



Der Beitrag Österreichs an UNIGRACE – Unification of Gravity Systems of Central and Eastern European Countries

Diethard Ruess ¹

¹ *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung V1-Grundlagen, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **90** (3–4), S. 129–139

2002

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Ruess_VGI_200214,  
Title = {Der Beitrag {"0}sterreichs an UNIGRACE -- Unification of Gravity  
Systems of Central and Eastern European Countries},  
Author = {Ruess, Diethard},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {129--139},  
Number = {3--4},  
Year = {2002},  
Volume = {90}  
}
```



sich in Abb. 3. Für $k = 3, \dots, 6, 9$ gibt es keine Lösung. Für $k = 10$ wurde bei den benutzten Startwerten der Hüllkreis (mit sehr großem Radius) durch die Punkte mit den Nummern 4, 9 und 10 nicht gefunden.

Literatur

- [1] *Dörflinger, J.*: Approximation durch Kreise: Algorithmen zur Ermittlung der Formabweichung mit Koordinatenmessgeräten, Diplomarbeit in Mathematik, Universität Ulm 1986.
[2] *O'Rourke, J., Kosaraju, S. R., Meggido, N.*: Computing Circular Separability, *Discrete Comput. Geom.* 1, 105 – 113 (1986).

- [3] *Späth, H.*: Bestimmung von Hüllkreis und -kugel mittels sequentieller linearer Optimierung, AVN 7/1999, 239 – 242.
[4] *Späth, H.*: Bestimmung von Pferchkreisen und -kugeln mittels sequentieller linearer Optimierung, AVN 10/1999, 343 – 345.
[5] *Späth, H., Watson, G. A.*: On a sequential linear programming approach to finding the smallest circumscribed, largest inscribed, and minimum zone circle or sphere, *Math. Commun.* 6, 29 – 38 (2001).

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Helmuth Späth, Fachbereich Mathematik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Postfach 2503, D-26111 Oldenburg, Germany. e-mail: spaeth@mathematik.uni-oldenburg.de



Der Beitrag Österreichs an UNIGRACE – Unification of Gravity Systems of Central and Eastern European Countries.

Diethard Ruess, Wien

Zusammenfassung

Das BEV beteiligte sich an dem, von der EU teilfinanzierten Projekt UNIGRACE, (Unification of Gravity Systems of Central and Eastern European Countries) in den Jahren 1998 – 2002. Ziel war es, unter Einsatz mehrerer Absolutgravimeter die verschiedenen historisch gewachsenen Schwerenetze der beteiligten Länder in ein einheitliches System überzuführen. Dieses neue auf modernster Technik aufbauende System dient als Grundlage für weiterführende, grenzüberschreitende Problemstudien in Geodäsie, Geophysik und physikalisch-technischen Anwendungen.

Abstract

The BEV took part at the UNIGRACE project between 1998 and 2002 which was promoted by the EC. The aim was to unify the different grown gravity systems of the participating countries using absolute gravity techniques. This new modern system will be the base of further international and interdisciplinary studies in Geodesy, Geophysics and technical employment.

1. Einleitung

Das Projekt UNIGRACE wurde in den Jahren 1998 - 2002 durchgeführt. Es entstand auf Anregung der Zentraleuropäischen Initiative (CEI) 1995 [1]: In einem Forschungsprogramm sollten Beobachtungen der mittleren Meeresoberflächen und Absolutschweremessungen im Raume Mitteleuropas in Zusammenhang gebracht werden. Es entwickelte sich die Konzeption, Absolutschweremessungen an besonders ausgewählten geodätischen Fundamentpunkten durchzuführen und darüber hinaus Gezeitenpegel der Ostsee, der Adria und des Schwarzen Meeres einzubinden. Es wurden 21 Stationen in 12 Ländern ausgewählt, die eine Traverse von Absolutschweremessungen zwischen Ostsee und Adria mit einer Verbindung zum Schwarzen Meer bilden. Das Projekt wurde von der EC im

Rahmen des INCO-COPERNICUS gefördert und teilfinanziert, mit dem volkswirtschaftlichen Ziel, die Schweresysteme der beteiligten Länder, die sich historisch unterschiedlich entwickelt hatten, zu vereinheitlichen. In Österreich wurde die Beteiligung an UNIGRACE vom BEV wahrgenommen.

2. Ziele des Projektes

Die Schwerkraft ist eine physikalische Größe, die von der geographischen Position (Lage und Höhe) einerseits und von der Zeit andererseits abhängig ist. Bei verschiedenen messtechnischen Problemstellungen wird sie als konstant vorausgesetzt, wie z.B. bei der Festlegung von Standards, die Kräftevergleiche nutzen (Strom, Druck, Masse). Sie beeinflusst ebenso die Defini-

tion von Höhensystemen. Die Schwerkraft spielt eine wichtige Rolle bei der Erforschung der Massenverteilung in der Erdkruste und wird daher zur Exploration von Bodenschätzen verwendet. Aus diesem Grund besitzt die Kenntnis über das Schwerkraftfeld für jedes Land einen hohen ökonomischen Wert. Ebenso hatte die Kenntnis des Schwerkraftfeldes in manchen Ländern große Bedeutung für die militärische Verteidigung. Diese Umstände führten dazu, dass in vielen Staaten Schwerewerte bislang nicht öffentlich zugänglich waren (und z.T. noch sind). Konsequenterweise entstanden dadurch zahlreiche verschiedene Schweresysteme in Europa. Die Unterschiede zwischen den Systemen beeinflussen Kartographie, Vermessung und Navigation genauso wie die Höhensysteme Europas und deren Höhendatum.

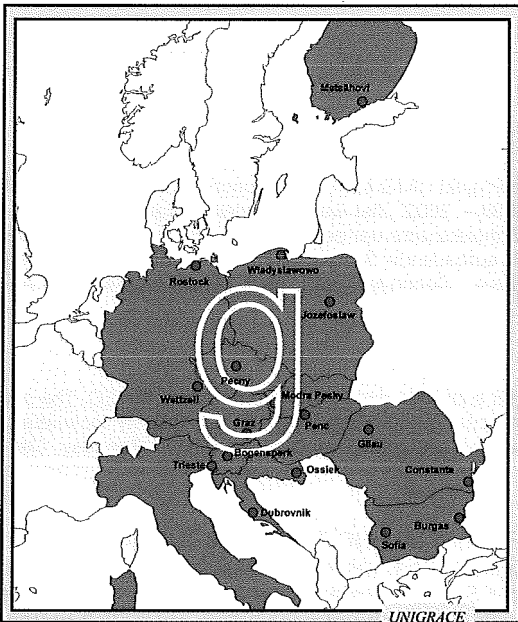


Abb. 1: UNIGRACE: Absolutschwere Stationen

Infolge der politischen Veränderungen in Europa und der daraus folgenden ökonomischen engeren Beziehungen wurden solche, früher geheim gehaltene Daten, z.T. allgemein zugänglich. Es ist daher ein Muss, die Differenzen der Schweresysteme zu analysieren und zu beseitigen. Der optimale Weg dieses Problem zu lösen ist, an ausgesuchten Stationen in Mittel- und Osteuropa Absolutschweremessungen durchzuführen. Die Technologie dafür ist ausgereift und verfügbar. Die gemeinsamen Bemühungen einiger Teams, die solche Messungen ausführen, ermöglichen den Aufbau weiträumiger gravimetri-

scher Netze in relativ kurzer Zeit. Qualifizierte wissenschaftliche Gruppen aus vier EU-Staaten (Deutschland, Finnland, Italien, Österreich) und acht Staaten Zentral- und Osteuropas (Bulgarien, Kroatien, Tschechien, Ungarn, Polen, Rumänien, Slowakei, Slowenien) nahmen sich vor, diese Aufgabe zu erfüllen. Als Ergebnis liegt ein vereinheitlichtes Schweresystem in Europa vor, als Grundlage für:

- Messtechnik (Metrologie)
- Kartographie, Vermessung und Navigation
- Höhenbestimmung
- Studien von Änderungen der Meeresspiegel
- Geophysikalische Forschung
- Exploration und Bergbau

Weiters erfolgte durch dieses Projekt ein Austausch an Know-how der Technologien, insbesondere durch den Vergleich verschiedener Messgeräte.

3. Aufgabenstellung

Die Entwicklungen der Laser – Interferometrie, von hochpräzisen Zeitintervallzählern und von transportablen gut stabilisierten Laserstandards, insbesondere jenen an der Absorptionslinie von Jod, ermöglichten es, die Schwerebeschleunigung mithilfe des freien Falles unter speziellen Feldbedingungen mit hoher Genauigkeit im Bereich von $1: 10^{-9}$ zu bestimmen. Vier der in UNIGRACE beteiligten ballistischen Absolutgravimeter nutzen die Beobachtung des freien Falles ([2], [3]), eines beobachtete Wurf und Fall [4]. Geplant war der Aufbau eines Netzes von 17 Stationen in 12 Ländern (Abb. 1), tatsächlich verwirklicht wurden letztlich 20 Stationen (Tab. 1).

Die interkontinentalen Stationen wurden unter Beachtung der geologischen Verhältnisse ausgesucht. Sie bieten die Grundlage für ein einheitliches Schweresystem, dem SI entsprechend.

Pegelstationen an Meeresküsten wurden ins Projekt einbezogen, um einerseits einen Beitrag zur Vereinheitlichung der Höhensysteme zu leisten, andererseits um zukünftig Änderungen der Meeresspiegel und deren Potentialwerte zu untersuchen. Die geographische Verteilung der Stationen erfolgte so, daß jedes teilnehmende Land den vollen Nutzen aus dem Programm ziehen kann. Die Ausstattung der Absolutstationen erfolgte nach internationalen Richtlinien [5].

Die Messungen erfolgten in zwei Serien, je eine 1998/99 und 1999/2000(01). Die zweite Serie diente der Kontrolle der instrumentellen Genauigkeit und der geologischen Stabilität der Stationen. Zwei Stationen (Wetzell, Jozefoslaw)

	Land	Absolutgravimeter		kontinentale Station	Pegelstation
		Typ	Modell		
1	Österreich	FF	JILAg-6	Graz	---
2	Bulgarien	---		Sofia, Plana	Varna
3	Kroatien	---		Osjek	Dubrovnik
4	Tschechien	---		Pecny	---
5	Finnland	FF	JILAg-5	---	Metsähovi
6	Deutschland	FF	FG5-101	Wetzell	Rostock
7	Ungarn	---		Penc	---
8	Italien / F	FF	FG5-206	---	Triest
9	Polen	SWF	ZZG	Jozefoslaw	Krokowa
10	Rumänien	---		Belis, Cluj	Constanta
11	Slowakei	---		Modra Piesky	---
12	Slowenien	---		Lubljana, Gotenica	---

FF	Freier Fall
SWF	Symmetrischer freier Wurf und Fall

Tab. 1: UNIGRACE – Beteiligte Länder, Instrumente und Stationen

dienten als Referenzstationen zum Vergleich aller Geräte während der Kampagne. Jede Absolutstation wurde durch Relativmessungen mit dem jeweiligen nationalen Schweregrundnetz verknüpft. Dadurch lassen sich Datum und Maßstab der Schweregrundnetze abgleichen. Jede Station ist durch ein lokales gravimetrisches Mikronetz abgesichert, um so lokale Veränderungen zu überwachen, die z. B. durch Bodendeformationen oder Änderungen des Grundwasserspiegels verursacht werden.

In jährlichen Konferenzen wurden Planung, Projektfortschritte und Ergebnisse diskutiert und koordiniert.

4. Nutzen des Projekts

Die Erwartung, ein einheitliches Schwere-system mit einer Genauigkeit der Größenordnung $1:10^9$, entsprechend dem derzeit möglichen Technologiestand zu erbringen, wurde weitgehend erfüllt. Daraus lässt sich Nutzen nach verschiedenen Kategorien ziehen:

- Bestimmung der absoluten Schwerewerte in SI Einheiten mit der höchst möglichen Genauigkeit
- Transformation aller bestehenden Schwerewerte Mittel- und Osteuropas in den internationalen Referenzrahmen
- Transformation der Normschwerewerte für präzise Gewichtsbestimmungen und ähnliche instrumentelle Anordnungen wie z.B. für hochgenaue Drucksensoren, um die Prüfmethoden zu verbessern und die Übereinstimmung der Laboratorien der EU und der Länder Mittel- und Osteuropas zu gewährleisten

- Bereitstellung standardisierter Schwerewerte als wichtige Voraussetzung für die gemeinsame Festlegung eines einheitlichen Höhensystems und Geoides in Europa
- Bereitstellung einer einheitlichen europäischen Referenz für die geophysikalische Forschung und Exploration natürlicher Rohstoffreserven
- Errichtung von Eichlinien, die mit allen verfügbaren Relativgravimetern benutzt werden können
- Einführung eines gemeinsamen Schwere – Standards, der als Grundlage für den exakten Vergleich der Meeresspiegelhöhen zwischen Adria, Schwarzem Meer und Ostsee und für Untersuchungen geodätischer und geophysikalischer Einflüsse globaler Änderungen benötigt wird
- Förderung und Festigung der Forschung bzw. Entwicklung des Technologiepotentials in Mittel- und Osteuropa infolge der Kooperation der beteiligten Länder
- Die Definition des Schwere – Standards in der Nähe von Pegelstationen der Ostsee, der Adria und des Schwarzen Meeres bildet eine unverzichtbare Voraussetzung bei der Erforschung von Meeresspiegelschwankungen und deren Ursachen (Treibhauseffekt, globale Änderungen).

5. Interne Anwendung der Ergebnisse

Der unmittelbare Nutzen des Projektes für die beteiligten Institutionen ist:

- Anpassen der Schwere – Datenbanken an das neue Schwere-system

- Kalibrieren der Relativgravimeter, um Schweredaten mit globalen Datenbanken austauschen zu können und so die Berechnung eines globalen Geoides bzw. Erdschwerefeldes zu ermöglichen
- Schaffung von Vergleichsstationen um regionale und lokale Änderungen des Schwerefeldes studieren zu können, wie sie durch seismisch bedingte Krustendeformationen und andere geodynamische Phänomene hervorgerufen werden.

Alle Daten der Referenzstationen werden dem internationalen gravimetrischen Büro (BGI) übermittelt und werden frei zugänglich sein.

6. Finanzierung

Die EU stellte für UNIGRACE einen Finanzierungsrahmen von 300.000,- EUR zur Verfügung. Je nach finanziellem Status der beteiligten Institutionen betragen die Zuwendungen 50% oder 100% der Aufwendungen. Der Projektzeitraum betrug 3 Jahre, in dem die Mittel nach folgendem Schlüssel ausgeschüttet wurden:

1. Jahr 40 %
2. Jahr 25 %
3. Jahr 25 %

Rest 10 % nach Vorliegen des Abschlussberichtes.

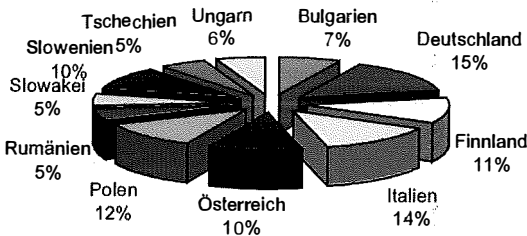


Abb. 2: Finanzierungsschlüssel

7. Messkampagnen

Die ausgesuchten Stationen wurden in zwei Messkampagnen 1998/99 und 2000/2001 von jeweils zwei verschiedenen Absolutgravimeter-teams beobachtet. Zusätzlich wurden die Stationen Jozefoslaw (PL) und Wettzell (D) als Referenz von allen Teams in beiden Kampagnen gemessen. Vor Beginn und nach Abschluss des UNIGRACE Projektes beteiligten sich die Absolutgravimeter-teams am internationalen Absolutgravimeter Vergleich am BIPM in Sévres/Paris (ICAG 1997, 2001) [6], [7].

8. Beteiligung des BEV

8.1 Instrumentierung

a.) Absolutgravimeter

Zum Einsatz kam das Absolutgravimeter JILAg-6, das gemeinschaftlich von mehreren Institutionen aus dem Bereich des Wissenschaftsressorts angeschafft wurde und vom BEV auf Basis des Verwaltungsabkommens „Gravimetrie“ seit 1987 eingesetzt wird.

Das Absolutgravimeter JILAg-6 wurde 1986 von J. Faller, University of Colorado, USA gebaut. Beobachtet wird der freie Fall durch Messung von Zeit und Fallstrecke mit Hilfe eines Laser Interferometers. Upgrades wurden 1994 und 1997 bei Micro-g (T. Niebauer) in Colorado durchgeführt, wobei Komponenten des Nachfolgegerätes FG5 eingebaut wurden [3]. Das ursprüngliche Design der JILA- Type (Abb. 3) wurde beibehalten, die elektronischen Komponenten sind jedoch ident mit denen der FG5 Serie. Seit 1997 kommt auch ein Jod - stabilisierter HeNe Laser von Winters zum Einsatz, der dem internationalen Längennormal im Genauigkeitsbereich von 1:10¹⁰ entspricht.

Gemessen wird Fallweg und Zeit von einer Serie von Fallversuchen, üblicherweise etwa 2100 Drops / 12 Stunden. Bei jedem einzelnen Fall (drop) werden 680 Datenpaare bestimmt. Die Primärauswertung der Beobachtungen erfolgt mit der letzten Version der Auswertesoftware Olivia von Micro-g nach dem Gleichungssystem:

$$x_i = x_0 + v_0 t_i + \frac{g}{2} \cdot t_i^2 + \frac{1}{6} \gamma v_0 t_i^3 + \frac{1}{24} \gamma g t_i^4$$

x_i = Fallweg

t_i = Fallzeit

v_0 = Anfangsgeschwindigkeit

γ = Vertikalgradient der Schwerebeschleunigung

g = Schwerebeschleunigung

x_0 = Auslösepunkt

Als Referenzpunkt der Absolutschweremessung wird die Höhe nach $\frac{1}{3}$ Fallstrecke angegeben, i.e. 84cm über Boden beim JILAg-6.

b.) Relativgravimeter

Das Relativgravimeter LCR-D51 wurde für eine Reihe von Sekundärbeobachtungen eingesetzt:

- Prüfen der Stabilität beim Erkunden der Absolutschwerestation
- Messen des Vertikalgradienten der Absolutschwerestation

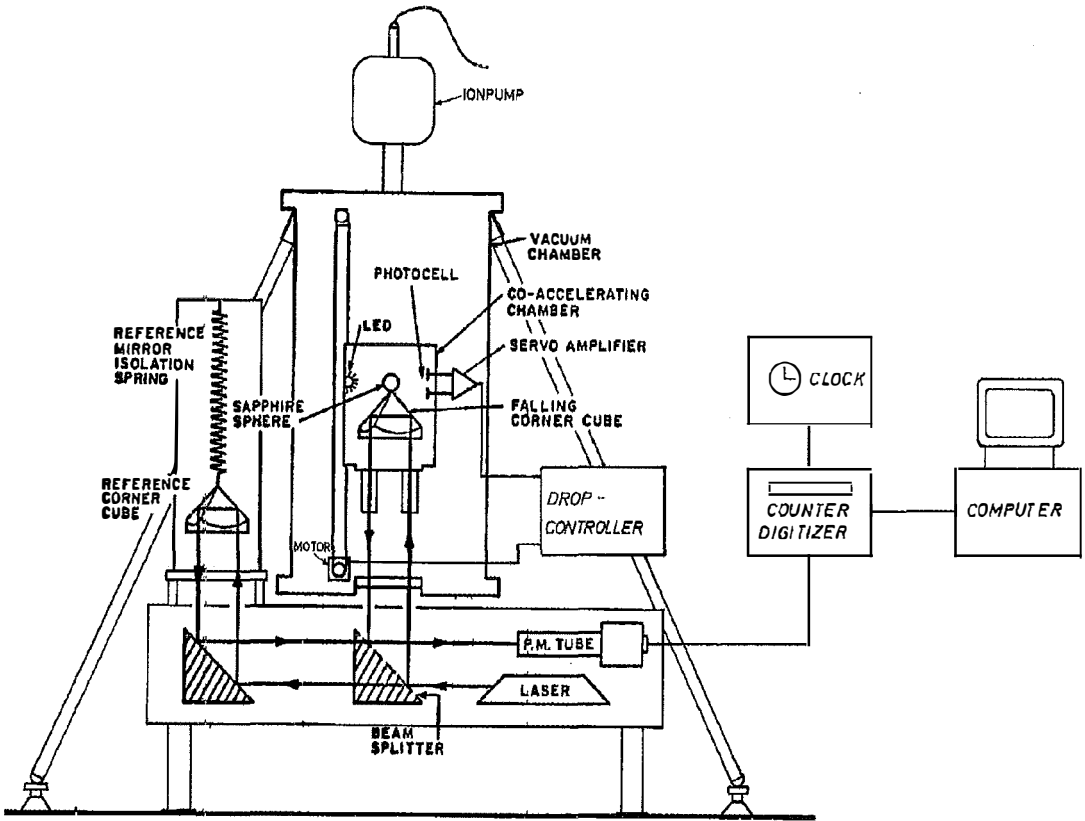


Abb. 3: Schema des JILAg Absolutgravimeters [2]

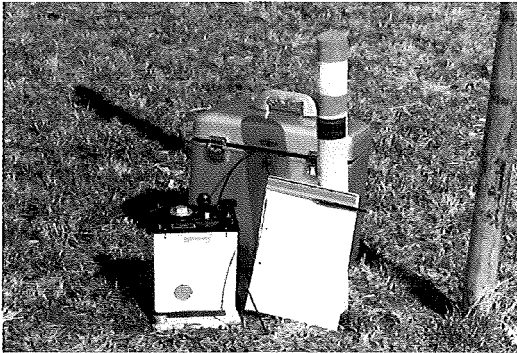


Abb. 4: Relativgravimeter LCR - D

- Übertragen des Schwerewertes von der Absolutreferenz zum Bodenpunkt bzw. zu Punkten des nationalen Schweregrundnetzes.

8.2. Messkampagnen

Die Messungen für UNIGRACE wurden vom BEV in 2 Kampagnen 1998 und 2000 durchgeführt [8], [9], [10]. Hinzuzuzählen sind die interna-

tionalen Vergleichsmessungen in Sévres 1997 und 2001 (Tabelle 2 und Abb. 5) [6], [7].

Land	Station	Kampagne
Österreich	Graz	1998 / 2000
Bulgarien	Sofia	1998
	Plana	1998
	Varna	1998
Italien	Trieste	2000
Slowenien	Bogensperk	2000
Slowakei	Modra	2000
Deutschland	Wetzell	1998/2000
Polen	Jozefoslaw	1998/2000
Frankreich	Sévres	1997/2001

Tab. 2: Mit JILAg-6 beobachtete Stationen

Bulgarien 1998

Bulgarien verfügte zu Beginn der Kampagne nur über ein neues modernes Gravimeter hoher Genauigkeit (La Coste & Romberg) und einen Absolutschwerepunkt in Sofia, der zwischen 1981 und 1986 mit dem russischen Absolutgravimeter GABL bestimmt wurde. Das be-



Abb. 5: Mit JILAg-6 beobachtete UNIGRACE Stationen

stehende bulgarische Schwerenetz wurde mit älteren Quarzfeder – Gravimetern russischer Bauart zwischen 1964 und 1969 gemessen. Eine bestehende Gravimereichlinie, die vom Absolutpunkt in Sofia ausgeht, sollte mit Unterstützung des BEV überprüft und gegebenenfalls mit einer Absolutschweremessung am anderen Ende derart abgesichert werden, dass der Maßstabsfaktor des Relativgravimeters einwandfrei überprüft werden kann. Weiters vorgesehen war eine Absolutschwerestation an der Küste in der Nähe eines Meerespegels.

Die Erkundung wurde im Juli 1998 gemeinsam mit den bulgarischen Kollegen mit dem Relativgravimeter des BEV (LCR-D51) vorgenommen. Mit einem LCR Gravimeter lässt sich die Stabilität einer Station sehr leicht testen, da das Federgravimeter extrem neigungsempfindlich ist und auf Bewegungen einer Person reagiert, falls das Fundament nicht stabil genug ist. Der Test der Inlandstation im Zentrum von Sofia, im Forschungsinstitut für Geodäsie und Photogrammetrie zeigte einen hohen mikroseismische Pegel, der in erster Linie durch den Verkehr verursacht wird und die Schwerebeobachtungen beeinflusst bzw. verfälscht. Die oben angesprochene alte Gravimereichlinie ist nicht mehr verfügbar und somit existierte z.Z. in Bulgarien keine moderne, komfortable Gravimereichstrecke. Komfortabel

bedeutet hier eine Gravimereichstrecke mit etwa 4 Stationen und 200 mGal ($= 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$) Schweredifferenz, deren Punkte rasch und leicht mit einem Auto erreichbar sind und deren Endpunkte ausreichend genau bestimmt wurden. Dieser Umstand und die relativ unruhige Station in Sofia führten dazu, eine andere geeignete Lokalität in der Nähe von Sofia zu suchen. Diese wurde am astronomischen Observatorium in Plana gefunden, das sich in ungefähr 50 Autominuten vom Stadtzentrum Sofia erreichen lässt und extrem ruhig liegt. Hier wurde eine Sekundärstation zu Sofia ausgewählt und zwei Zwischenstationen für Relativmessungen eingerichtet. Eine erste relative Bestimmung dieser neuen Gravimereichlinie wurde mit dem LCR Gravimeter im Zuge der Erkundung durchgeführt.

An der Küste des Schwarzen Meeres war ursprünglich die Pegelstation Herakli für eine UNIGRACE Station vorgesehen. Allerdings war im Gebäude und in der Umgebung kein geeignetes Fundament für Absolutschweremessungen auffindbar und ein Fundamentbau kam nicht in Frage. Die eigentliche Messkampagne wurde für September 1998 fixiert. Bis dahin wurde von den Bulgarischen Kollegen eine alte russische Absolutschwerestation im astronomischen Observatorium „N. Kopernikus“ in Varna nahe der Küste ausfindig gemacht.



Abb. 6: UNIGRACE Stationen in Bulgarien

Der Transport des Absolutgravimeters nach Bulgarien erfolgte mit einem Kleinbus über die Route Wien - Triest, weiter mit der Fähre bis Igomonitza an der nordgriechischen Adriaküste, von dort weiter durch Nordgriechenland über Saloniki zur GR/BG Grenze Promachon / Kulata und weiter nach Sofia. Die direkte Route über Belgrad war 1998 nicht angeraten.

Die Messungen fanden programmgemäß in der Zeit 12. – 26. September an den 3 Stationen Sofia, Plana und Varna statt. Wie oben erwähnt hängt die Qualität der Messergebnisse von der Stabilität und Ruhe der Beobachtungsstation ab. Abb. 7 zeigt einen Vergleich der Messwertstreuungen an den Stationen Plana (stabil, sehr ruhig), Sofia (freistehender Sockel, Unruhe durch Verkehr) und Varna (Sockel in Sediment, Küstennähe, starke Brandung) im Verhältnis 1:20.

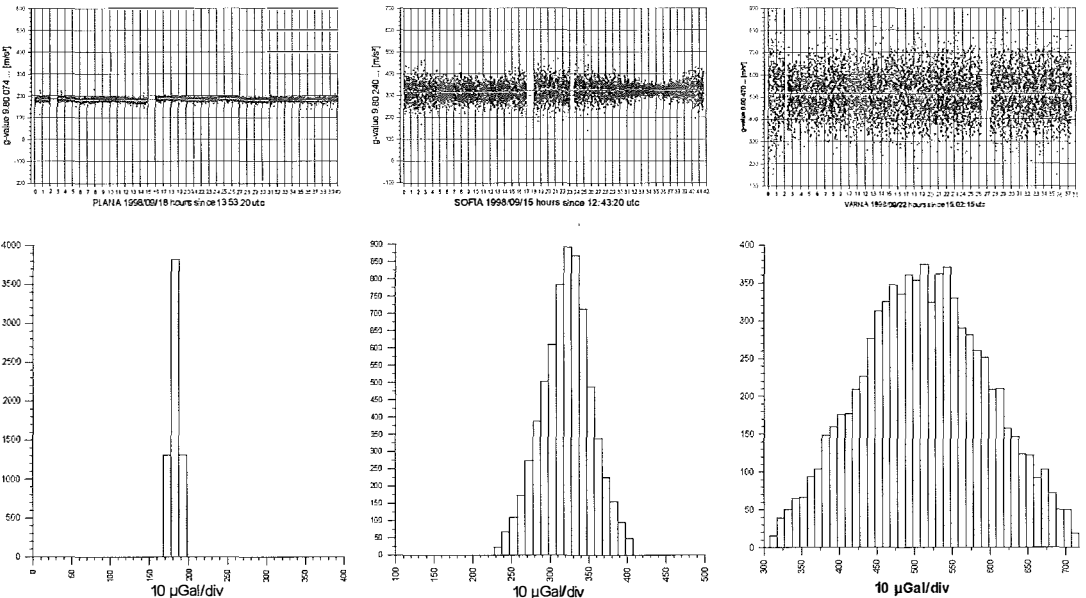


Abb. 7: Messwertstreuungen und Histogramme im Vergleich: Plana, Sofia, Varna

Alle 3 Stationen wurden mit Relativmessungen des Bulgarischen Schwerenetzes verknüpft.

Modra Piesky 2000

Die Slowakische UNIGRACE Station befindet sich in einem Gebäude des Astronomisch – Geophysikalischen Observatoriums Modra Piesky in den Kleinen Karpaten. Erste Absolutschwerebeobachtungen wurden hier bereits 1993 mit dem JILAg-6 getätigt. Die Station ist auf Fels gegründet, abgelegen von Siedlung und Verkehr und normalerweise sehr ruhig. Während der Kampagne im Juni 2000 verursachte jedoch ein Sturm durch die Einwirkung auf den Wald im Bereich der Station relativ hohe Seismizität.

Bogensperk / Slowenien

Die UNIGRACE Station ist auf Fels gegründet in einem Keller der Burg Bogensperk in der Nähe von Litija im Savetal. Die Station hat ein exzellentes Fundament und zeichnet sich durch sehr niedrige Seismizität aus.

Triest / Italien

Die italienische UNIGRACE Station befindet sich im ehemaligen geophysikalischen Institut der Universität Triest, einem aufgelassenen Gebäude in der Nähe des Hafens. Die Beobachtungen wurden zwar durch die Nichtnutzung des Gebäudes nicht gestört, andererseits gab es kei-



Abb. 8: UNIGRACE Station Graz / Lustbühel

nerlei Infrastruktur und die Stromversorgung erfolgte über ein langes Kabel vom Nachbarhaus. Die Messungen erfolgten über ein Wochenende, wodurch die verkehrsbedingte Unruhe niedrig war. Lediglich ein heftiges Gewitter machte es letztlich notwendig die Messungen abzuschließen.

Graz / Österreich

Die Österreichische UNIGRACE Station wurde am Institut für Weltraumforschung in Graz / Lustbühel eingerichtet. Hier ist ein idealer Konnex zu geodätischen Disziplinen gegeben, wie SLR – Satellitenbeobachtungen und eine permanente GPS Referenz (EUREF). Die Station wurde auch an das Präzisionsnivellement angeschlossen und ist eine Fundamentalstation (S0-164-10) des Österreichischen Schwere-Grund-Netzes (ÖSGN). Für die Absolutstation wurde ebenerdig ein Sockel im Gebäudefundament gegründet, wodurch eine gute Stabilität gegeben ist. Der Lustbühel befindet sich am Stadtrand, wodurch die Seismizität der Stadt sich kaum mehr aus-

wirkt. Diese neue Absolutstation ist somit von höherer Qualität als die alte Grazer Station (S0-164-00) im Gebäude der Technischen Universität im Zentrum der Stadt, die erstmalig 1980 vom italienischen Absolutgravimeter IMGC und neuerlich 1987 mit dem JILAg-6 beobachtet wurde.

Die UNIGRACE Station Graz wurde mit dem JILAg-6 1998 und 2000 beobachtet [9], [10]. Als 2. UNIGRACE Team beobachtete die polnische Gruppe mit ihrem selbstentwickelten Absolutgravimeter ZZG den Punkt im Frühjahr 2001.

Die Ergebnisse der JILAg-6 Messungen für UNIGRACE sind in Tab. 3 zusammengefasst.

9. Referenzstationen

Innerhalb des UNIGRACE Projektes wurden die Stationen Jozefoslaw bei Warschau in Polen und Wettzell im Bayrischen Wald als Referenzstationen ausgewählt. Alle Absolutschwere – Teams führten im Zuge der Kampagnen Messungen zum Vergleich durch.

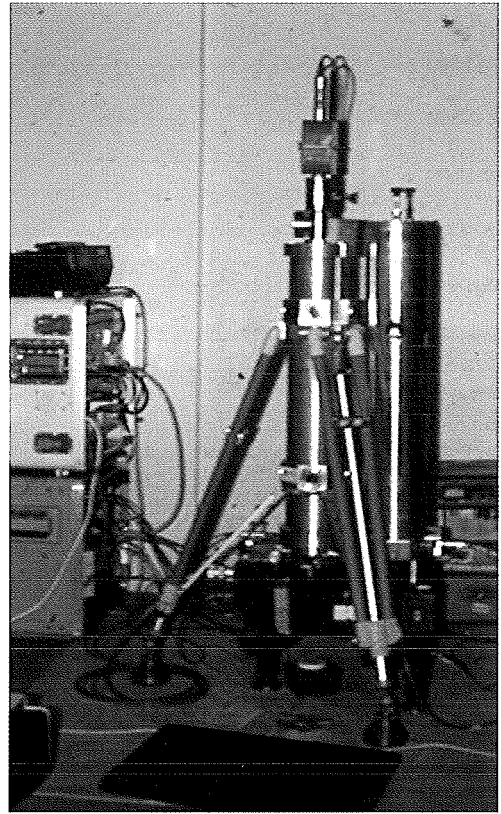
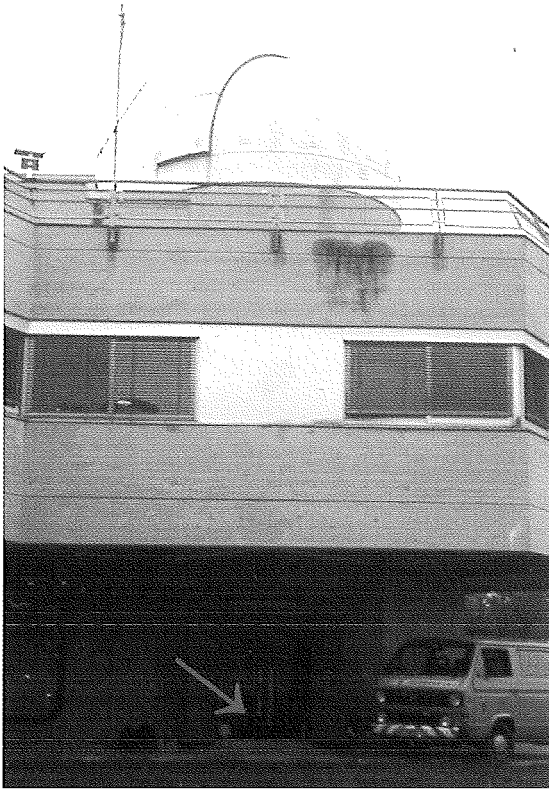


Abb. 9: Station S0-164-10 in Graz

Abb. 10: JILAG-6 in Graz

UNIGRACE JOZEFOSLAW 1 m

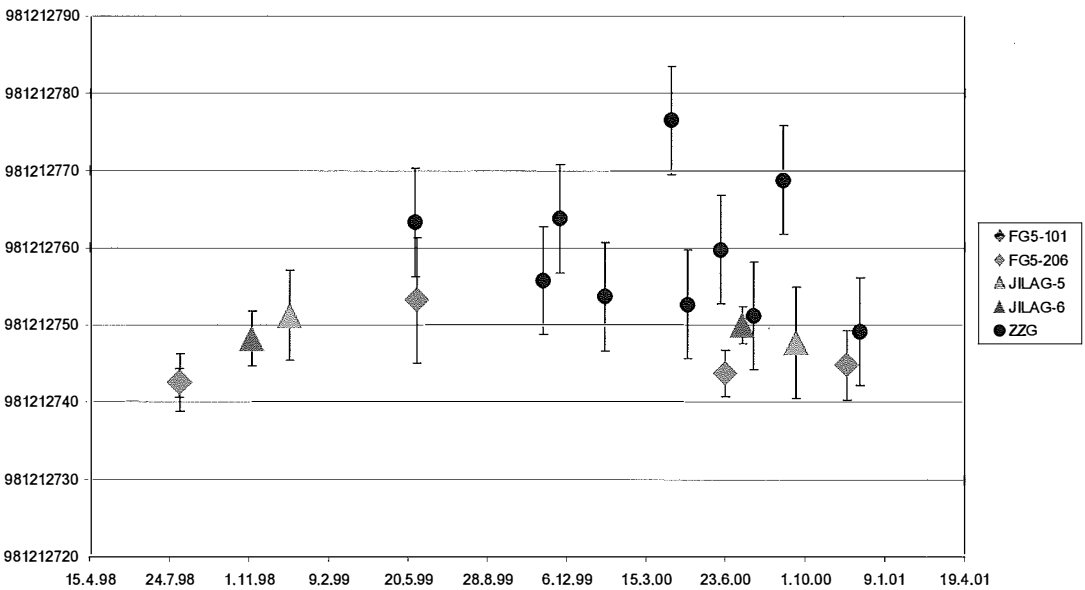


Abb. 11: Referenzmessungen in Jozefoslaw

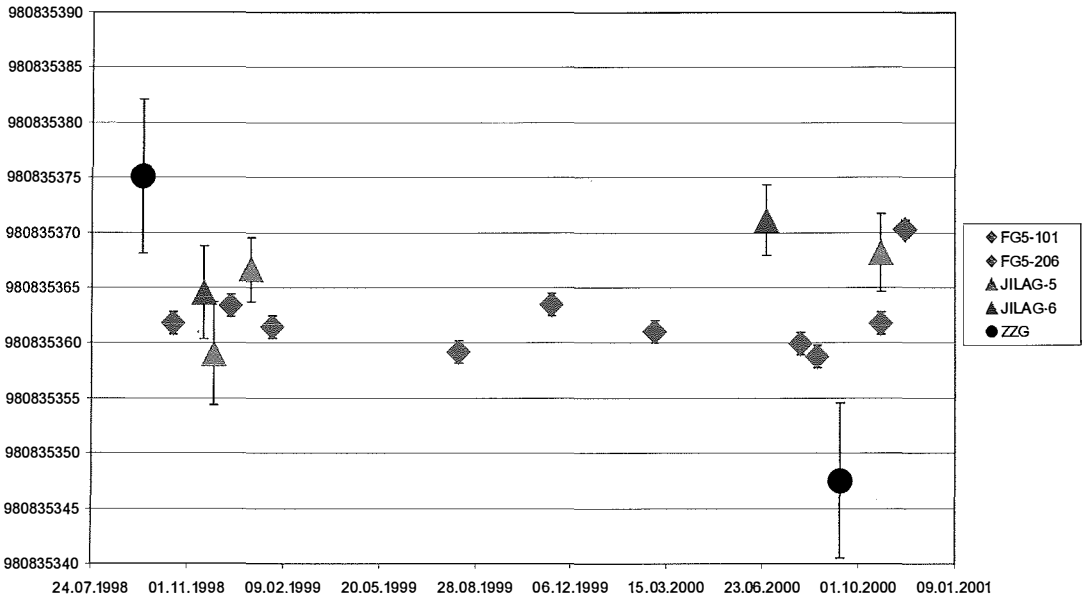


Abb. 12: Referenzmessungen in Wettzell

Die Referenzmessungen zeigen (Abb. 11 und 12), dass in den Ergebnissen durchaus Differenzen von über $30 \mu\text{Gal}$ (300 nm/s^2) auftreten. Auffallend ist die größere Streubreite des polnischen Gerätes ZZG. Ursache dafür könnten technische Probleme gewesen sein. Äußere Ursachen sind im Bereich von Grundwasserspiegelschwankungen zu suchen. Modelle für die Korrektur dafür werden z.B. in Wettzell erprobt und verbessern die Resultate maßgeblich. Voraussetzung dafür sind jedoch entsprechende Pegelmessstellen und ausreichende mathematische Korrekturmodelle. Die Abweichungen der JILAG und FG5 Geräte sind deutlich kleiner und liegen in der Größenordnung von etwa $10 \mu\text{Gal}$ (100 nm/s^2).

10. Internationale Vergleiche

Wie Eingangs erwähnt wurden auch die internationalen Absolutgravimeter Vergleichskampagnen am BIPM in Sévres 1997 und 2001 als Referenz in das Projekt mit einbezogen. Abb. 13 zeigt die Ergebnisse im Vergleich zueinander. Die gesamte Streuung beträgt hier $22 \mu\text{Gal}$.

11. Schlussfolgerung

Das Projekt UNIGRACE wurde erfolgreich abgeschlossen indem die Projektziele erreicht

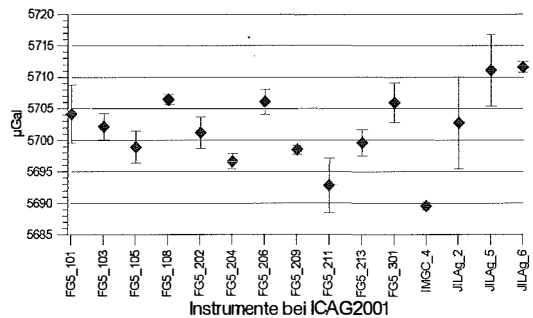


Abb. 13: Internationaler Vergleich in Sévres / Paris

wurden. Durch die intensive Zusammenarbeit wurde einerseits der Abgleich der nationalen Gravimetersysteme ermöglicht und andererseits ein erheblicher Erfahrungsgewinn im Bereich der gravimetrischen Messtechnik für alle Beteiligten erzielt.

Literatur:

- [1] Reinhard E., Richter B., Wilmes H., Barlik M., Siedzinski J.: Absolute Gravity measurements in Central Europe - Sub-Proposal of the Europe Regional Geodynamics Projekt (CERGOP), CEI Section C 'Geodesy', Review Conference, Warsaw, March 24–25, 1995.
- [2] Faller J.: The JILA portable absolute gravity apparatus. BGI – Bull. d'inf. No. 53, 1983.
- [3] Niebauer T., Sasagawa G.S., Faller J.E., Hilt R., Klotz P.: A new generation of absolute gravimeters. Metrologia, Vol. 32, No. 3, 159–180, BIPM, 1995.

Station	Jahr	Dauer [h]	Drops	g-[m/s ²] in 84 cm Höhe	σ (Drops) nm/s ²	σ (Set) nm/s ²	M0 nm/s ²	VG 10 ⁻⁹ s ⁻²	σ (VG) 10 ⁻⁹ s ⁻²
Sofia	1998	40	6761	9.80 240 323 0	31 4	5 6	0 9	3268	57
Plana	1998	38	6435	9.80 074 183 0	5 3	2 8	0 5	3063	32
Varna	1998	36	8030	9.80 470 513 4	83 8	6 9	1 1	3035	26
Bogensperk	2000	46	7350	9.80 593 299 2	5 1	4 0	0 6	2908	37
Modra	2000	61	9107	9.80 815 411 8	10 0	3 4	0 5	3307	34
Trieste	2000	90	9100	9.80 650 279 3	9 6	4 3	0 6	2814	51
Jozefoslaw	1998	21	3520	9.81 212 797 9	35 2	3 5	0 8	3102	29
Jozefoslaw	2000	38	6423	9.81 212 799 7	16 4	2 4	0 4	3103	22
Wetzell	1998	34	5784	9.80 835 428 1	7 9	4 2	0 7	3341	21
Wetzell	2000	38	6650	9.80 835 425 5	6 6	3 2	0 5	3343	15
Graz	1998	66	11103	9.80 698 359 8	21 8	3 1	0 4	3560	31
Graz	2000	76	10434	9.80 698 347 6	6 1	6 0	0 8	3569	25
Sévres A	1997	14	2289	9 80 925 721 1	29 7	2 6	0 7	2015	-
Sévres A	2001	15	2622	9 80 925 714 5	29 4	4 0	1 0	2983	-

Legende	σ (Drops) = Standardabweichung der Drop Ergebnisse σ (Set) = Standardabweichung der Sätze $\pm M0$ = Mittlerer Satzfehler (Set)/ \sqrt{n} (Set) $3268 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-2} = 326,8 \text{ } \mu\text{Gal/m}$ Korrekturen der Polbewegung und der Luftmassenvariationen sind inkludiert VG = Vertikalgradient der Schwere
---------	---

Tab. 3: JILAg-6 Ergebnisse im UNIGRACE Projekt

- [4] Zabek Z.: The ballistic gravimeter of the Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy. Reports on Geodesy, IGGA WUT, No 1 (9), 1994.
- [5] Boedecker G., Flury J.: International Gravity Basestation Network, IAGBN - Catalogue of Stations and Observations, IAG - IGC, WG2 'World Gravity Standards', München, 1994.
- [6] Robertsson, L., et.al.: Results from the Fifth International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG'97, 2000; Metrologia 38, pp. 71-78, BIPM 2001.
- [7] Vituskin, L., et.al.: Results of the Sixth International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG-2001. Metrologia 39, nb. 5, 2002.
- [8] Ruess D.: The Austrian contribution to the UNIGRACE project. Proceedings of the 1st UNIGRACE working conference, Frankfurt/Main, Ger., 2-3 Feb. 1998. Reports on Geodesy 2 (32), pp. 27-29, 77-78, Warsaw Univ. of Technology, 1998.
- [9] Ruess D.: Austrian annual progress report 1998 on the UNIGRACE project, 1999. Proceedings of the 2nd UNIGRACE working conference, Warsaw, Poland, 22-23 Feb. 1999. Reports on Geodesy 2 (43), pp. 9-12, Warsaw Univ. of Technology, 1999.
- [10] Ruess D.: Annual Progress Report 1999 on the UNIGRACE Project. Proc. 3rd UNIGRACE working conference in Sofia, BG, April 2000. Reports on Geodesy, No.5 (51), 2000.

Anschrift des Autors

Dr. Diethard Ruess, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung V1-Grundlagen, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, e-mail: diethard.ruess@bev.gv.at