

Die Fundamentalstation Zimmerwald

Autor(en): **Gurtner, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **61 (2003)**

Heft 316

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898406>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Fundamentalstation Zimmerwald

WERNER GURTNER

Aufgaben einer Fundamentalstation

Die moderne Erdvermessung, vor allem in ihrer globalen, regionalen (kontinentalen) und landesweiten Ausrichtung, bedient sich heute weitgehend satellitenbasierter Messverfahren, deren bekanntestes sich auf die hochgenaue Messung und numerische Auswertung der Signale des amerikanischen (militärischen) Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System) stützt. Die Verfügbarkeit bzw. Realisierbarkeit dreidimensionaler Positionen im Genauigkeitsbereich von einem Zentimeter an praktisch jedem Punkt der Erdoberfläche wäre ohne die Verwendung solcher Satellitensystemen nicht möglich. Eine wesentliche Voraussetzung dafür stellen auch die Definition, die Bereitstellung und der Unterhalt eines weltweiten dreidimensionalen Koordinaten-Referenzsystems dar, in dem dann die entsprechenden Positionsbestimmungen durchgeführt werden. Das in der geodätischen Fachwelt verwendete System heisst International Terrestrial Reference System (*ITRS*¹) und steht seit 1989 in verschiedenen Altersgenerationen als tabellarische Positions- und Geschwindigkeitsangaben (International Terrestrial Reference Frames *ITRF*) einiger hundert Referenzpunkten zur Verfügung.

Einige dieser Referenzpunkte haben nun eine besondere Stellung dadurch, dass sie verschiedene geodätische Beobachtungsverfahren örtlich zusammenfassen, was es erlaubt, durch eine direkte Kombination aller dieser Verfahren systematische Fehler zu erkennen und insbesondere die (unterschiedlichen) Stärken der Verfahren optimal für die Realisierung des Referenzsystems einzusetzen.

Folgende primäre Beobachtungsarten können sich auf solchen fundamentalen Referenzstationen finden:

- Very Long Baseline Interferometry (VLBI): Positionsbestimmung mit Hilfe von Radioteleskopen und extragalaktischen Radioquellen (Quasare)
- Satellite Laser Ranging (SLR): Satellitendistanzmessungen mit Laserpulsen

- Permanente GPS-Empfänger, allenfalls kombiniert mit GLONASS (der russischen Version eines Satellitennavigationssystems)
- Permanente Sender des (französischen) satellitengestützten Positionierungssystems DORIS («Doppler Orbitography by Radiopositioning Integrated on Satellite»)
- Messung der Schwerkraft und ihrer Änderungen

Weitere Messungen können

- die Richtungen zu Satelliten (optische Richtungsbeobachtungen mit CCD-Kameras)
 - den Meeresspiegel (Pegelmessungen)
 - die Lotrichtung (astronomische Ortsbestimmung)
 - die Atmosphäre (insbesondere Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit bzw. Wasserdampfgehalt)
 - die Umgebung (z.B. Sichtbarkeitsbedingungen, Verschiebungen, Deformationen, Senkungen, Bodenwassergehalt)
 - die Sonneneinstrahlung
 - die genaue Tageszeit (Anbindung an die Internationale Atomzeit)
- betreffen. Für die gemeinsame Auswertung der primären Daten ist eine genaue lokale Einmessung der Sensoren (Antennen, Teleskope, Gravimeter) entscheidend.

Ohne eine genaue und dauernde Kenntnis der Bewegung der Erde als gesamtes im Raum und bezüglich ihrer Ro-

tationsachse sowie der grossräumigen Bewegungsvorgänge auf der Erdoberfläche (Plattentektonik) wäre es unmöglich, die heute realisierbaren und stetig realisierten Genauigkeiten zu erreichen. Die Messungen auf den permanenten Referenzpunkten, insbesondere natürlich auf den Fundamentalstationen, sind Grundlage zur Bestimmung dieser Bewegungen.

Die Referenzstationen sowie die notwendigen Daten-, Analyse- und administrativen Zentren sind seit einigen Jahren, entsprechend den von ihnen betreuten Beobachtungstechniken, in Diensten der Internationalen Assoziation für Geodäsie (*IAG*) zusammengefasst:

- International VLBI Service (*IVS*)
- International Laser Ranging Service (*ILRS*)
- International GPS Service (*IGS*)
- International DORIS Service (*IDS*, ab vermutlich 2004)
- International Gravity and Geoid Commission (*IGGC*)

Die Bestimmung der Erdrotationsparameter und der Referenzsysteme wird vom

- International Earth Rotation and Reference Systems Service (*IERS*) durchgeführt.

Die Station Zimmerwald

In Zimmerwald sind die Beobachtungstechniken SLR, GPS/GLONASS, CCD, Schwerkraft (Erdzeitengravimeter) realisiert. Wir werden im folgenden schwerpunktmässig vor allem auf die Satellitendistanzmessung eingehen, da sie von der Einrichtung und vom Betrieb her eine Ausnahmestellung einnimmt. Die Geschichte der Station Zim-

Fig. 1: Die Fundamentalstation Zimmerwald.



¹ Zu den **fett-kursiv** gedruckten Begriffen und Abkürzungen sind am Schluss des Artikels weiterführende Internet-Links angegeben.

merwald wurde bereits auf S. 10/11 kurz zusammengefasst. Wir konzentrieren uns deshalb auf den Stand, wie er sich heute präsentiert.

Die Figur 1 zeigt links die «alte» Kuppel mit dem Schmidt-Cassegrain Doppel-Teleskop, den Mast mit der permanenten GPS-Antenne und rechts die «neue» Kuppel mit dem kombinierten Laser- und CCD-Teleskop. Vor der «alten» Kuppel ist knapp das Schachtfenster zum Gravimeter-Keller erkennbar.

Permanente GPS-Referenzstation

Seit 1992 betreibt **swisstopo**, das Bundesamt für Landestopographie, einen permanent arbeitenden GPS-Empfänger. Seine Antenne ist auf einem 9 Meter hohen Mast angebracht. Zimmerwald ist damit seit den ersten Tagen des IGS (Beginn der Test Campaign im Juni 1992) Referenzstation im weltweiten Netz des International GPS Service und seit 1995 Teil des europäischen Verdichtungsnetzes **EPN** (**EUREF** Permanent Network).

Die permanente Einbindung in das IGS-Netz und die örtliche Verknüpfung mit dem Laserteleskop (seinerseits Teil des International Laser Ranging Service ILRS) macht Zimmerwald «zum bestvermessenen Punkt» der Schweiz. Das Bundesamt für Landestopographie hat deshalb die Station Zimmerwald (bzw. einen verankerten Messingbolzen unter dem Antennenmast) als Referenzpunkt für die neue Landesvermessung LV95 gewählt. Sie stellt damit die Verknüpfung der Landesvermessung mit dem globalen Bezugssystem ITRS und dem regionalen europäischen Bezugssystem ETRS89 sicher.

Die Figur 2 zeigt die in den letzten 7 Jahren vom EPN wöchentlich bestimmten Positionen von Zimmerwald (Ost-, Nord- und Höhenkomponenten) im europäischen Bezugssystem (das im wesentlichen mit dem West- und Zentralteil des europäischen Kontinentes verknüpft ist).

Zimmerwald ist auch Teil des Automatischen GPS-Netzes Schweiz (AGNES) und des differentiellen Positionierungssystems Swipos des Bundesamtes für Landestopographie. Weiterführende Informationen darüber findet man auf den Webseiten der swisstopo.

Laserdistanzmessungen zu Satelliten

Das Messprinzip des «Satellite Laser Ranging» (SLR) ist vergleichsweise einfach: Ein auf der Station mit Hilfe eines Lasers erzeugter kurzer Lichtblitz wird durch das Teleskop gebündelt zu einem Satelliten geschickt, an ihm respektive

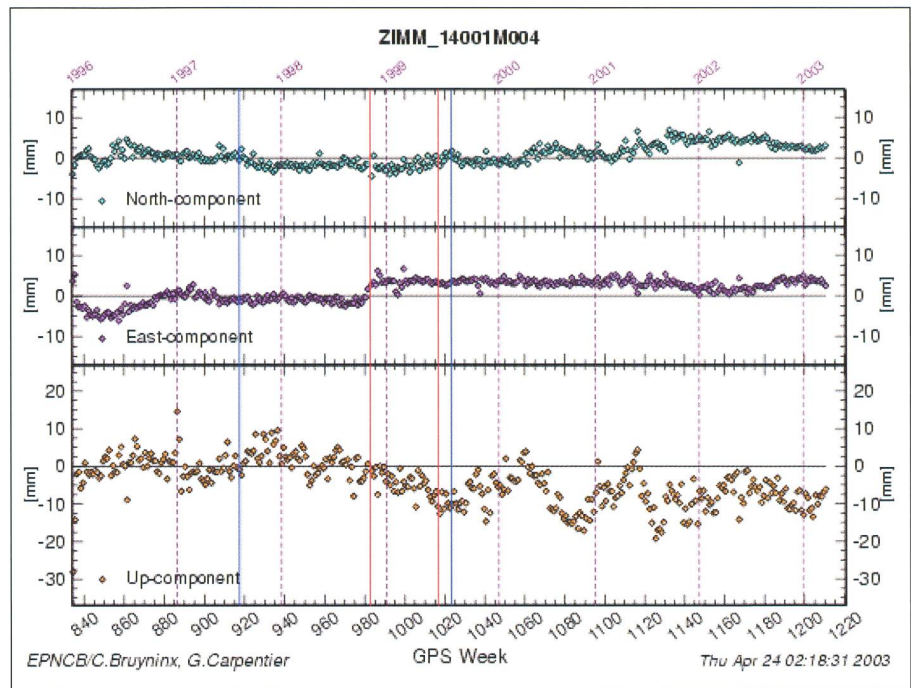


Fig. 2: Wöchentliche Positionsbestimmungen im Europäischen Bezugssystem.

von am Satelliten befestigten Retroreflektoren (Fig. 3) reflektiert und vom Teleskop wieder aufgefangen und detektiert. Die totale Laufzeit, die mit hochpräzisen Zeitintervallzählern gemessen wird, ergibt, multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, die doppelte Distanz des Satelliten zum Zeitpunkt der Messung. Korrekturen wegen der unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeit im Teil der Distanz, der in der Atmosphäre verläuft, müssen angebracht werden, ebenso Kalibrierkorrekturen wegen zusätzlichen Lichtwegen im Instrument und den Verzögerungen der elektrischen Signale in den Kabeln und Geräten.

Die tatsächliche Realisierung dieses einfachen Messprinzips ist aber relativ aufwendig, vor allem wegen der hohen verlangten Messgenauigkeit und der ver-

schwindend kleinen Energie der aufgenommenen reflektierten Laserpuls (unter Umständen weniger als ein Photon im Durchschnitt aller Pulse). Insbesondere das Störlicht des Tageshimmels verlangt einen hohen Aufwand an Vorrichtungen, die es erlauben, die empfangenen Laserphotonen überhaupt zu erkennen.

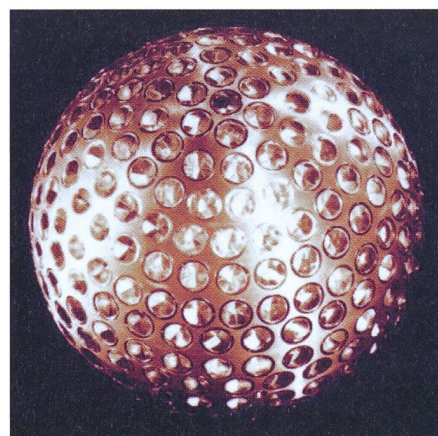
Laser-Distanzen zu Satelliten können nicht durch Wolken gemessen werden, sind im Vergleich zu GPS aufwendig in der Realisierung (gegenwärtig existieren weltweit nur etwa 40 SLR-Stationen, wovon gut die Hälfte regelmäßig die vom International Laser Ranging Service ILRS gesetzten Anforderungen erfüllen), haben aber den Vorteil der besseren Modellierbarkeit atmosphärischer Korrekturen und sind geometrisch stärker als die GPS-Distanzdifferenzen bzw. -Geschwindigkeiten. Satellitenseitig sind die Aufwendungen wesentlich geringer (nur passive Retroreflektoren notwendig).

Die Messdaten aller Stationen des ILRS werden in zwei Datenzentren (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut DGFI in München und Goddard Space Flight Center GSFC der NASA in Greenbelt USA) gesammelt und den Auswertezentren zur Verfügung gestellt.

Sie werden benützt unter anderem für die

- Berechnung der Positionen und Positionsänderungen der Stationen
- Bestimmung der Erdrotationsparameter (Position der momentanen Erdachse, Änderung der Rotationsgeschwindigkeit)

Fig. 3: Satellit LAGEOS (Ø 60 cm).



- Bestimmung der momentanen Position des Schwerpunktes der Erde
- Hochpräzise Bahnbestimmung, z.B. für Altimetersatelliten, welche die Form der Meeresoberfläche mit Radar abtasten; als einzige Technik oder zusammen mit GPS oder DORIS
- Validierung von Satellitenbahnen, die routinemässig mit anderen Methoden (GPS, DORIS) bestimmt werden
- Gravitationsfeldbestimmungen
- Kalibrierung anderer Methoden der Bahnvermessung von Satelliten (Radar, optisch)

Das SLR-System in Zimmerwald

Seit den siebziger Jahren werden in Zimmerwald durch das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB), seit 1992 mit Unterstützung durch das Bundesamt für Landestopographie, Distanzmessungen zu Satelliten durchgeführt. Seit 1998 ist die Station Zimmerwald Teil des in diesem Jahr gegründeten International Laser Ranging Service.

Der Titanium-Saphir-Laser von Zimmerwald erzeugt 10 mal pro Sekunde einen Puls mit einer Länge von etwa 0.1 Nanosekunden ($1 \text{ ns} = 10^{-9}$ Sekunden), was einer geometrischen Länge von etwa 3 cm entspricht. Die Energie des Pulses ist relativ bescheiden (einige 10 Millijoules), dies ergibt allerdings in der kurzen Zeit des Pulses eine Leistung von einigen hundert Megawatt.

Die Messgenauigkeit der Laufzeit bzw. der einfachen Distanz beträgt auch etwa 0.1 ns bzw. 15 mm für die Einzelmessung. Mit der Möglichkeit, mehrere Messungen pro Sekunde durchführen zu können, kann durch eine Art Mittelbildung aller Messungen innerhalb eines

Zeitintervalles von einigen Sekunden bis Minuten die Streuung dieser «Mittelwerte» (sog. Normal Points) auf wenige Millimeter reduziert werden. Nicht reduziert werden damit allfällige systematische Fehler, die aber unterhalb eines Zentimeters sein sollten. Die Figur 4 zeigt die Streuungen der etwa 1800 Einzelmessungen und 14 Normal Points eines ca. 30-minütigen Durchgangs des Satelliten LAGEOS über Zimmerwald. Weiterverarbeitet werden von den Analyse-Zentren praktisch ausschliesslich die Normal Points.

Das im Jahre 1997 eingeweihte Teleskop (siehe Titelbild), das sowohl für das gebündelte Senden als auch für das Auffangen des reflektierten Laserstrahles benutzt wird, besitzt einen Hauptspiegel von 100 cm Durchmesser. Der Laserstrahl wird von unten in der vertikalen Drehachse in die Gabel und über 3 Umlenkspiegel seitlich entlang der horizontalen Drehachse in das Rohr des Teleskops eingeführt (Coudé-Strahlengang), wo er über einen weiteren Umlenkspiegel und den Sekundär- und Primärspiegel das Teleskop exzentrisch verlässt. Das reflektierte Licht benutzt denselben Weg in umgekehrter Richtung nach unten zum Empfänger/Detektor, der sich wie der Laser im Raum unterhalb des Teleskops befindet.

Die maximale Drehgeschwindigkeit des Teleskops um die Vertikalachse (Azimut) beträgt $30^\circ/\text{s}$, in der Horizontalachse (Elevation) $15^\circ/\text{s}$. Damit kann einerseits die Nachführung zenitnaher Durchgänge bis über 89° Elevation sichergestellt werden, andererseits kann sehr rasch zwischen verschiedenen Satelliten hin- und hergeschwenkt werden: eine Voraussetzung für eine optimale Ausnutzung der Kapazitäten. Fig. 5 zeigt ein Beispiel der Distanzmessun-

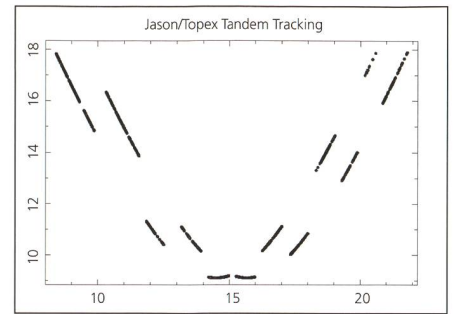


Fig. 5: Gemessene Distanzen: Rasches Wechseln zwischen Jason und Topex. (Laufzeiten in Millisekunden, Epochen in Minuten nach der vollen Stunde).

gen zu zwei Satelliten (Jason und Topex), die sich kurz hintereinander (Abstand ca. 1 Minute) in derselben Bahn befanden.

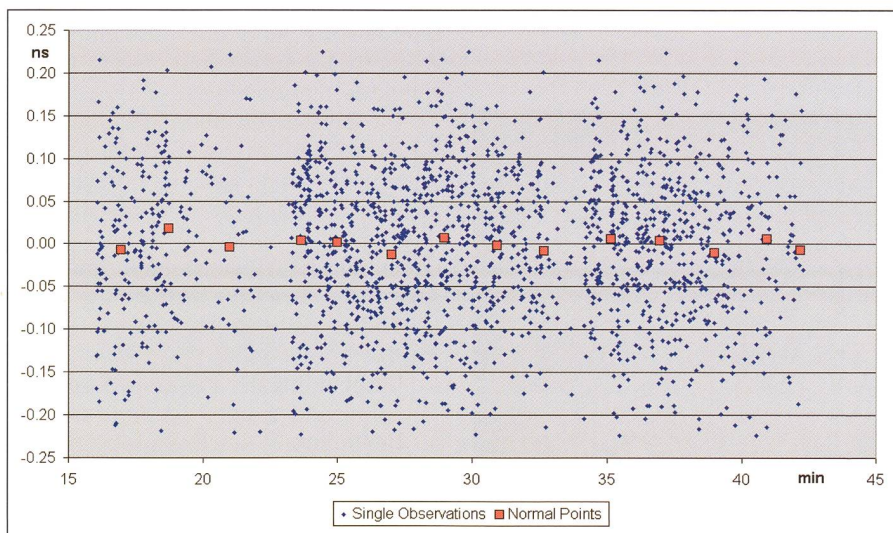
Das ganze System (Teleskop, Laser, Blenden, Filter, Verschlüsse, Detektoren, Zähler, Uhren) wird über einen DEC Alpha-Rechner gesteuert, der für besondere Aufgaben noch zwei Personal Computer (Teleskopsteuerung, Datenerfassung) und einige kleinere Mikroprozessoren kontrolliert. Die Benutzerführung läuft zentral über die Alpha. Alle im Beobachtungsbetrieb benötigten Manipulationen (z.B. inkl. Öffnen/Schliessen der Kuppel, Hochfahren und Teiljustieren des Lasers) können über den Rechner ausgeführt werden.

Mitarbeiter des Astronomischen Instituts und des Bundesamtes für Landestopographie sowie Physik- und Astronomie-Studenten der Universität Bern stellen den SLR-Beobachtungsbetrieb während zwei täglichen Arbeitsschichten praktisch sieben Tage in der Woche sicher. Durch die Möglichkeit, Beobachtungen für kürzere Intervalle ferngesteuert (z.B. von der Universität aus) beziehungsweise vollautomatisch (mit zwar reduzierter Effizienz) durchzuführen, können wir sogar eine nahezu lückenlose Überdeckung (24h/Tag) erreichen.

Fig. 6 zeigt die Anzahl monatlich gemessener Satellitendurchgänge seit 1997. Schwankungen in der Anzahl sind vor allem wetterbedingt. Eigentliche Lücken entstanden bei grösseren Unterhaltsarbeiten (z.B. mehrere Neubeschichtungen von Spiegeln). Bis jetzt wurden Messungen zu mehr als 50 verschiedenen Satelliten durchgeführt.

Eine Beobachtungsstation wird vor allem nach der Anzahl und Qualität der Beobachtungen beurteilt. Unter den ca. 40 Stationen des International Laser Ranging Service sind wir gegenwärtig (im Jahresmittel April 2002 - März 2003) an 8. Stelle bezüglich der totalen Anzahl gemessener Durchgänge aller Satelliten,

Fig. 4: Streuung der Einzelbeobachtungen und Normalpoints ($0.1 \text{ ns} = 15 \text{ mm}$).



an 5. Stelle betreffend der Anzahl gebildeter Normal Points zu den beiden geodynamischen LAGEOS-Satelliten (Fig. 7). Die Streuung der Einzelmessungen war mit dem bis anfangs März 2003 verwendeten Empfänger mit ca. 20 mm am oberen Ende der Skala. Der heutige Empfänger, eine «Single-Photon Avalanche Diode», ergibt eine Streuung von besser als 15 Millimetern, was uns etwa in das Mittelfeld bringen wird. Die Streuung der Normal Points (auf die LAGEOS-Satelliten) beträgt bei uns etwa 2.5 mm, diejenige der besten Stationen ca. 1.5 mm. Sehr wichtig ist die Absenz bzw. Konstanz der systematischen Distanz-Messfehler. Im letzten Jahresmittel war Zimmerwald hier an erster Stelle, vermutlich ein Resultat des (praktisch nur von uns) verwendeten Echtzeit-Kalibrierverfahrens.

Eine der Unsicherheiten in der Satelliten-Distanzmessung betrifft die Korrektur der gemessenen Laufzeiten wegen des Einflusses der Atmosphäre auf die Lichtgeschwindigkeit. Üblicherweise werden diese Korrekturen mit einem Modell berechnet, dessen freie Parameter Bodenluftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit präzisen Sensoren auf der Station erfasst werden. Die Lichtgeschwindigkeit in der Atmosphäre ist ebenfalls abhängig von der verwendeten Wellenlänge der Laserpulse. Als weltweit erste Station hat Zimmerwald im Sommer 2002 begonnen, regelmässig Distanzen in zwei Wellenlängen (423 nm = blau und 846 nm = infrarot) zu messen. Obschon die Genauigkeit bis jetzt noch nicht reicht, um aus den Unterschieden direkt auf die totale Korrektur zu schliessen, können damit zumindest gewisse obere Schranken für Restfehler in diesen troposphärischen Korrekturen angegeben werden.

Fig. 6: Anzahl monatlich beobachteter Satelliten-Durchgänge Januar 1997 - März 2003.

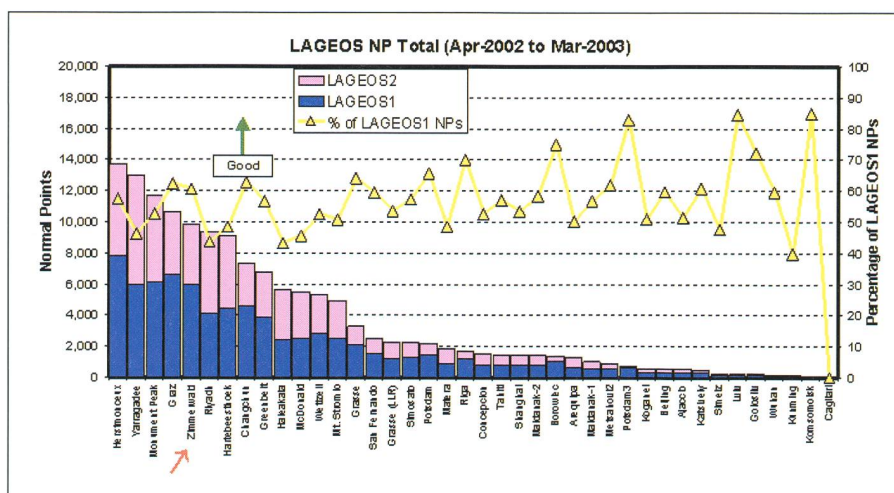
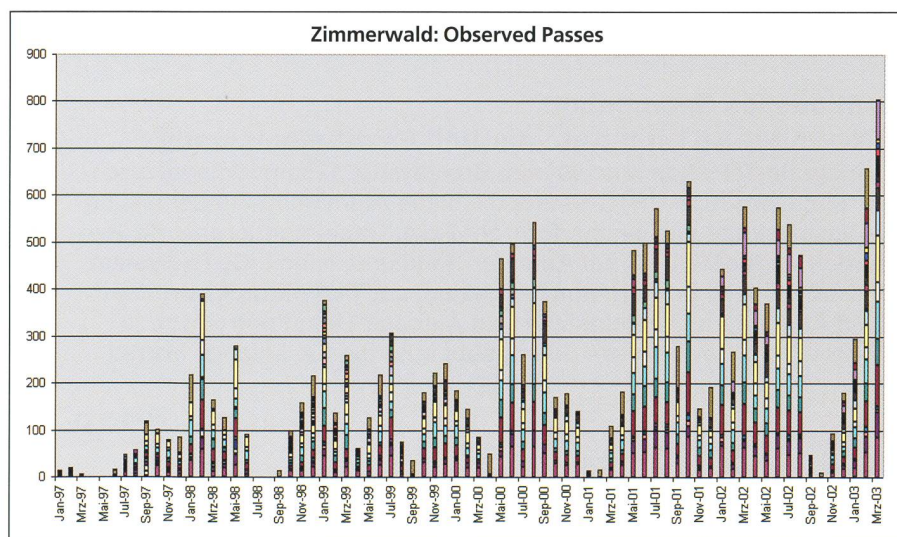


Fig. 7: Anzahl beobachteter LAGEOS Normal Points der ILRS Stationen (Zimmerwald mit Pfeil markiert. Quelle: ILRS).

Reduktionsoptik	Brennweite (m)	Bildfeld-Durchmesser (mm)	Bildfeld-Durchmesser (Bogenminuten)
FR/TV	1.22	16	45
CO1	4	15	13
CO2	4	60	52
CO3	8	30	13

Tabelle 1: Reduktionsoptiken

Nach anfänglichen Anlaufschwierigkeiten mit dem neuen SLR-System hat Zimmerwald nun einen Platz in der Spitzengruppe der ILRS-Stationen erreicht, den es nur mit dauernden und konsequenten Anstrengungen im Bereiche des Unterhalts, der Weiterentwicklungen und natürlich der Beobachtungstätigkeit behalten kann.

Ohne die personelle und finanzielle Beteiligung des Bundesamtes für Landestopographie und die finanzielle Unterstützung durch den Schweizerischen

Nationalfonds, die Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (über die Schweizerische Geodätische Kommission SGK) und die Hochschulförderung des Bundes wäre es unserem Institut nicht möglich gewesen, uns in diesem Bereich zu betätigen und international ganz vorne mitzuhalten.

Optische Richtungsbeobachtungen mit CCD

Das neue Teleskop wurde, in einer weltweit einzigartigen Weise, so konzipiert, dass es sowohl für SLR- als auch für optische Beobachtungen verwendet werden kann. Zu diesem Zweck wurde das Teleskop seitlich mit einer Instrumentenplattform ausgerüstet, auf der vier mit unterschiedlichen Reduktionsoptiken versehene Montageschlitten CCD-Kameras oder andere optische Empfänger aufnehmen können. Einer der Schlitten enthält eine hochempfindliche Videokamera, die während den Lasermessungen nachts zur visuellen Kontrolle der Satelliten-Nachführung verwendet wird. Die anderen drei Positionen (siehe Tabelle 1) sind vor allem für die Richtungs-Beobachtungen von Objekten wie Kleinplaneten, Satelliten, Raketenendstufen oder Raumschrott mit Einzelbild-CCD-Kameras reserviert.

Die Figur 8 zeigt eine Aufnahme mit einer CCD-Kamera in Position CO2. Die 7 geostationären Astra-Satelliten sind



Fig. 8: CCD-Aufnahme von Zimmerwald (Ausschnitt 12x12'): 7 geostationäre Astra-Satelliten.

als Punkte abgebildet, die Sterne bewegten sich während der Belichtungszeit von 2 Sekunden um eine halbe Bogenminute.

Der Strahlteiler in der horizontalen Achse des Teleskops, der den Lasersendestrahle ein- bzw. das empfangene Signal auskoppelt, kann für die Dauer von hochpräzisen CCD-Aufnahmen pneumatisch ausgeschwenkt werden. Ein Wechsel von einer Betriebsart auf die andere (SLR $\leftrightarrow$ CCD) dauert nur wenige Sekunden. CCD-Aufnahmen können dadurch leicht zwischen oder sogar in

SLR-Satellitendurchgänge eingeschoben werden. Dies ergibt insgesamt eine hervorragende Ausnutzung des Systems, die bei einem rein astronomischen Teleskop nie erreicht werden könnte.

Anwendungen der Richtungsbeobachtungen sind auf S. 30-35 beschrieben.

Erdgezeitenstation, Schweremessungen

Seit 1994 betreibt das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich in einem speziell dafür gebauten Kelleranbau ein sogenanntes Erdgezeitengravimeter, ein Gerät, das die durch Mond und Sonne hervorgerufenen periodischen Änderungen der Schwerkraft kontinuierlich misst. Diese Gezeitenkräfte bewirken zudem eine periodische vertikale Bewegung der Erdkruste (bei uns ca. ± 15 cm, die sich wiederum in den Satellitenbeobachtungen (Distanzen, GPS-Messungen) finden müssen. Säkulare vertikale Bewegungen müssen sich auch in einer kontinuierlichen Änderung der absoluten Schwerkraft auswirken. 1997 wurde mit einem Absolutgravimeter des Instituto Metrologico G. Collonetti von Turin erstmals in Zimmerwald die absolute Schwerkraft gemessen. Es ist geplant,

solche Messungen in nächster Zukunft in etwa jährlichem Rhythmus durch das Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (*metas*) wiederholen zu lassen. Die örtliche Nähe der gravimetrischen und geometrischen Messungen erlauben einen direkten Vergleich der Schwerkraft- mit den Vertikalpositions-Zeitreihen: Zu-mindest zum Zwecke der Überprüfung auf systematische Fehler in den einzelnen Messgrößen, Modellfehlern in den Reduktionen, wenn nicht sogar zur Bestimmung von geophysikalischen Parametern der Erdkruste.

PROF. DR. WERNER GURTNER

Astronomisches Institut der Universität Bern
Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern

E-Mail: werner.gurtner@aiub.unibe.ch

Weiterführende Links:

AIUB	http://www.aiub.unibe.ch
EPN	http://www.epncb.oma.be
EUREF	http://www.euref-iaig.org
IAG	http://www.gfy.ku.dk/~iag
IDS	http://ids.cls.fr
IERS	http://www.iers.org
IGGC	http://www.iag-iggc.org
IGP	http://www.igp.ethz.ch
IGS	http://igsb.jpl.nasa.gov
ILRS	http://ilrs.gsfc.nasa.gov
ITRF	http://www.iers.org/iers/products/itrf
ITRS	http://www.iers.org/iers/products/itrs
IVS	http://ivscc.gsfc.nasa.gov
metas	http://www.metas.ch
swisstopo	http://www.swisstopo.ch



Tel. 031 311 21 13 Fax 031 312 27 14

Ihr Partner für Teleskope und Zubehör

- Ferngläser, Spektive
- Teleskope, Okulare, Filter
- Stative, Montierungen
- Sternkarten, Sternatlanten, Astronomische Literatur
- CCD-Kameras, Astro-Software

- Wir haben auch für Sie das passende Astronomie-Teleskop
- Beratung, Service, Günstige Preise
- Seit über 60 Jahren am Casinoplatz und seit 1994 Ihr Astropartner



Unser sensationelles Setangebot!

MEADE ETX 125 EC SET mit Autostar und Felddreibeinstativ

Maksutov-Cassegrain-Teleskop mit 1900mm Brennweite, 125mm Spiegeldurchmesser, f/15.0. Multivergütete UHTC-Glasoptik, blaue Aluminium-Tubusfassung. 26mm Super-Plössl Okular und Sucherfernrohr 8x21, Gabelmontierung mit Teilkreisen, Motorbetrieb für RA/DEC mit Autostar-Handkontrollbox. GoTo-System mit über 14'000 abgespeicherten Himmelsobjekten, auf Tastendruck abrufbar! Komplettsset mit Aluminium-Dreibeinstativ und Autostar-Handkontrollbox zu einem ansehbaren Sparpreis. Dieses Setangebot erhalten Sie solange Vorrat!

Fr. 2238.-

Internet <http://www.zumstein-foto.ch>

e-mail: astro@zumstein-foto.ch