

# Das HITec als Herzstück

## GEODÄSIE UND QUANTENPHYSIK VERBINDEN SICH

Das HITec ist für die Wissenschaft der Geodäsie und der Physik eine weltweit einzigartige Laborumgebung. Dort soll durch die Simulation verschiedenster Umweltbedingungen die Entwicklung von Multi-Sensor-Systemen (MSS) der nächsten Generation praktisch realisiert werden. Forscherteams vom Institut für Erdmessung (IfE) und dem Geodätischen Institut Hannover (GIH) berichten.

### Einleitung

Die Physik und die Geometrie unserer Erde, ihre Strukturen und ihre Umwelt verändern sich aufgrund klimatischer Variationen und menschlicher Eingriffe laufend. Das können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Geodäsie anhand geometrischer und gravimetrischer Messungen beweisen. Bei der Überwachung dieser Prozesse spielen hochpräzise Sensoren eine wesentliche Rolle. So unterliegt die Qualität der erhobenen Daten zur Beobachtung von Umweltprozessen dabei einem steten Wandel zwischen Präzision der Fertigung, Auflösungskapazität der verwendeten Korrekturmodelle und deren kontinuierliche Entwicklung sowie Umsetzung von Kalibrier- und Prüfverfahren zur nachweisbaren Sicherung der Qualität geodätischer Messinstrumente. Das HITec bietet für ingenieurgeodätische und geowissenschaftliche Anwendungen eine weltweit einmalige Laborumgebung, die sich durch fachliche Nähe zu den Nachbardisziplinen einerseits und idealen, technischen Bedingungen andererseits auszeichnet.

### Gravimetrie

Die Anziehungskraft der Erde unterscheidet sich von Ort zu Ort aufgrund von Massenunterschieden in und auf der Erde und aufgrund von Höhenänderungen der Erdoberfläche. Mit



einem transportablen Freifall-Absolutgravimeter wird die Erdschwerebeschleunigung auf ausgewählten Punkten gemessen (Abbildung 1) und dann mithilfe von handlichen Relativgravimetern um viele Punkte in der freien Natur ergänzt. Die Gravimetrie ist seit den 1960er Jahren eine Spezialdisziplin am Institut für Erdmessung. Während eines Freifall-Experiments wird eine Testmasse entlang eines Laserstrahls im Hochvakuum fallengelassen, um dabei zurückgelegte Fallzeiten und Falldistanzen mit der Genauigkeit eines Bruchteils einer Nanosekunde und eines Nanometers zu messen. Als Untergrund eignet sich am besten gewachsener Felsen oder eine feste, vibrationsisolierte Betonfläche. Mit Relativgravimetern werden Schweredifferenzen zwischen zwei Punkten bestimmt. Bei diesen hochkom-

plizierten Federwaagen erfährt die Testmasse am Ende einer Feder eine veränderte Anziehungskraft durch die umgebenen Massen. Dies bedingt eine Längenänderung der Feder und beschreibt nach Anbringen einer Kalibrierung eine Schweredifferenz. Während absolute Schwerebeschleunigungen mit 10 Stellen gemessen werden ( $g=9.812\ 629\ 354\ \text{m/s}^2$ , Gravimetrielabor), sind beobachtete Differenzen zu benachbarten Punkten deutlich kleinere Werte mit zum Beispiel 4 oder 5 Stellen.

### Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) und Navigation

Seit den frühen 1970-Jahren arbeitet das Institut für Erdmessung zusätzlich im Forschungsschwerpunkt Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) und Navigation. Die

aktuelle Forschung konzentriert sich auf die Nutzung von Atomuhren zur verbesserten Navigation mit GNSS, die Positionsbestimmung von niedrigfliegenden Satelliten, die Überwachung von Bodensenkungen mittels GNSS oder die Entwicklung von Konzepten zur kollaborativen Positionierung und Integritätsicherung (unter anderem benötigt für das hochautomatisierte Fahren) sowie die Antennenkalibrierung.

Standard definiert. Das Institut zählt weltweit zu den vier seitens des Internationalen GNSS Service anerkannten Institutionen zur Kalibrierung von GNSS-Antennen.

Durch die Kombination verschiedener globaler Navigationssysteme (zum Beispiel GPS (USA), GLONASS (russ.), Galileo (eur.), Beidou (chin.)) und aufgrund neuer Frequenzen und Signale werden neue

Systeme, wie auch Abweichungen, die durch die Kombination auftreten, konsistent beschrieben und berücksichtigt werden, wie zum Beispiel bei der Navigation in städtischen Häuserschluchten, präzisen Landeanflügen, der Positionierung in aktiven Referenznetzen, der kollaborativen Navigation oder der präzisen GNSS-Zeit- und Frequenzübertragung.

### Ingenieurgeodäsie Multi-Sensor-Systeme der nächsten Generation

Das Geodätische Institut Hannover (GIH) forscht seit mehr als zehn Jahren im Bereich der Multi-Sensor-Systeme (MSS) und deren Einsatz für die geometrische Umwelterfassung (zum Beispiel Monitoring und Deformationsmessung natürlicher und anthropogener Strukturen). Hierbei sind die zu überwachenden Objekte in ihrer dreidimensionalen Geometrie zu diskreten Zeitpunkten möglichst detailgetreu und effizient zu erfassen. Insbesondere das kontinuierliche, zeitliche Verhalten soll über Jahre und Monate hinweg bis zu Stunden und Bruchteilen von Sekunden hin beschrieben werden. Ein MSS (Abbildung 3) besteht im Wesentlichen aus objekterfassenden Sensoren (zum Beispiel Laserscanner, Kamera) und referenzierenden Sensoren (zum Beispiel Tachymeter, Lasertracker, Navigationssensoren). Die objekterfassenden Sensorkomponenten der MSS liefern aktuell hohe Genauigkeiten (von Submillimeter bis hundertstel Millimeter) und Datenraten von bis zu mehreren Millionen von Punkten pro Sekunde.

Der Einsatz der Systeme unter realen Umweltbedingungen erfordert zwingend eine Berücksichtigung der atmosphärischen Parameter und anderen Einflussgrößen bei der Modellierung des gesamten

Abbildung 1  
Das Absolutgravimeter FG5X-220 der Leibniz Universität Hannover bei Messungen in der Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

Abbildung 2  
AMTEC/Schunk-Roboterarm für die GNSS-Antennenkalibrierung in Echtzeit.

Abbildung 3  
Hochgenaue, kinematische Vermessung von Kranbahngleisen, Oben: Sensoren auf Messschlitten, Unten: Verfolgung des Messschlittens mit Lasertracker.



Hierzu ist die Beschreibung des Fehlerhaushaltes auf mm-Niveau notwendig. Zusammen mit der Firma Geo++<sup>®</sup> aus Garbsen wurde ein roboterassistiertes Echtzeit-Kalibrierverfahren für GPS-Antennen entwickelt (vgl. Abbildung 2), das aktuell den internationalen

Anwendungsfelder erschlossen, die zusätzlich die Qualität der Positionierung (Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Integrität, Verfügbarkeit) bei bestehenden Applikationen deutlich steigern werden. Voraussetzung ist, dass der Fehlerhaushalt jedes einzel-

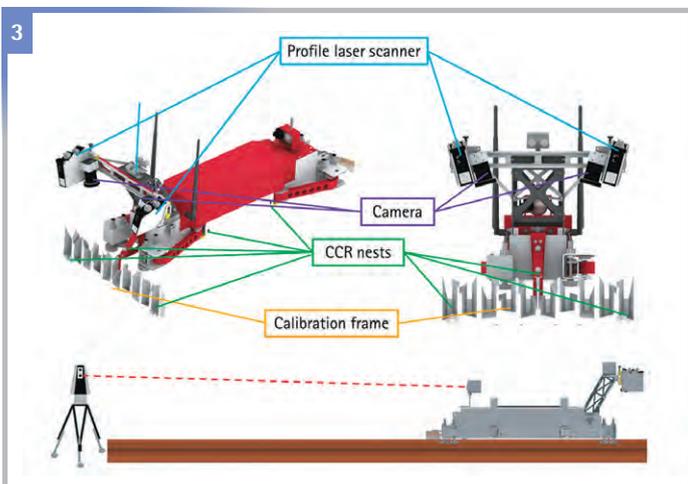
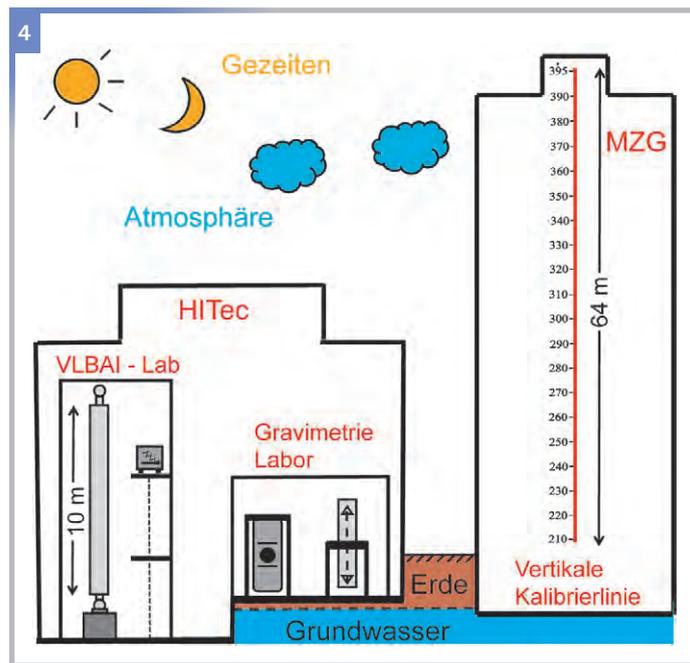


Abbildung 4  
Das HiTEC mit dem neuen Gravimetrie-Messlabor und dem »Very Long Baseline Atom Interferometer« in direkter Nachbarschaft zur vertikalen Gravimeter-Kalibrierlinie. Massenbewegungen aufgrund von Gezeiten, Luftmassenvariationen und Grundwasserstandsänderungen sind signifikante Messgrößen.



Baseline Atom Interferometer (VLBAI, vgl. Abbildung 4) behoben sein: Mithilfe des freien Falls von Quanten über eine 10 m Vertikaldistanz wird das VLBAI die gewünschten Referenzwerte bestimmen. Unterstützt werden von Relativgravimetern die Auswirkungen der lokalen hydrologischen Änderungen im Erdreich auf die einzelnen Stockwerke und die Wirkung von Gezeiten, Atmosphäre und Bodenhydrologie im HiTEC Gravimetrielabor gemessen.

Eine sehr genaue Kalibrierung der Relativgravimeter ist notwendig und wird im MZG-Hochhaus der LUH bestimmt, wo ein Gerät aufgrund des großen Höhenunterschiedes und der Fahrstühle äußerst effektiv und präzise kalibriert werden kann.

Messprozesses der MSS. Neben atmosphärischen Parametern spielt auch die Synchronisation individueller Sensoren eine entscheidende Rolle. Für die korrekte Messwertzuordnung ist eine von der jeweiligen Messfrequenz und Bewegungscharakteristik abhängige Synchronisationsgenauigkeit sicherzustellen, die in den Bereich von wenigen Milli- und gar Mikrosekunden geht. Bisher ist eine echte Validierung und reale Simulation der Einflussgrößen nicht möglich – eine Herausforderung die im Rahmen von HiTEC weltweit einmalig angegangen wird.

**HiTEC: Das Herzstück verbindet Geodäsie und Physik**

Mit dem HiTEC wird das bisherige Gravimeter-Kalibriersystem grundlegend erweitert, um zusätzlich zur Kalibrierung von Relativgravimetern auch das Messniveau von transportablen Absolutgravimetern überprüfen zu können. Der Absolutschwerewert an einem Messpunkt ändert sich kontinuierlich aufgrund der Gezeiten, der Atmosphäre und der Hydrologie. Ein Absolutgravimeter mit einer höheren Genauigkeit existiert bisher nicht. Dieser Mangel wird zukünftig mit dem *Very Long*

Portable Absolutgravimeter (Probanden) sollten im Gravimetrielabor immer den gleichen Offset zur VLBAI-Auswertung aufzeigen, was die Langzeitwiederholbarkeit kontrolliert. Dies ist für die Umweltforschung wichtig, damit gemessene zeitliche Änderungen nicht durch variierende Mess-Offsets der Absolutgravimeter verfälscht werden.

Für den Bereich GNSS und Navigation steht ein Aussenraumlabor auf dem Dach des HiTEC mit drei präzise bestimmten Messpeilern zur Verfügung. Zusätzlich besteht eine direkte Anbindung an ein temperaturstabiles GNSS-Labor mit einem stabilen Referenzfrequenzsignal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Dies ermöglicht eine engere Kooperation zur Kalibrierung von GNSS-Empfängern. Wichtige Parameter wie Signal-, Frequenz- und System-Biases für GNSS-Ausrüstungen sind somit unter kontrollierten Bedingungen verifizierbar.

Abbildung 5  
Neu installierte GNSS-Referenzstation am HiTEC auf dem Dach des Einstein-Elevators.



Auf dem Dach des Einstein-Elevators ist eine GNSS-Referenz-

station installiert (Abbildung 5), die in regionalen und internationalen Systemen eingebunden ist und das Gebäude mit GNSS Zeitsignalen versorgt.

Für die Ingenieurgeodäsie entsteht eine weltweit einzigartige Laborumgebung, mit der Simulationen verschiedenster Umweltbedingungen für die Entwicklung der MSS der nächsten Generation nun praktisch realisiert werden können. Modulare Flächenheizelemente, verteilt

über eine Raumhöhe von etwa 5 Metern, erlauben die Prüfung und Verifizierung atmosphärischer Einflüsse auf Messungen von Laserscanner und Lasertracker. Eine geometrische Referenz wird durch ein hochgenaues 3D-Referenznetz mit den schwingungsstabilen Messorten im Labor realisiert. Für die Forschung im Bereich der Synchronisation durch externe Zeitsignale stehen verschiedene Zeitreferenzen (unter anderem aus dem GNSS-Labor des IfE)

zur Validierung im gesamten Laborgebäude zur Verfügung. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten dienen der Optimierung und Beurteilung der zukünftigen MSS-Entwicklung in Zusammenarbeit zwischen der Geodäsie und Physik.

Diese unvergleichbare Konzentration verschiedener Expertisen schafft optimale Voraussetzungen für die Bearbeitung interdisziplinärer, komplexer Fragestellungen.

#### IfE, Arbeitsgruppe terrestrische Gravimetrie:

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Müller**  
Jahrgang 1962, ist Direktor des Instituts für Erdmessung.

**Dr.-Ing. Ludger Timmen**  
Jahrgang 1962, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Erdmessung mit Schwerpunkt Terrestrische Gravimetrie in Forschung und Lehre. Kontakt: [timmen@ife.uni-hannover.de](mailto:timmen@ife.uni-hannover.de)

**M.Sc. Manuel Schilling**  
Jahrgang 1977, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Erdmessung.



#### IfE, Arbeitsgruppe Navigation und Positionierung:

**Dr.-Ing. Tobias Kersten**  
Jahrgang 1982, ist wissenschaftlicher Koordinator am Institut für Erdmessung mit dem Forschungsschwerpunkt GPS/GNSS-Antennenkalibrierung, Positionierung, Navigation in Lehre und Forschung. Kontakt: [kersten@ife.uni-hannover.de](mailto:kersten@ife.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Steffen Schön**  
Jahrgang 1974, ist Leiter der Arbeitsgruppe Positionierung und Navigation sowie Sprecher des DFG Graduiertenkollegs I.C.Sens (GRK2159).



#### GIH, Arbeitsgruppe TLS-basierte Multi-Sensor-Systeme, Ingenieurgeodäsie und geodätische Auswertemethoden:

**Dr.-Ing. Jens-André Paffenholz**  
Jahrgang 1981, ist Leiter der Arbeitsgruppe TLS-basierte Multi-Sensor-Systeme Ingenieurgeodäsie und geodätische Auswertemethoden mit den Forschungsschwerpunkten Laserscanning und Multi-Sensor-Systeme in Forschung und Lehre. Kontakt: [paffenholz@gih.uni-hannover.de](mailto:paffenholz@gih.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann**  
Jahrgang 1977, ist Institutsleiter des Geodätischen Instituts Hannover.

