

Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin
Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen
Forschung
Band: - (1996)
Heft: 28

Artikel: GPS: Zusammenarbeit schafft Präzision
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-550702>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

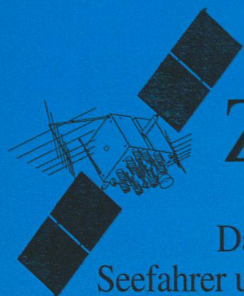
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



GPS: Zusammenarbeit schafft Präzision

Dank dem GPS – einem Navigationssystem mit Hilfe von Satelliten – kennen Seefahrer und Wanderer ihre Position auf rund 50 Meter genau. Forscher aus weltweit über 100 Institutionen haben sich zusammengeschlossen, um die Genauigkeit von GPS zehntausendfach zu verbessern. Astronomen der Universität Bern tragen erheblich zu diesem Erfolg bei, indem sie die Umlaufbahnen der *Navsat*-Satelliten Tag für Tag auf das Präziseste bestimmen.

Am Astronomischen Institut der Universität Bern befasst sich das Team von Prof. Gerhard Beutler seit 1983 mit der Optimierung der GPS-Datenauswertung. Hauptaufgabe war die Entwicklung von Berechnungsmethoden zur Bestimmung von Satellitenbahnen. Orbitographie heisst dieses Spezialgebiet. Diese wissenschaftliche Disziplin hat zum Ziel, die Flugbahn von Objekten im Weltraum (Sterne, Planeten, Satelliten, Asteroiden und Kometen) zu erfassen. Im Laufe der Jahre hat es das Berner Team zur Meisterschaft im Berechnen von Umlaufbahnen gebracht; damit hat es sich internationales Renommee erworben.

Seine Arbeiten liefern den Vermessungsspezialisten ein extrem leistungsfähiges Werkzeug für Positionsberechnungen. Diese Aufgabe ist alles andere als leicht, denn es braucht extrem wenig, um die Bahn eines Satelliten abzulenken. Zum Leidwesen der Anwender sind nämlich Satellitenumlaufbahnen – entgegen vieler Annahmen – nicht ideal kreisförmig oder elliptisch. Die Flugbahn eines Satelliten besteht in einer Abfolge von Dellen und Buckeln.

1978 hat das Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten den ersten Satelliten der *Navsat*-Serie auf eine Umlaufbahn geschossen, gut 30 weitere dieser Satelliten sind seither gefolgt. Sie bilden zusammen ein sehr präzises Navigationssystem, das berühmte GPS (*Global Positioning System*). Über 10 Milliarden Dollar hat GPS, das ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt worden ist, gekostet. Schiffe, Panzer, Raketen oder Flugzeuge, die mit einem entsprechenden Empfangsgerät ausgerüstet sind, können damit ihre Position in jedem Punkt auf der Erde bis auf einen Meter genau ermitteln. Dabei genügt es, wenn der Empfänger die Signale von mindestens vier *Navsat*-Satelliten registriert.

Das Pentagon hat dieses Navigationssystem zur zivilen

Nutzung freigegeben – gratis, doch mit einer wichtigen Einschränkung: Die von GPS stammenden Informationen sind bewusst so verfälscht, dass jeweils ein Fehler von mindestens 30 Metern entsteht. Eine solche Genauigkeit reicht für die meisten zivilen Anwendungen durchaus aus, hingegen genügt sie den Anforderungen der Wissenschaftler nicht.

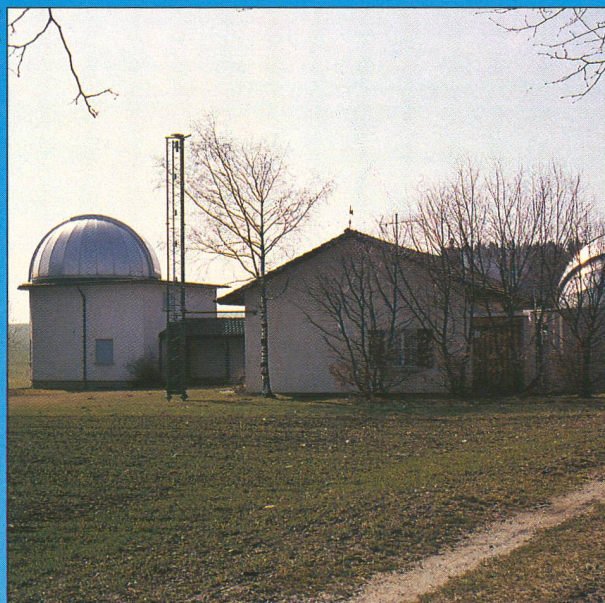
Rund 100 wissenschaftliche Institutionen – darunter die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA und die Europäische Weltraumagentur ESA – haben sich daher partnerschaftlich zusammengeschlossen und 1991 den *International GPS Service* (IGS) gegründet. Ziel war es, das GPS zivil besser zu nutzen. Dank des gemeinsamen Einsatzes der Mittel, vor allem

aber dank Findigkeit und Einfallsreichtum, ist es ihnen heute möglich, die Lage eines Ortes weltweit bis auf einen Zentimeter, ja sogar bis auf einen halben Zentimeter genau zu bestimmen.

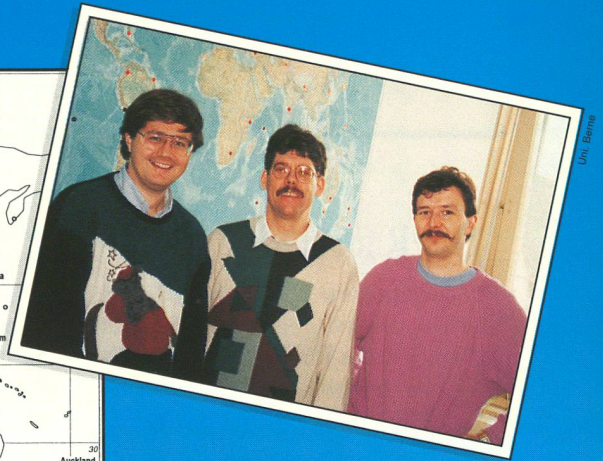
«Im Gegensatz zu militärischen oder zivilen Echtzeitanwendungen des GPS sind diese Ergebnisse (für wissenschaftliche Zwecke) nicht in Echtzeit erhältlich», erläutert Prof. Beutler, der dem IGS seit dessen Gründung vorsteht. «Denn bevor wir die Koordinaten eines Ortes bestimmen können, müssen wir zuerst berechnen, welche Position die *Navsat*-Satelliten im Moment der Messung selber hatten. Dabei ist eine Abweichung von nur höchstens 15 Zentimetern erlaubt.» Dank ihrer Fachkom-

petenz und Erfahrung mit der Orbitographie ist die Universität Bern eines der sieben IGS-Rechenzentren geworden, denen diese schwierigen Berechnungen anvertraut werden. Der Astronom Markus Rothacher leitet dabei die Arbeiten.

«Auch in 20 000 Kilometer Höhe wirkt sich jede Veränderung der Anziehungskräfte massiv auf die Satellitenbahnen aus», erklärt er. An einem Tag umkreist ein Satellit zweimal die Erde. Dabei verursacht allein die Abplattung der Erde an den Polen einen Bahnfehler von bis zu 10 Kilometern.



Observatorium Zimmerwald bei Bern: Hier ragt die GPS-Präzisionsantenne zum Himmel.



Oben: Das Team der Universität Bern führt eines der sieben Rechenzentren des *International GPS Service*.

Links: Die Karte zeigt die Verteilung der GPS-Stationen, die die Umlaufbahn der *Navsat*-Satelliten verfolgen.

Ausserdem bewirkt auch die Gravitationskraft des Mondes Abweichungen von 3 Kilometern und jene der Sonne von 800 Metern. Auch das Relief der Gebirge und die Gezeiten von Erde und Ozeanen wirken sich störend auf die Flugbahn aus. Zusätzlich reagieren die Sonnenpanels wie die Segel eines Schiffes auf den Druck, der durch die Sonnenstrahlung erzeugt wird.

Die Tageslänge variiert

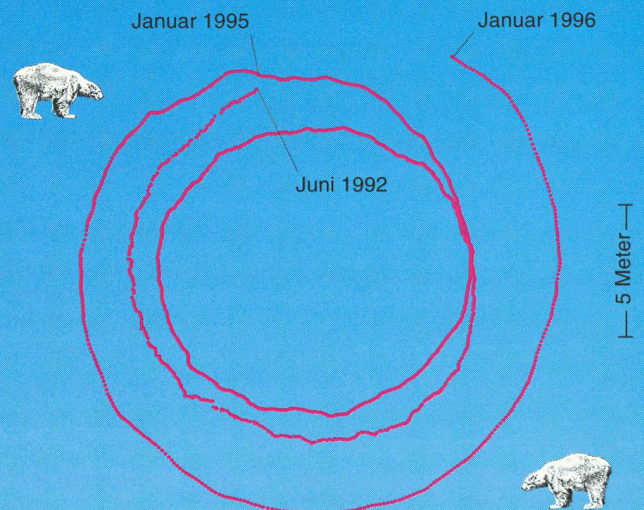
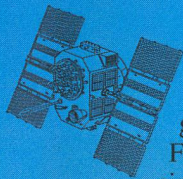
«Auf der Erde hat der IGS gegenwärtig rund 100 ultrapräzise GPS-Empfänger stationiert. Damit werden die Bewegungen und Flugbahn-Abweichungen der *Navsat*-Satelliten beobachtet», erklärt der Forscher weiter. «Doch die 100 Empfangsstationen sind geographisch nicht ausreichend genug über die Erde verteilt, um den ganzen Himmel zu erfassen. Ideal wären 200 Empfänger auf der Erde. Daher müssen wir alle wichtigen Flugbahn-Abschnitte durch Berechnungen rekonstruieren. Dabei müssen Systeme mit ungefähr 30 Gleichungen und ebensovielen Unbekannten pro Satellit verwendet und beherrscht werden – eine Aufgabe, bei welcher sich das Berner Team als das kompetenteste erwiesen hat.»

1992 vorerst für experimentelle Zwecke eingesetzt, hat der IGS seine Dienste seit 1994 offiziell aufgenommen. Die Menge der anfallenden Daten überschwemmt die Forscher förmlich. Prof. Beutler hat speziell die Abweichungen der Achse der Erdrotation verfolgt. Diese Abweichungen zeigen sich durch eine ständige Verschiebung des Nordpols. Das Phänomen der Polwanderung hat schon der Basler Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783) – er ist auf der 10-Franken-Note abgebildet – vorausgeahnt, als er die Bewegungen von Kreislern studierte. Vor den IGS-Messungen wurden die Polverschiebungen niemals mit solcher Genauigkeit festgehalten.

«Wir haben auch nachgewiesen, dass die Tagesdauer je nach Jahreszeit variiert», erklärt Markus Rothacher. «Während des Nordsummers sind die Tage zwei Tausendstel Sekunden länger. Dies wird bewirkt durch die sich ändernde Massen-

verteilung auf der Oberfläche des Globus. Es handelt sich in erster Linie um Bewegungen von Luft- und Wassermassen oder um Veränderungen des Laufs von maritimen Strömen wie etwa des berühmten *El Niño*.» Dank der Häufigkeit ihrer Messungen haben die Forscher auch beobachten können, dass die Rotation der Erdkugel täglich variiert. Ursache dafür sind die Gezeiten, die sich auf die Landmassen und die Ozeane auswirken und dort Bewegungen wie Ebbe und Flut auslösen.

Die extreme Genauigkeit der täglich von den IGS-Stationen registrierten Distanzen müsste es auch erlauben, die Drift der Kontinentalplatten besser zu verstehen. Die ersten Resultate bestätigen jedenfalls bereits jene Ergebnisse, die man mittels Laserdistanzmessungen zu Satelliten erhalten hat.



Der Nordpol wandert

Dieses Diagramm zeigt die Verschiebungen des Nordpols seit dem Sommer 1992 auf 6 bis 10 Millimeter genau. Der Pol folgte vorerst einer Spirale von etwa 10 Metern Durchmesser, dann – zu Beginn des Jahres 1995 – drängte er plötzlich mehrere Meter gegen aussen: Das ist auf gewaltige Kräfte zurückzuführen, deren Wirkungsweise noch nicht bekannt ist.