**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 89 (1998)

**Heft:** 15

**Artikel:** Mobile satellitengestütze Datenerfassung : geographische Informationssysteme nutzen zunehmend GPS

**Autor:** Ingensand, Hilmar

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-902095

**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:** 09.07.2025

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

Satellitengestützte Globale Positioniersysteme (GPS) werden zunehmend auch für die Erarbeitung geobezogener Daten für die Geoinformatik eingesetzt. Der folgende Artikel beschreibt den Stand der Technik bei der Erfassung GPS-basierender Daten für die Weiterverwendung in Geographischen Informationssystemen (GIS) und Kombinationsmöglichkeiten mit anderen herkömmlichen Navigationssystemen. Vorab werden die zur Verfügung stehenden GPS-Techniken kurz skizziert.

# Mobile satellitengestützte Datenerfassung

## Geographische Informationssysteme nutzen zunehmend GPS

■ Hilmar Ingensand

### Das Navstar-GPS

Die genaue Bezeichnung für das Globale Positioniersystem Navstar, «Navigation System with Time And Ranging Global Positioning System», sagt bereits sehr viel über dessen eigentliche Funktionsweise aus. Das Grundprinzip von GPS beruht auf einer Distanzbestimmung zwischen den Satelliten als Sendern und dem GPS-Empfänger auf dem Boden. Dabei sind die Positionen, das heisst die Bahndaten der Satelliten, die gerade empfangen werden können, grundsätzlich bekannt. Aus den Laufzeitdifferenzen der Signale werden Pseudodistanzen durch Korrelation ermittelt. Mit mindestens drei Satelliten kann durch räumlichen Bogenschnitt die Position auf der Erdoberfläche festgelegt werden. Ein vierter Satellit wird benötigt, um die Uhrzeit aller beteiligten Satelliten zu synchronisieren und damit auch die Pseudodistanzen hinsichtlich des Uhrenfehlers zu korrigieren.

Das Global Positioning System wird in drei Segmente unterteilt:

**Das Weltraumsegment**

Im GPS-Weltraumsegment befinden sich seit Dezember 1993 24 Satelliten auf nahezu kreisförmigen Bahnen mit einer Halbachse von 26 609 km. Es gibt sechs Bahnebenen, die symmetrisch über die Erde verteilt sind. Auf diesen Bahnen befinden sich jeweils vier Satelliten, deren Umlaufzeit zwölf Stunden (Sternzeit) beträgt. Damit wird eine tägliche, quasi identische Konfiguration erreicht. Neben 24 aktiven Satelliten gibt es noch drei Reservesatelliten.

Alle GPS-Satelliten senden Signale mit einer speziellen Signalstruktur aus. Dazu sind sie mit hochpräzisen Oszillatoren (Rubidium-, Cäsiumoszillatoren) mit einer Genauigkeit von $10^{-12}$ bis $10^{-13}$ ausgestattet. Aus einer Grundfrequenz von 10,23 MHz werden durch Multiplikation zwei Trägerfrequenzen im L-Band mit $L_1$: 1575 MHz = 19,05 cm Wellenlänge und $L_2$: 1227,60 MHz = 24,45 cm erzeugt. Mit Hilfe dieser unterschiedlichen Trägerfrequenzen lassen sich unter anderem Laufzeitunterschiede in der Ionosphäre ermitteln.

Auf beiden Trägerfrequenzen werden Codes, der Precise Code (P-Code) und der Coarse Acquisition Code (C/A-Code), durch Biphasenmodulation aufmoduliert. Beide Codes haben pseudozufällige Eigenschaften und werden daher

**Adresse des Autors**
Prof. Dr. *Hilmar Ingensand,* Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hönggerberg HIL D 43.3, 8093 Zürich

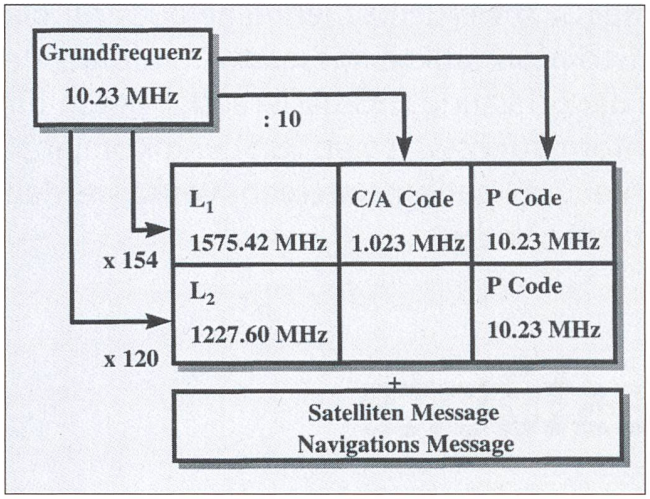


Bild 1 GPS-Signalfrequenzen und Informationen

auch als PRN-Sequenzen (PRN: Pseudo Random Noise) bezeichnet (Bild 1).

Die Distanzen Satellit–Empfänger werden dann aus den Signallaufzeitdifferenzen ($\Delta t$) mittels Korrelation des empfangenen Codes mit dem internen Empfängercode und Uhrenvergleich bestimmt (Bild 2).

Mit dem P-Code ist es möglich, die Position mit einer Genauigkeit von 10 bis 20 m zu bestimmen. Mit dem für zivile Benutzer zugänglichen C/A-Code erreicht man eine Genauigkeit von 100 m.

**Das Kontrollsegment**

Zum Kontrollsegment gehören eine Masterstation in Colorado Springs sowie vier weitere Monitorstationen, die das gesamte System überwachen, die GPS-Zeit bestimmen, die korrigierten Bahndaten berechnen und an die Satelliten weitergeben. Die Satelliten wiederum senden diese Informationen als Navigationsdaten aus.

**Das Nutzersegment**

Das Nutzersegment umfasst alle GPS-Empfänger. Ursprünglich war GPS nur für militärische Anwendungen konzipiert, daher war es naheliegend, die Benutzung durch verschiedene Massnahmen einzuschränken bzw. den Anwender zu verunsichern. Seit 1994 erfolgt dies durch Anti-Spoofing (AS), eine Verschlüsselung des P-Codes zum sogenannten Y-Code. Ebenso wurde eine Selective Availability (SA) eingebaut, welche die gesendeten Bahndaten und Uhrkorrekturdaten verfälscht. Es wurden jedoch inzwischen verschiedene Methoden erfunden, um diese Restriktionen teilweise zu umgehen.

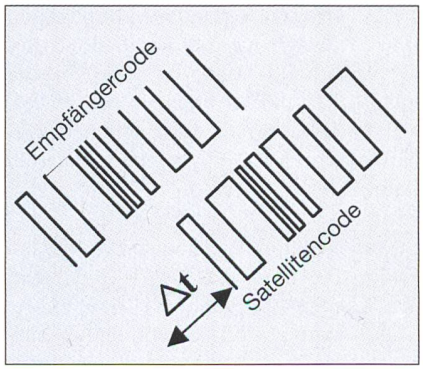


Bild 2 Distanzbestimmung durch Laufzeitmessung

## Das russische Glonass

Das russische Glonass (Global Navigation Satellite System) wurde 1982 gestartet und ist mit 22 aktiven Satelliten nahezu vollständig operabel. Das Grundkonzept entspricht weitgehend der GPS-Konfiguration und sieht ebenfalls 24 Satelliten, allerdings nur in drei um jeweils 120° geneigten Bahnen, vor. Die Halbachse der Bahnen beträgt 25 440 km bei einer Umlaufzeit von 11 h 15 m 44 s.

Die Signalstruktur der Glonass-Satelliten ist komplizierter als bei GPS, da jeder Satellit als Kennung eine eigene Trägerfrequenz aussendet, die sich additiv von den beiden Basisfrequenzen $L_1$ bzw. $L_2$ mit $L_1 = 1602\ \text{MHz} + k * {}^{9}/_{16}\ \text{MHz}$ und $L_2 = 1246\ \text{MHz} + k * {}^{7}/_{16}\ \text{MHz}$ unterscheidet. Auf diese Frequenzen wird wie bei GPS ein Grobcode (Coarse Acquisition Code) und ein Präzisionscode (Precision Code) aufmoduliert.

## Differentielles GPS (DGPS)

Da nur in wenigen Fällen eine absolute globale Positionsbestimmung notwendig ist, kann auf eine relative Positionsbestimmung übergegangen werden. Dabei steht ein Empfänger auf einem Punkt mit bekannten Koordinaten, während der zweite Empfänger auf dem zu messenden Punkt steht. Der feste Empfänger bestimmt nun permanent die Abweichungen von der tatsächlichen Position bzw. die Variation der Pseudostreckenmessungen, die sich aufgrund unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen in der Ionosphäre und der Troposphäre ändern. Wenn man nun davon ausgeht, dass die Signale, bei einem Abstand von weniger als 20 km zwischen den beiden Empfängern, nahezu den gleichen atmosphärischen Störungen unterliegen, kann eine Korrektur berechnet werden, welche die ermittelte Koordinatendifferenz verbessert. In der Navigation wurde dafür das Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) als Standard definiert. Damit kann eine relative Positionsgenauigkeit von wenigen Metern erreicht werden. Diese Korrektur wird in der Schweiz über den Verkehrsfunk (RDS) ausgesendet.

In der Geodäsie ist man einen Schritt weitergegangen und benutzt – wie auch in der terrestrischen Distanzbestimmung mit elektronischen Distanzmessern (EDM) – die Trägerfrequenzen unmittelbar als Messsignale. Damit ist man unabhängig von den Code-Informationen. Mit Autokorrelation oder Quadrierung müssen bei GPS zunächst die Trägerfrequenzen aus den modulierten Signalen wieder rekonstruiert werden. Mit der heutigen Phasenmesstechnik ist es dann kein Problem mehr, bei Wellenlängen von 19 bzw. 24 cm eine Distanz mit Millimeter-Genauigkeit zu bestimmen. Die Problematik liegt nur darin, dass die Anzahl der Wellen (Ambiguities) unbekannt ist. Hierzu gibt es verschiedene Techniken, neuerdings auch die Kombination von GPS und Glonass, deren Beschreibung an dieser Stelle jedoch zu weit führen würde.

## Real-Time GPS

Wenn nun beide Empfänger per Datenfunk miteinander verbunden sind, können die zu einer Positionsbestimmung notwendigen Parameter ausgetauscht und somit permanent die Position des mobilen Empfängers berechnet werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass GPS und Glonass jeweils in einem eigenen auf das Erdzentrum bezogenen Koordinatensystem arbeiten. Bei GPS ist das Bezugssystem das World Geodetic System 84 (WGS 84). Es ist jedoch problemlos möglich, mit entsprechenden Transformationsparametern die gewünschten Landeskoordinaten zu bestimmen.

## GPS unterstützt die GIS-Datenerfassung

Nicht nur im Bereich der Positionsbestimmung, sondern auch in der Geoinfor-

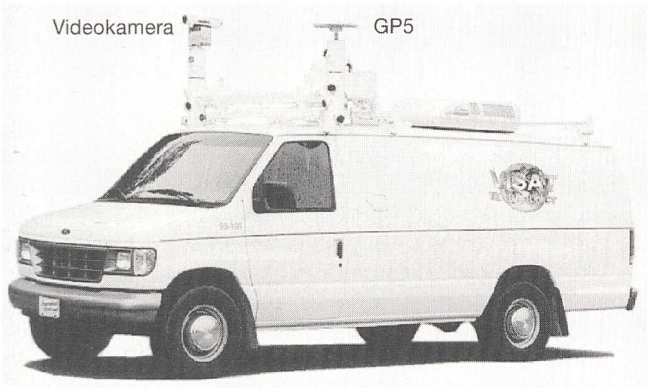


Bild 3 Visat-Messfahrzeug [4]

matik sind in den letzten Jahren enorme technologische Fortschritte zu verzeichnen. Geographische Informationssysteme (GIS) erlauben es, geobezogene Daten strukturiert in Layern zu speichern und thematisch darzustellen.

Die Kombination von GPS und GIS muss an dieser Stelle aus zwei Perspektiven betrachtet werden. Einerseits bestimmt GPS für Geographische Informationssysteme Koordinaten und trägt damit zur geometrischen Information eines Objektes bei, auf der anderen Seite erleichtert GPS bei der GIS-Datenerfassung die Orientierung, indem die eigene Position mittels digitalisierter Karten auf Displays von portablen Computern angezeigt wird.

## GIS-Datenquellen

Die heutigen GIS-Daten basieren vorwiegend auf

- photogrammetrischen Luftbildauswertungen
- Laserscannermessungen, bei denen die Erdoberfläche von Flugzeugen aus abgetastet wird
- terrestrischen Messungen mit Messfahrzeugen oder aus Vermessungen
- gescannten topographischen Karten, die teilautomatisch vektorisiert werden

Abgesehen von der letztgenannten Methode des Kartenscannens benutzen alle Datenakquisitionsverfahren GPS als Navigationssystem. In Messfahrzeugen werden allerdings neben GPS auch andere Navigationssysteme wie Inertialsysteme, elektronische Kompasse und Radumdrehungsmessgeräte (Odometer) zur sicheren Positionsbestimmung benutzt. Diese Systeme unterstützen sich gegenseitig, da Satellitensignale unter Brücken oder in bebauten Gebieten nur bedingt zu empfangen sind und die Navigationsaufgabe von einem anderen System kurzfristig übernommen werden muss. Mobile Mapping Vehicles sind zur Erfassung mit digitalen Kameras, Distanzmessern und anderen Sensoren ausgerüstet, um während der Fahrt Objekte im Strassenbereich aufzunehmen (Bild 3).

## Mobile GIS-Datenerfassung mit Pencomputern

Eine weitere Art der mobilen GPS-gestützten Datenerfassung ist das Pencomputing. Dazu wird ein Laptop-artiger Computer verwendet, der anstelle von Tastatur und Maus mit einem Stift auf dem Display bedient wird. Verbunden mit Real-Time-GIS-Sensoren, das heisst Sensoren, die geometrische oder andere objektbeschreibende Informationen wie Bilder liefern, ist eine Multisensorik entstanden, welche die verschiedenen Datenerfassungsaufgaben flexibel erfüllen kann.

In der Vermessung kommt diese neue Technologie der klassischen Messtischaufnahme nahe und wird daher auch oft als «digitaler Messtisch» bezeichnet. Dabei wird auf einem digitalen Messtischblatt gearbeitet, in dem die erfassten Objekte simultan dargestellt und eventuell mit dem Stift korrigiert werden können. Die bei Pencomputing-Betriebssystemen vorgesehene Schrifterkennung hat sich allerdings noch als zuwenig zuverlässig erwiesen. Andere digitale GIS-Unterlagen lassen den Vergleich zwischen den vorhandenen Daten und den tatsächlichen Situation zu.

Diese neuen technischen Möglichkeiten bieten unter anderem auch den Vorteil, dass – gegenüber den «klassischen» Verfahren der Vermessung – die Datenerfassung, das heisst die geometrische Erfassung und die Interpretation des Objektes, wieder in unmittelbarer Nähe des Objektes stattfinden kann. Da GPS wegen der Bedingung der Sichtbarkeit von Satelliten nicht überall funktioniert, hat sich eine Kombination von GPS mit berührungslos messenden Distanzmessern bewährt, die mit Neigungssensoren zur Reduktion auf die Horizontaldistanz ausgerüstet sind. Damit kann ein Objekt indirekt von zwei GPS-Standpunkten mit Bogenschnittverfahren oder vektoriell von einer Position aus erfasst werden, indem gleichzeitig magnetische Nordrichtung und Distanz bestimmt werden. Diese Konfiguration wird inzwischen erfolgreich bei der Leitungsaufnahme, der Strassendatenerhebung, im Forstbereich und in der Deponieüberwachung eingesetzt. Bei der Leitungsaufnahme können in Kombination mit CCD-Kameras auch einzelne Objektdetails (Schieber, Schalteinrichtungen usw.) in Form von Bitmaps als Attribut den geometrischen Punktinformationen zugeordnet werden. Diese Bildinformationen ermöglichen zudem eine weitere Interpretation des Objektes durch Spezialisten. Mit entsprechenden Passpunkten wird eine nachfolgende photogrammetrische Bildentzerrung und damit eine weitere geometrische Auswertung möglich (Bild 4).

Eine neue, sicherlich ungewöhnliche Lösung ist es, die Messsensoren am Kopf des Beobachters zu befestigen (Bild 5). Damit befindet sich der GPS-Empfänger

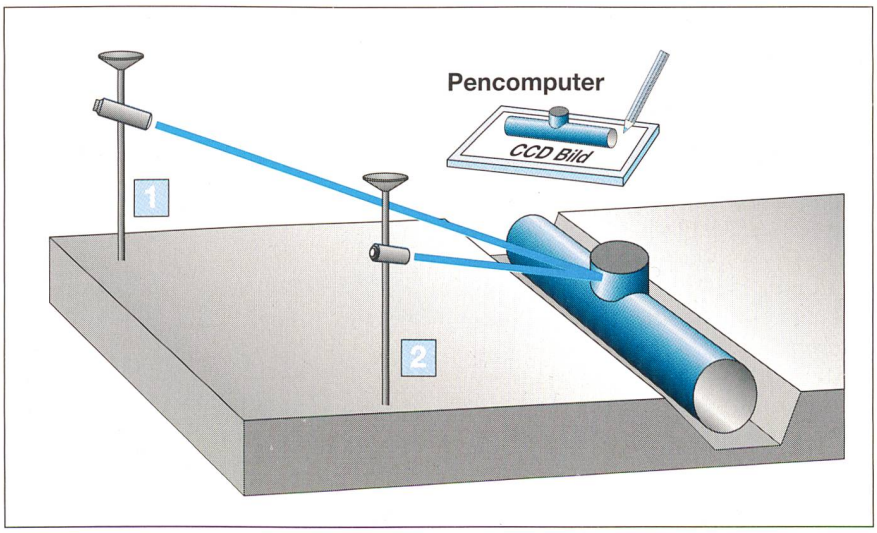


Bild 4 GPS-EDM-CCD-Kamera-Kombination

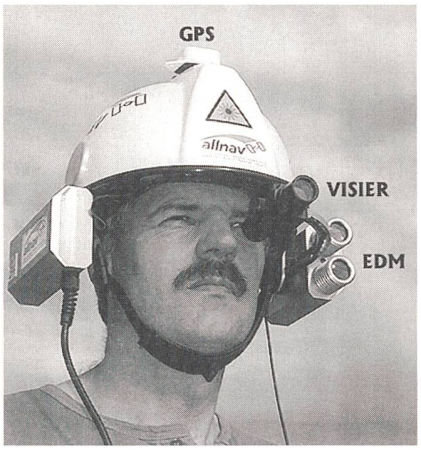


Bild 5 Helm-Sensoren

in der günstigsten Position, da er nicht mehr durch den Körper des Beobachters abgedeckt werden kann. Der am Helm befestigte Laserdistanzmesser, der mit einem Visier ausgerüstet ist, erlaubt die Bestimmung von GPS-unzugänglichen Objekten. Der Vorteil dieser Lösung liegt vor allem darin, dass die Hände für die Bedienung des Pencomputers frei bleiben.

Bisherige Untersuchungen am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (ETH) haben jedoch ergeben, dass die aktuelle Pencomputertechnologie noch folgende Restriktionen aufweist:

- Unhandlichkeit durch hohes Gewicht und Grösse des Computers
- eingeschränkte Lesbarkeit des Displays bei Sonnenlicht
- hoher Stromverbrauch
- geringe Wettertauglichkeit

Ein entscheidender Fortschritt gegenüber dem aktuellen Pencomputing könnte vor allem dadurch erzielt werden, dass die Bildschirminformation unmittelbar dem Auge präsentiert würde. Damit liessen sich sowohl die Grösse des Displays als auch der Stromverbrauch reduzieren. Diese Head-up-Displays, wie sie inzwischen aus dem Bereich der Virtual Reality bekannt sind, verwenden kleine Monitore, die in einem optisch günstigen Augenabstand von rund 20 cm ein Bild erkennen lassen. Entsprechende Displays mit SVGA-Auflösung sind bereits in Entwicklung. Der eigentliche Computer wird dann in der Grösse eines Taschenradios am Gürtel getragen.

Mit einer Head-up-Display-Lösung fällt allerdings die Pen-Bedienung weg. Diese muss durch andere Bedienungselemente ersetzt werden. Ein Teil der Pen-Funktion kann durch ein Touch Pad ersetzt werden, welches am Unterarm befestigt ist und auf Fingerberührung reagiert. Spezielle Handschuhe, die mit Bewegungs- oder Berührungssensoren ausgerüstet sind, können ebenfalls als Bedienungselemente in Erwägung gezogen werden. In Verbindung mit Sprachsteuerung [2] ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten in der Bedienung der Sensoren und der Software sowie der Objektbezeichnung. Als weitere Variante könnte die Steuerung mittels Augenbewegungen hinzukommen, eine Technik, die in neuesten Videokameras bereits eingebaut ist (Bild 6).

Mit diesen neuen Lösungen bleiben die Hände weitgehend für die Bedienung der Messinstrumente frei, auch die notwendige Mobilität des Beobachters bleibt erhalten.

## Die Verbindung von GPS und GIS – ein Ausblick

Im Zeitalter immer leistungsfähigerer mobiler Computer wird man immer häufiger beide Techniken, GPS und GIS, miteinander verbinden. Eine inzwischen verbreitete Technik ist die individuelle Fahrzeugnavigation, bei der auf einer digitalisierten Karte oder einer abstrahierten Strassendarstellung jederzeit die Fahrzeugposition angezeigt wird. Diese Form der Fahrzeugnavigation wird inzwischen auch zur Unterstützung des Flottenmanagements im Gütertransport eingesetzt, um die Fahrwege und den Einsatz der Fahrzeuge zu optimieren. Man erkennt diese Lastwagen an der GPS-Antenne über dem Führerhaus. Auch im öffentlichen Nahverkehr wird die Position von Fahrzeugen unter anderem mit GPS bestimmt.

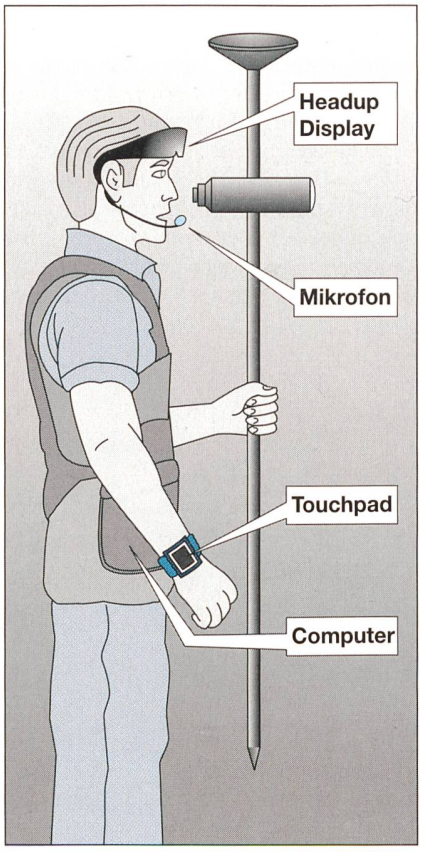


Bild 6 Konfiguration Feldcomputer–Mensch [7]

Das Spektrum der Messinformationen wird sich in Zukunft nicht mehr nur auf geodätische, das heisst im wesentlichen geometrische, Informationen beschränken, sondern auch um andere Sensorinformationen erweitert werden, die als Attribute zusammen mit den geometrischen Daten die vollständigen Objektinformationen liefern. Damit wird eine zunehmende Integration verschiedener Sensorarten verbunden sein. Im Umweltbereich ermöglichen portable Computer in Verbindung mit GPS und entsprechenden chemischen oder physikalischen Sensoren neben den topographischen auch thematische Informationen. Auf diese Weise kann ein eventueller Gasaustritt an Deponien lokalisiert und dargestellt werden.

Eine Funkdatenverbindung zum übergeordneten GIS wird es in Zukunft ermöglichen, die gewünschten Informationen aus Datenbanken abzurufen und zu visualisieren. Mit weiteren sich jetzt schon abzeichnenden Möglichkeiten der sicheren und schnellen Datenübertragung wird die Grenze Feldcomputer–Bürosystem nicht mehr durch die Hardware, sondern durch den möglichen Zugriff auf die gewünschten Informationen bestimmt. Mit einer Verbesserung der Kommunikationsmöglichkeiten ist es auch nicht mehr unbedingt notwendig, alle Daten physikalisch, das heisst auf einem Speichermedium im Felde, zu haben. Sie werden via Kommunikationsverbindung – zum Beispiel Natel oder Satelliten – ins Feld geholt und anschliessend wieder zum Büro gesandt. Minimale Voraussetzung für den Datenaustausch ist eine standardisierte 3-D-fähige Datenstruktur. Für die Zukunft ist daher vor allem eine standardisierte GIS-Schnittstelle erforderlich. Auf diesem Gebiet ist die Interlis-Schnittstelle der Schweiz wegweisend. Ebenso ist ein besserer Datenaustausch zwischen CAD-Systemen und GIS wünschenswert. Die im Feld aufgenommenen Daten werden jedoch nicht direkt in der übergeordneten Datenbank abgespeichert, sondern erst nach Vorverarbeitung und Prüfung übernommen.

Im Planungsbereich können in Zukunft Realität vor Ort mit semitransparenten Head-up-Brillen [5] und virtuelle Projektdarstellungen übereinander gesehen und die Planung der Realität besser ange-

passt werden. Dazu ist es notwendig, die eigene Position und die Blickrichtung zu kennen, was mit GPS und Magnetfeldrichtungs-Sensoren jetzt schon möglich ist. In der Messtechnik wird die Verbindung des amerikanischen GPS und des russischen Glonass sicher eine neue zivile Bedeutung bekommen, da mit beiden Systemen mehr Satelliten zur Verfügung stehen. Die Entwicklung eines zivilen globalen Positioniersystems, eventuell auf der Basis von Nachrichtensatelliten, wird bereits in Erwägung gezogen.


## Saisie mobile des données assistée par satellite

L'élaboration des données géographiques dans la géoinformatique recourt de plus en plus souvent aux systèmes de positionnement global (GPS) assistés par satellite. L'article ci-présent décrit et le niveau de la technique dans la saisie des données à base GPS pour le traitement ultérieur dans des systèmes géoinformatiques et les possibilités de leur combinaison avec des systèmes connus de navigation. Tout d'abord, les techniques GPS à disposition y sont exposées de façon résumée.


## Literatur


[1] *M. Bauer:* Vermessung und Ortung mit Satelliten. 3. Auflage, Heidelberg, 1994.

[2] *G. Jaimes, R. Braun:* Automatische Spracherkennung «Attribut- und Topologieerfassung durch Spracheingabe». Semesterarbeit am IGP/ETHZ, Zürich, 1997.

[3] *J. Lüthy, P. Zgraggen:* Einsatz eines digitalen Messtisches in der geodätischen Feldaufnahme. CAF-2000-Tagung, Muttenz, 1996.

[4] *N. El-Sheimy:* A Mobile Multi-Sensor System for GIS Applications in Urban Centers. ISPRS Commission II, Working Group 1, Vienna, 1996.

[5] *K. Jakob:* Kino auf der Nase, Facts Nr. 17, S.128, Zürich, 1998.

[6] *H. Ingensand:* Integrated Geodetic Systems, Trends and Visions. Workshop «Integrated Acquisition and Interpretation of Photogrammetric Data», Stuttgart, November 1995.

[7] *H. Ingensand:* Mobile GIS-Datenerfassung, GISNet 98, Wiesbaden, 1998.

[8] *F. Gervaix:* Pencomputing: Applications et perspectives. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 12/1997.


Der SEV auf dem Internet / L'ASE sur l'Internet:
http://www.sev.ch