



GPS Atmosphären-Sondierungs-Projekt GASP

**Ein innovativer Ansatz
zur Bestimmung von Atmosphärenparametern**

Sachbericht zum Schlussbericht

**Verbundprojekt von AWI, DLR, GFZ und GKSS
unter Federführung des GFZ**

Laufzeit: 07/99 bis 12/2002

FKZ: 01SF9922

Projektleiter: Prof. Dr. Christoph Reigber (GFZ)

Leiter Teilprojekt 1: Dr. Gerd Gendt (GFZ)

Leiter Teilprojekt 2: Dr. Jens Wickert (GFZ)



Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung und Planung

- 1.1 Aufgabenstellung
- 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
- 1.3 Planung des Vorhabens
- 1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand
- 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

2. Ergebnisse des Vorhabens

- 2.1 Ergebnisse
- 2.2 Verwertung der Ergebnisse
- 2.3 Fortschritt bei anderen Stellen
- 2.4 Veröffentlichungen

Anlage: Veröffentlichungen



1 Aufgabenstellung und Planung

1.1 Aufgabenstellung

Obwohl der Wasserdampf eines der wichtigsten Treibhausgase ist, Energie durch die Atmosphäre transportiert, und das Strahlungsbudget durch Wolkenbildung beeinflusst, ist seine sehr variable zeitliche und räumliche Verteilung bis heute unzureichend erfasst, insbesondere unter Wolken und während Niederschlagsereignissen, wo seine Kenntnis am wichtigsten wäre. Die GPS-Technik bietet sich als wetterunabhängiges Verfahren an, diese Lücke zu schließen.

Im Rahmen des Projektes sollte in Deutschland eine Infrastruktur (Empfängernetz, Kommunikation, Auswertesoftware) zur Nutzung der bodengebundenen und satellitengestützten GPS-Technik aufgebaut werden. Insbesondere sollte eine operationelle, flächendeckende Erfassung des atmosphärischen Wasserdampfes in einem dichten, deutschlandweiten Netz von GPS-Bodenstationen demonstriert werden, und der Einfluss dieser neuen Messwerte auf die Wettervorhersage und die Klimaforschung untersucht werden.

Im zweiten Projektschwerpunkt sollte die innovative GPS-Radiookkultationstechnik, als Fernerkundungsmethode zur globalen Sondierung der Atmosphäre/Ionosphäre mit vielfältigen Anwendungen in der Wettervorhersage, Klima-, Atmosphären- und Ionosphärenforschung in Deutschland etabliert werden.

Hierzu gehört die Installierung einer entsprechenden operationellen Infrastruktur für die Datenanalyse zur Bereitstellung der atmosphärischen Information in Near-Real-Time (Polarempfangsstation, globales unterstützendes GPS-Bodennetz, operationelle Satellitenbahnbestimmung und Okkultationsdatenanalyse und -bereitstellung). Weiterhin sollte mit vielfältigen Validierungsaktivitäten unter Einbeziehung verschiedener unabhängiger meteorologischer Datensätze die Genauigkeit und die Brauchbarkeit der GPS-Okkultationsmethode bewertet und Assimilationsverfahren entwickelt werden, die eine Anwendung der Daten für die Wettervorhersage ermöglichen. Zusätzlich sollten die ionosphärischen GPS-Okkultationsdaten auf ihre Eignung für ein kontinuierliches Monitoring des Weltraumwetters untersucht werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die GPS-Technik hat in den letzten zehn Jahren die Geodäsie revolutioniert und im globalen Maßstab den mm-Genauigkeitsbereich erschlossen. Die Bahnen der GPS-Satelliten, die Positionen der GPS-Stationen und ihre Veränderungen können nun mit höchster Genauigkeit bestimmt und überwacht werden. Aus diesen Bedingungen heraus wurden seit Anfang der 90-iger Jahre Analysestrategien entwickelt, um aus den GPS-Messungen auch atmosphärische Parameter abzuleiten.

Mit einem Pilot-Projekt konnte 1999 vom GFZ die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen Algorithmen zur landesweiten Erfassung des atmosphärischen Wasserdampfes in nahezu Echtzeit demonstriert werden. Um ein für die meteorologische Praxis benötigtes System aufzubauen, ist ein sehr dichtes Netz (mindesten 100) von GPS-Stationen erforderlich. In Deutschland gab es mit dem Satelliten Positionierungsdienst (SAPOS) der Landesvermessungsämter, der bis Ende des GASP-Projektes 250 Stationen geplant hatte und bereit war die Forschungen auf diesem Gebiet zu unterstützen, die besten Voraussetzungen.



Wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung des Vorhabens war die vorhandene Expertise der beteiligten HGF-Zentren (gemeinsam mit den externen Partnern) auf den für Erreichung der Projektziele wesentlichen Gebieten. Zusätzlich ergab sich mit dem GPS-Radiokultationsexperiment an Bord des Geoforschungssatelliten CHAMP erstmals die Chance, dieses innovative Verfahren zur globalen Fernerkundung der neutralen Atmosphäre und Ionosphäre in Deutschland zur Anwendung zu bringen.

Die für das Vorhaben relevante Expertise der beteiligten Zentren wird im folgenden detaillierter aufgeschlüsselt:

GFZ: Betrieb von GPS Bodenstationen und damit verbundenes Datenmanagement; wissenschaftliche GPS-Datenverarbeitung, präzise Bahnbestimmung von GPS- und niedrigfliegenden Satelliten, mathematisch-physikalische Expertise zur Entwicklung numerischer Auswertalgorithmen, Entwicklung und Betrieb von operationellen Prozessierungssystemen, Management von umfangreichen Datenmengen (Archivierung, Verteilung), meteorologische Expertise zur Bewertung/Validierung/Anwendung der abgeleiteten Atmosphärenparameter

DLR: Expertise bei der Nutzung des GPS-Systems für die Ableitung ionosphärischer Parameter, Entwicklung und Betrieb von operationellen Prozessierungssystemen, Management von umfangreichen Datenmengen (Archivierung, Verteilung), Expertise zur Bewertung/Validierung/Anwendung der abgeleiteten Ionosphärenparameter

AWI: Entwicklung und Anwendung von regionalen Atmosphärenmodellen, Infrastruktur zur Validierung von GPS-RO-Atmosphärenparametern mit „in situ“ Atmosphärenmessungen

GKSS: Entwicklung und Anwendung von regionalen Atmosphärenmodellen, Handhabung von verschiedenen Satellitendaten zur Validierung von GPS-RO Daten.

1.3 Planung des Vorhabens

Zur effizienten Bearbeitung der Projektziele wurde das Vorhaben in Arbeitspakete eingeteilt. Wesentliche Unterteilung war hierbei neben der Administration (WP 100) die Separierung der Aktivitäten in boden- und satellitengestützte GPS-Verfahren (WP 200 und 300). In jedem Arbeitspaket wurden themenspezifische Teilpakete formuliert, und die verantwortlichen Zentren eindeutig festgelegt. Ein detaillierter Ablaufplan mit Meilensteinen diente zur Kontrolle des Bearbeitungsstandes. Die Federführung bei der Durchführung des Projektes lag beim GFZ.

Die bodengestützten Aktivitäten wurden in folgende Teilprojekte eingeordnet:

WP210 GPS-Bodennetz

WP 220 Produktgenerierung and Validierung

WP230 Modellvalidierung und Datenassimilation

Die satellitengestützten Aktivitäten wurden in folgende Teilprojekte aufgeteilt:

WP 310 Globales GPS-Bodennetz und präzise Satellitenbahnbestimmung,

WP 320 Retrievalmethoden und –prozeduren,

WP 330 Datenprozessierung und –verteilung,



WP 340 Atmosphärische Anwendungen und Validierung,

WP 350 Ionosphärische Anwendungen und Validierung.

Alle diese Hauptarbeitspakete sind noch in jeweils 2 bis 6 detaillierte Pakete unterteilt.

Der Zeitplan wurde an den verschobenen Start von CHAMP angepasst. Am Ende des Projektzeitraumes konnten alle Projektziele und zum Teil zusätzliche Ergebnisse erreicht werden.

1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand

Das Global Positioning System, ursprünglich für Navigationszwecke eingerichtet, hat sich zu einem herausragenden Werkzeug für die Geodäsie und Geodynamik entwickelt, insbesondere um geodätische Referenzsysteme mit mm-Genauigkeit zu realisieren sowie Krustendeformationen, plattentektonische Bewegungen und die Erdrotation zu überwachen. Seit Anfang der 90-iger Jahre demonstriert wurde, dass GPS auch für die Bestimmung atmosphärischer Parameter eingesetzt werden kann, hat sich dieses Anwendungsgebiet stürmisch entwickelt. Insbesondere ist dies darauf zurückzuführen, dass es sich hierbei um eine wetterunabhängige, kalibrationsfreie Technik handelt, die eine automatische, kostengünstige, zeitlich hochaufgelöste (im Minutenabstand) Überwachung von Zustandsgrößen der Atmosphäre ermöglicht. War bislang die Anwendung auf regionale Fallstudien begrenzt, so bot es sich mit dem Aufbau dichter Netze von GPS-Empfängern in vielen Ländern, wie auch in Deutschland, an, die operationelle Nutzung zur flächendeckenden Wasserdampfbestimmung für meteorologische Anwendungen zu etablieren. Die wesentliche Aufgabe in diesem Projekt bestand darin die notwendige Infrastruktur für eine NRT-Datenübertragung aufzubauen und ausgehend von den bekannten Basisalgorithmen eine automatisierte, zuverlässige, hocheffektive Softwarelösung zur Ableitung von Atmosphärenparametern aus den GPS-Messungen zu erarbeiten. Insbesondere sollte demonstriert werden, dass ein operationelles System betrieben werden kann und die erzeugten Produkte dem deutschen Wetterdienst zur weiteren Verarbeitung termingerecht und in ausreichender Qualität übergeben werden können. Die aus GPS abgeleiteten integralen Atmosphärenparameter stellen einen neuen Datentyp für die Wettermodelle dar, sodass eine Entwicklung neuer Assimilationsverfahren erforderlich war.

Die satellitengestützte GPS-Radiokkultationstechnik gestattet es, zusätzlich zu den integralen Atmosphärenparametern auch Informationen über die Vertikalstruktur der Atmosphäre/Ionosphäre im globalen Maßstab abzuleiten. An Bord eines einzigen Satelliten können pro Tag bis zu 500 global verteilte Messungen aufgezeichnet werden, die als Basis für die Ableitung präziser und vertikal hoch aufgelöster Temperatur- und Wasserdampfprofile dienen, die in der Genauigkeit mit Radiosondenmessungen vergleichbar sind. Damit ist es möglich, große Lücken im bisherigen meteorologischen Beobachtungsnetz, vor allem über Ozeanen und den Polargebieten, zu schließen.

Die Radiokkultationstechnik ist eine neuartige Fernerkundungsmethode und es besteht noch ein großer Forschungsbedarf bei ihrer praktischen Anwendung und der Nutzung des Verfahrens für z.B. Wettervorhersage und Klimaforschung. Mit dem GPS-Okkultationsexperiment an Bord des CHAMP-Satelliten war es möglich, wesentliche Beiträge zu diesen Aufgaben zu leisten. Wesentliche Ziele des Projektes waren:

- Entwicklung von Strategien und Methoden zur Ableitung atmosphärischer/ionosphärischer Vertikalprofile in Near-Real-Time, um eine Anwendung in der Wettervorhersage zu ermöglichen, wozu die Installierung einer operationellen