	Realisierung von Zeitskalen	418
5.3.1.1	Synchronisation erdfester Uhren mit Hilfe transportabler Uhren	418
5.3.1.2	Uhrenvergleich: Bodenstationsuhr – Satellitenuhr	421
5.3.2	Doppler-Messungen im nahen Erdraum	422
5.3.3	Laserentfernungsmessungen nach Satelliten und zum Mond	423
5.3.4	Radiointerferometrie mit langen Basislinien	426
5.4	Relativistische Bewegung ausgedehnter Körper	431
5.5	Literatur	439

Teil III

	Schlußbetrachtung	443
	<i>Manfred Schneider</i>	
1	Was wurde erreicht?	443
2	Elemente des künftigen Forschungskonzeptes	444
3	Literatur	446

Teil IV

	Dokumentarischer Anhang	449
1	Gliederung des Sonderforschungsbereichs 78	449
2	Beteiligte Wissenschaftler	451
3	Berufungen	454
4	Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstitutionen	455