

Paper-ID: VGI\_198843



## GPS in der Ingenieurgeodäsie

Heribert Kahmen <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Abteilung Ingenieurgeodäsie der Technischen Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **76** (3), S. 323–329

1988

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Kahmen_VGI_198843,  
Title = {GPS in der Ingenieurgeod{"a}sie},  
Author = {Kahmen, Heribert},  
Journal = {"0sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {323--329},  
Number = {3},  
Year = {1988},  
Volume = {76}  
}
```



# GPS in der Ingenieurgeodäsie

Von H. Kahmen, Wien

## 1. Einleitung

Unter der Bezeichnung Ingenieurgeodäsie versteht man all die Ingenieurleistungen, die der Geodät bei der technischen Planung, der Absteckung und der Überwachung von technischen Objekten oft großen Umfangs durchzuführen hat. Die Bereitschaft zu interdisziplinärer Zusammenarbeit mit verschiedenen wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Disziplinen ist eine unabdingbare Voraussetzung. Die Ingenieurleistungen umfassen u. a.:

- die Aufnahme und Darstellung des örtlichen Bestandes bis hin zur Entwicklung industrieller Informationssysteme
- die Absteckung, d. h. die geometrische Übertragung ausgearbeiteter Entwürfe und die baubegleitende Qualitätskontrolle
- die Überwachung von Bauwerken und ihrer Umgebung im Hinblick auf geometrische Formveränderungen, gegebenenfalls mit dem Ziel, die Gefahr von Katastrophen aufzudecken und diese abzuwenden
- die räumliche Vermessung von Zielmarken auf Fahrzeugen oder anderen bewegten Objekten mit dem Ziel, diese zu navigieren und gegebenenfalls auf vorgegebene Positionen zu befördern.

In der Vergangenheit wurden diese Aufgaben vorwiegend mit elektronischen Tachymetern – polaren Vermessungssystemen – ausgeführt. Bei der Planung der Vermessungsnetze mußte besonders beachtet werden, daß Sichtverbindungen zwischen den Punkten gegeben waren und die Konfiguration günstig gewählt wurde. Oftmals waren Netze hoher Punktdichte für eine wirtschaftliche Lösung der Aufgaben notwendig. Die genannten Anforderungen ließen sich oft nur mit höheren Kosten erfüllen.

Beim Einsatz des GPS (Global Positioning Systems) entfallen weitgehend die genannten Einschränkungen. Sichtverbindungen zu benachbarten Punkten sind nicht mehr in dem bisherigen Umfang notwendig, die Stationen der Netze können weitgehend frei dicht an die aufzunehmenden Objekte herangelegt werden und die Basisnetze selber benötigen nur noch eine geringe Punktdichte.

In der Zukunft wird man häufig das GPS in Kombination mit tachymetrischen Vermessungssystemen einsetzen. Es müssen dann Kompromisse geschlossen werden, indem man z. B. Anschlußpunkte so positioniert, daß Sichtverbindungen zu zwei oder drei benachbarten Punkten gegeben sind. Vielfach kann es jedoch auch ausreichen, wenn zwei oder mehrere Anschlußwerte durch einen Polygonzug oder ein Polygonnetz miteinander verbunden werden können.

## 2. Kurze Beschreibung des GPS-Verfahrens

Bei dem GPS handelt es sich um ein kontinuierlich arbeitendes Allwetter-Satellitennavigationssystem, das es ermöglicht, auf beliebigen Punkten auf oder über der Erdoberfläche die dreidimensionale Position in einem globalen erdfesten Äquatorsystem mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Das System ist schon vielfach in den wichtigsten geodätischen Fachzeitschriften beschrieben worden, so daß hier nur die wesentlichen für diesen Beitrag relevanten Komponenten kurz behandelt zu werden brauchen. Es wurde primär für militärische Zwecke in den USA entwickelt, mit dem Ziel, bewegte militärische Objekte auf dem Land und in der Luft positionieren und navigieren zu können.

Das GPS besteht aus drei Komponenten, dem Weltraumsegment, dem Kontrollsegment und dem Benutzersegment. Das Weltraumsegment besteht zur Zeit aus 7 operablen GPS-Satelliten, die auf zwei unterschiedlichen raumfesten Bahnen in etwa 20.200 km Höhe um die Erde kreisen. Die zwei näherungsweise kreisförmigen Bahnen sind um jeweils etwa 63° gegenüber der Äquatorebene geneigt und um 120° gegeneinander versetzt. Dabei entsteht

eine Umlaufzeit von einem halben Sterntag ( $11^h 58^{min}$ ) und eine mittlere Bahngeschwindigkeit von ca. 4 km/s. Im Endausbau werden 18 bis 24 Satelliten, die sich in drei Bahnebenen befinden, zu dem GPS gehören. Zumeist werden dann mehr als 4 Satelliten von jedem Standpunkt aus sichtbar sein. Das Kontrollsegment besteht aus der Master Control Station in Colorado Springs und drei weiteren Monitorstationen im Bereich des Territoriums der USA. Hauptaufgabe des Kontrollsegments ist die Prädiktion der Bahnephemeriden für die GPS-Satelliten, die aus Entfernung- und Entfernungsdifferenzmessungen zu Satelliten berechnet werden. Diese Informationen werden über Telemetrie an die bordeigenen Rechner der Satelliten gesendet und täglich aufdatiert. Das Benutzersegment besteht aus verschiedenen militärischen und zivilen Satellitenempfangssystemen, die vorwiegend navigatorischen und nur zum geringen Teil geodätischen Zwecken dienen.

Eine Empfangsanlage besteht in der Regel aus einer Antenne und einem Empfänger. Beide Komponenten werden über Kabel miteinander verbunden und sind leicht transportierbar. Von den zahlreichen Firmen, die Geräte anbieten, seien einige erwähnt: Texas Instruments, USA (Gerät TI 4100), Macrometrics, USA (Gerät Macrometer), Wild/Magnovox (Gerät WM 101). Die Satelliten senden zwei Trägersignale, die mit verschiedenen Codes moduliert werden. In den Empfängern können die Signale in Form von Code- oder Träger-Phasenvergleichsverfahren verarbeitet werden. Für beide Verfahren ist es jedoch notwendig, daß eine Kopie des jeweils verwendeten Satellitensignals auch im Empfänger erzeugt wird.

Die wichtigsten Eigenschaften von Code- und Träger-Phasenmessungen kann man der Tabelle 1 entnehmen:

Merkmale	Codemessungen	Phasenmessungen
Wellenlänge	P-Code 29,3 m C/A-Code 293 m	L1 19,05 cm L2 24,45 cm
Meßrauschen	P-Code = 1 m C/A-Code 10 m	2–3 mm
Eindeutigkeit	eindeutig	mehrdeutig

Tabelle 1: Eigenschaften der Code- und Träger-Phasenmessungen

Genaueste Positionsbestimmungen lassen sich mit Phasenvergleichsmessungen der im Satelliten und Empfänger erzeugten Trägersignale durchführen. Die Phasendifferenzen der Träger, die eine Wellenlänge von ca. 20 cm haben, können mit einer Meßgenauigkeit von etwa 1% bestimmt werden, d. h. die Abstände zwischen den Meßstationen und den Satelliten lassen sich mit einer internen Genauigkeit von 2 . . . 3 mm erfassen. Dieses Verfahren hat wegen seiner hohen Positionierungsgenauigkeit für die Ingenieurgeodäsie die größte Bedeutung und soll daher weiter verfolgt werden.

Die Beobachtungsgleichung, die aus den GPS-Phasenmessungen abgeleitet werden kann, soll hier nur kurz wiedergegeben werden, und zwar in der von W. Lindlohr und E. D. Wells (1985) angegebenen Form:

$$\Phi_r^s(t) = -\frac{f}{c} \rho_r^s(t) + \alpha_r(t) + \beta^s(t) + \gamma_r^s + \epsilon_r^s(t) \tag{1}$$

mit

$$\rho_r^s(t) = \| \underline{x}^s(t) - \underline{x}_r \| \tag{2}$$

$\rho$  kennzeichnet die geometrische Schrägentfernung zwischen dem Satellitenpositionsvektor  $\underline{x}^s$  und dem Bodenstationsvektor  $\underline{x}_r$ ,  $\alpha$  die empfangerspezifischen systematischen Einflüsse,  $\beta$  die satellitenspezifischen Einflüsse,  $\gamma$  die Phasenmehrdeutigkeit zur Anfangs-

epoche,  $\epsilon$  Meßfehler,  $f$  die Trägerfrequenz und  $c$  die Vakuumlichtgeschwindigkeit. Der Index  $r$  beschreibt die empfängerbezogenen, der Index  $s$  die satellitenbezogenen Terme,  $t$  beschreibt die Zeitabhängigkeit.

Bei der Positionierung werden die Koordinaten der Bodenstationen geschätzt; diese sind in dem Streckenterm  $\rho$  enthalten. Es überlagern sich allerdings zunächst die Störparameter  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  den Koordinaten. Diese lassen sich u. a. weitgehend durch Differenzbildungen eliminieren. Man unterscheidet Differenzen zwischen Messungen von Empfängern zu einem Satelliten (nachfolgend durch das Symbol  $\Delta$  gekennzeichnet) von Differenzen zwischen Messungen von einem Empfänger zu mehreren Satelliten (nachfolgend mit dem Symbol  $\nabla$  beschrieben). Eine einfache Differenzbildung zwischen den von zwei Empfängern simultan ausgeführten Messungen eliminiert weitgehend die satellitenspezifischen Einflüsse  $\beta$ , Einflüsse der Satellitenuhr und Ionosphäre:

$$\Delta \Phi_r^s(t) = -\frac{f}{c} \Delta \rho_r^s(t) + \Delta \alpha_r^s(t) + \Delta \gamma_r^s + \Delta \epsilon_r^s(t). \tag{3}$$

Eine zweite Differenzbildung bei zwei simultan beobachteten Satelliten ermöglicht die weitgehende Eliminierung der empfängerspezifischen Einflüsse  $\alpha$ , Einflüsse der Empfängeruhr und der Troposphäre:

$$\nabla \Delta \Phi_r^s(t) = -\frac{f}{c} \nabla \Delta \rho_r^s(t) + \nabla \Delta \gamma_r^s + \nabla \Delta \epsilon_r^s(t). \tag{4}$$

Es können außerdem durch spezielle Modellbildungen der systematischen Einflüsse Genauigkeitssteigerungen erzielt werden.

Für die Parameterschätzungen können die originalen Beobachtungen oder die einfachen bzw. zweifachen Differenzen der Phasenbeobachtungen in das Ausgleichsverfahren eingeführt werden. Auf die jeweiligen Vor- und Nachteile kann hier jedoch nicht eingegangen werden.

Allgemein kann man zwischen statischer und kinematischer Positionierung unterscheiden. Im ersten Fall führen die Empfänger keine Bewegungen relativ zu ihrem Bezugssystem aus, im zweiten bewegen sich einer, einige oder alle. Außerdem unterscheidet man noch zwischen der Einzelpunktbestimmung und der relativen Punktbestimmung. Bei der Einzelpunktbestimmung werden ein Empfänger, bei der relativen Punktbestimmung mindestens zwei Empfänger eingesetzt. In einer erweiterten Form lassen sich mit der relativen Methode Netze bestimmen (Abb. 1).

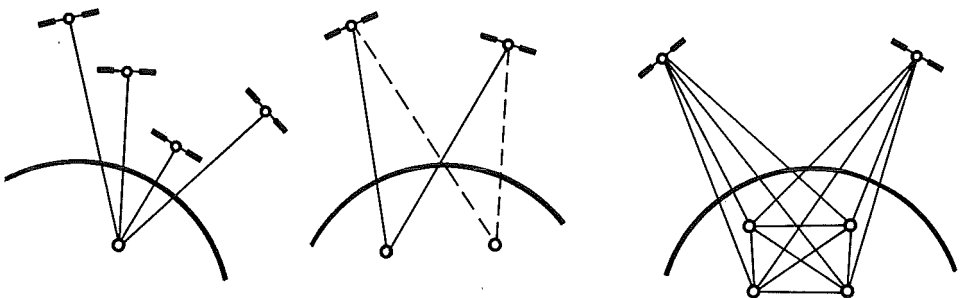


Abb. 1: Einzelpunktbestimmung, relative Punktbestimmung, Netze

Statische Lösungen umschließen die Berechnung von einzelnen und mehreren Punkten. Die Ergebnisse werden allgemein nicht in Echtzeit benötigt. Für die Auswertungen läßt sich daher eine höhere Redundanz, Zuverlässigkeit und Genauigkeit erzielen. Bei der kinematischen Methode hat man in der Regel einen bewegten Punkt, dessen Position relativ zu einem geozentrischen Koordinatensystem oder einem zweiten Punkt bestimmt wird. Allgemein werden die Ergebnisse in Echtzeit benötigt, was sich häufig nur durch eindeutige Lösungen erzielen läßt. Generell kann man sagen, daß für die Auswertungen nur wenige Beobachtungen vorliegen und damit die Redundanz, Zuverlässigkeit und Genauigkeit geringer sind. Verbesserungen lassen sich erzielen, wenn das GPS-Verfahren mit anderen Verfahren integriert wird. Beim Relativmodus in Echtzeit muß eine Telemetrie-Verbindung zwischen beiden Stationen gegeben sein (Abb. 2). Es gibt auch Aufgaben, bei denen mehrere bewegte Punkte in bezug auf einen oder mehrere Festpunkte relativ bestimmt werden. Typisch hierfür sind Deformationsmessungen.

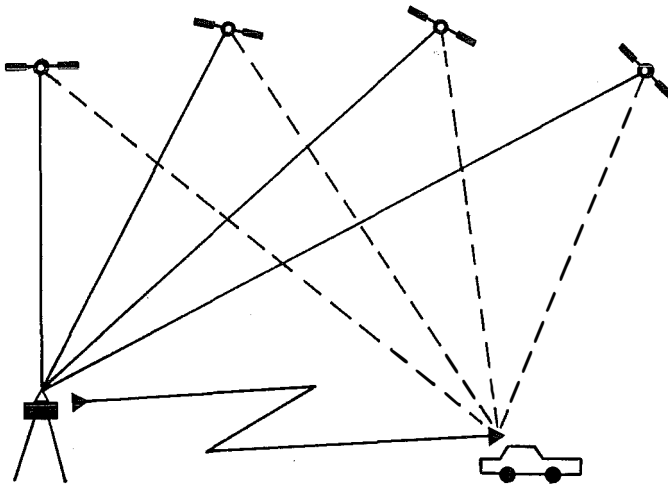


Abb. 2: Relativmodus in Echtzeit

### 2.1. Statische Einsatzmöglichkeiten

In der Ingenieurgeodäsie haben insbesondere die relativen Verfahren wegen ihrer höheren Genauigkeit Bedeutung erlangt. Es gibt Ingenieurnetze mit Ausdehnungen von ca. 10 m oder mehr als 100 km. Diese Netze können schachbrettartig sein oder aus nahezu gleichseitigen Dreiecken bestehen; es gibt sie aber auch schmal und langgestreckt mit sehr unterschiedlichen Seitenlängen. Einige Anwendungsbereiche sollen nachfolgend zusammengestellt werden:

a) Geringer Punktabstand (0,5–1,5 km), z. B. Deformationsnetz der Kölnbreinsperre, Standardabweichungen der Koordinatenkomponenten 3 mm; (Kahmen, Schwarz 1987).

b) Mittlerer Punktabstand (1,5–5,5 km), z. B. Testnetz „Neue Welt“ mit maximalem Höhenunterschied von 565 m, Standardabweichung der Koordinatenkomponenten 10 mm; (Kahmen, Schwarz, Wunderlich, 1987).

c) Großer Punktabstand (50–150 km), NIENAC-Netz, Standardabweichung der Koordinatenkomponenten 5 . . . 10 cm (Seeber, Schuchardt, Wübbena 1987).

Es sieht so aus, als könne man also in Zukunft nahezu alle Ingenieurnetze, ganz gleich, welche Konfiguration sie auch haben, durch Messungen zu GPS-Satelliten bearbeiten. Für Netze im Millimeter- oder Submillimeter-Genauigkeitsbereich sollten allerdings weiterhin terrestrische Verfahren hochgenauer Richtungs- und Distanzmessungen herangezogen werden.

Nicht eingegangen wurde jedoch bisher auf äußere Störeinflüsse. So können Antennenanlagen besonders als Störfaktor wirksam werden. Sicherlich wird auch die Mehrwegausbreitung, insbesondere in Industrieanlagen, noch viele Probleme bringen, da man hier ständig in der Umgebung von signalreflektierenden Materialien wie Beton- oder Metallflächen arbeitet.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit dem Relativmodus folgende Genauigkeiten erzielbar sind:

Geräte mit einem Träger  $\pm 0,5 \dots 1 \text{ cm} \pm 1 \dots 3 \cdot 10^{-6}$  (Distanz)

Geräte mit zwei Trägern  $\pm 0,5 \dots 1 \text{ cm} \pm 0,1 \dots 0,3 \cdot 10^{-6}$  (Distanz).

### 2.2. Kinematische Einsatzmöglichkeiten

Auch bei den kinematischen Verfahren haben die des Relativmodus die größere Bedeutung in der Ingenieurgeodäsie. Typische Anwendungsgebiete sind die Navigation und Positionierung von Baufahrzeugen oder Vermessungsschiffen bzw. die Navigation und Positionierung von Teilen eines Bauwerkes auf einem Fluß oder See. Erfahrungsgemäß gelten folgende Genauigkeiten (Seeber, Schuchardt, Wübbena 1986):

a) Punktbestimmung mit einem Empfänger	P-Code	$\pm 10 \text{ m}$
	C/A-Code	$\pm 10 \dots 30 \text{ m}$
b) Relative Punktbestimmungen mit zwei Empfängern	P-Code	$2 \dots 3 \text{ m}$
c) Relative Punktbestimmungen mit zwei Empfängern	Phasenmessung	$\leq 10 \text{ cm}$

Kernproblem bei der genauen Phasenmessung ist die Auflösung der Mehrdeutigkeit. Bei gleichzeitiger Anwendung von Code- und Trägerphasenmessung läßt sich zukünftig dieser Parameter nach weniger als 1 Minute Beobachtungszeit bestimmen, womit dann auch Störungen durch Cycleslips an Bedeutung verlieren.

### 3. Konsequenzen für Aufmessungs-, Absteckungs- und Überwachungsaufgaben

Bei größeren Ingenieurprojekten fallen die Aufmessungs-, Absteckungs- und Überwachungsaufgaben häufig gemeinsam an. Die Netze für diese Aufgaben können klein- oder großräumig, schachbrettartig oder schmal und langgestreckt sein. In der Regel war in der Vergangenheit diesen Netzen gemeinsam, daß sie eine höhere Punktdichte besaßen und eine optimale Konfiguration gewählt werden mußte.

Beim Einsatz des GPS kann bei vielen praktischen Projekten ein aufwendiges hochverdichtetes Punktfeld durch einzelne weit auseinanderliegende Kontrollstationen eines Basisnetzes ersetzt werden, zwischen denen Sichtverbindungen nicht notwendig sind. Verdichtungspunkte kann man je nach Bedarf objektorientiert planen und einmessen, wobei zu entscheiden ist, ob sie direkt der Detailvermessung dienen oder als Stationspunkte für eine nachfolgende Detailvermessung mit Tachymetern gedacht sind. Je nach Projekt und Einzelaufgabe wird außerdem festzulegen sein, ob die Verdichtungspunkte, die nur dem Meßverfahren dienen — wie z. B. Anschlußpunkte für Tachymeterzüge — dauerhaft vermarktet oder nur für einzelne Aufgaben vorübergehend bestimmt werden. Bei all diesen Überlegungen wird vorausgesetzt, daß schon in wenigen Jahren GPS-Empfänger zur Verfügung stehen, die an Volumen, Gewicht, Handhabbarkeit und Preis mit den elektronischen Tachymetern vergleichbar sind und über Zwangszentrierung gegen diese ausgetauscht werden können. Nachfolgend sei die Nutzung des GPS für einige typische Ingenieuraufgaben beschrieben.

### 3.1. Aufmessung

Die Aufmessung von Industrieanlagen hat heute häufig das Ziel, ein dreidimensionales Koordinatenwerk entstehen zu lassen, das als Grundlage für ein Industrieinformationssystem dienen soll. Für das gesamte Industrieareal wird dabei in dem dreidimensionalen Punktfeld eine Genauigkeit der Koordinaten von 1 . . . 3 cm verlangt, damit Eindeutigkeit in dem graphischen System gegeben ist.

Wie die Ausführungen in Kap. 2.1. zeigen, lassen sich die Punkte des Basisnetzes mit genügender Genauigkeit bestimmen. Beim Aufbau des Basisnetzes kann es schon ausreichen, wenn etwa 3 Punkte gleichmäßig verteilt am Rande des Aufnahmegebietes festgelegt werden. Diese Punkte sollen identisch mit denen eines übergeordneten Landesystems sein, damit durch Transformationen Teile des Punktfeldes der räumlichen Aufnahme in das übergeordnete Landesnetz übernommen werden können. Die Verdichtungspunkte sind weitgehend objektorientiert zu planen. So kann es z. B. ausreichen, wenn in einem Innenhof zwei Verdichtungspunkte festgelegt werden, die sich durch einen Polygonzug miteinander verbinden lassen. Sichtverbindung zwischen den Punkten ist nicht zwingend erforderlich.

### 3.2. Absteckung

Daß Absteckungsarbeiten durch den Einsatz von GPS-Messungen schneller und wirtschaftlicher ausgeführt werden können, läßt sich am Beispiel von Tunnelprojekten zeigen. Wichtigstes Ziel der Tunnelabsteckungen ist, eine räumliche Achse — die Tunnelachse — abzustecken. Die Tunnelachse wird von einem Tunnelnetz aus abgesteckt, wobei sie durch eine Anzahl von Punkten mit ihren Koordinaten und Höhen festgelegt wird. Längere Tunnel werden in Tunnelabschnitte unterteilt, die durch Zugangsstollen oder Schächte aufgeschlossen werden. Die Schächte und Stollen nützt der Vermessungsingenieur für Stütz- und Kontrollmessungen.

In der Vergangenheit legte man zunächst durch kombinierte Richtungs- und Distanzmessungen oberirdisch ein Hauptnetz über den Tunnel. Nach Einrichtung der Baustelle ließen sich dann in Anbindung an das oberirdische Netz Anschlußpunkte für das unterirdische Netz im Bereich der Portale sowie am Eingang der Zugangsstollen und Schächte bestimmen. Für den Richtungsanschluß des unterirdischen Netzes wurden Punkte des Hauptnetzes angezielt.

Setzt man das GPS ein, so kann auf die Vermessung des Hauptnetzes verzichtet werden. Man braucht jetzt nur noch je einen Anschlußpunkt im Bereich der Portale und am Eingang der Zugangsstollen und Schächte zu bestimmen. Damit sich auf diesen Punkten die Richtungsanschlüsse für das unterirdische Netz messen lassen, werden in einem Abstand von etwa 2 bis 3 km Entfernung mindestens zwei Nebenpunkte als Zielpunkte eingemessen. Um das Tunnelnetz an das Landesystem anzuschließen sind mindestens noch auf drei bis vier in der Umgebung des Tunnels liegenden Punkten des Landesnetzes GPS-Messungen auszuführen.

Die Höhenübertragungen für die Tunnelachse können ebenfalls mit dem Satellitensystem ausgeführt werden, wenn das Geoid in der Umgebung des Tunnels mit hoher Genauigkeit bekannt ist. Alternativ, insbesondere bei längeren Tunneln, setzt man das geometrische Nivellement in Verbindung mit Schweremessungen ein.

Insgesamt sind folgende Vorteile erkennbar: Es ist eine geringere Anzahl von Punkten zu bestimmen. Die Erkundung vereinfacht sich, da weniger Punkte benötigt werden und Sichtverbindungen nur zwischen den Anschluß- und Zielpunkten notwendig sind. Es entfällt weitgehend die Signalisierung.

Bei der Absteckung oberirdischer Trassen sind zukünftig verschiedene Varianten möglich. So können z. B. die Stationspunkte eines elektronischen Tachymeters in der Nähe der Trasse mit GPS-Messungen festgelegt und die Detailpunkte anschließend mit dem Polarverfahren eingemessen werden. Man kann sich aber auch schon vorstellen, daß in absehbarer

Zeit die gesamte Trasse, d. h. die Gesamtheit der Detailpunkte, mit dem kinematischen Modus des GPS vermessen wird.

Besondere Vorteile ergeben sich bei der Absteckung und Positionierung von Bauwerken in Flüssen, Seen oder Meeren. Hier kann man das kinematische Verfahren mit einem Empfänger (vgl. Kap. 2.2.) einsetzen, um z. B. ein auf dem Land vorgefertigtes Bauwerkteil in die Nähe des im Wasser bereits vorhandenen Fundaments zu navigieren. Die anschließende Feinabsteckung läßt sich dann im kinematischen Modus mit zwei Empfängern und Phasenvergleichsmessung ausführen.

### 3.3. Überwachungsaufgaben

Überwachungsaufgaben haben das Ziel, geometrische Veränderungen an Bauwerken, technischen Anlagen oder anderen natürlichen und künstlichen Objekten nachzuweisen. Die praktische Lösung der Aufgaben besteht darin, Lage- und Höhenänderungen eines Untersuchungsobjektes relativ zu seiner Umgebung und die Formveränderungen des Objektes selbst als Funktion der Zeit zu ermitteln. Formveränderungen treten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen auf, wobei die Prozesse nicht unbedingt stetig ablaufen. Periodische Deformationen lassen sich einfacher nachweisen als aperiodische. Allgemein gilt, daß die Meßunsicherheit nur einige Prozent der zu erwartenden Formveränderung betragen sollte. Mit dieser Faustregel, einer Abschätzung der zu erwartenden Deformation und den Kenntnissen über die Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Meßgeräte läßt sich der Abstand der Meßepochen festlegen.

GPS-Messungen wird man dann einsetzen, wenn großflächigere Gebiete zu überwachen sind und die Deformationen mindestens einige Millimeter/Jahr betragen. Wie Kap. 2.1. zeigt, lassen sich dann schon in wenigen Jahren Tendenzen erkennen. In Verformungsgebieten geringerer Ausdehnung und bei kleineren Deformationsgeschwindigkeiten setzt man vorteilhafter Distanzmesser und Theodolite hoher Präzision ein.

GPS-Empfänger allein sind z. Zt. auch noch nicht für den kontinuierlichen Nachweis von Deformationen geeignet. Man kann sie jedoch sehr vorteilhaft gemeinsam mit anderen automatischen Meßsystemen — z. B. dem System Georobot (Kahmen, Steudel 1988) — einsetzen. Typische Einsatzfelder sind z. B. Hangrutschungsgebiete, in denen die Deformationen mehrere Dezimeter/Jahr betragen. Mit den GPS-Messungen legt man sich dann am Rande des Deformationsgebietes Referenzpunkte fest. Vorteilhaft beim GPS ist, daß der feste Bezug von sehr weit hergeholt werden kann.

## 4. Schlußfolgerung

Die Ausführungen lassen erkennen, daß durch die Nutzung des GPS in der Ingenieurgeodäsie eine Vielfalt neuer Lösungsmöglichkeiten angeboten wird. Vielfach müssen erst noch Erfahrungen gesammelt werden. Deutlich kann man schon erkennen, daß ein großer Teil der ingenieurgeodätischen Aufgaben zukünftig schneller und wirtschaftlicher bewältigt werden kann.

### Literatur

- Kahmen, H. und J. Schwarz* (1987): Beitrag der TU Wien zur WM-Kampagne 1987. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie.
- Kahmen, H., J. Schwarz und T. Wunderlich* (1987): GPS-Messungen im Testnetz „Neue Welt“. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie
- Kahmen, H. und J. Steudel* (1988): Das automatisch zielende Meßsystem Georobot II. Ingenieurvermessung 88, Dümmler, Bonn
- Lindlohr, W. und D. E. Wells* (1985): GPS Design Using Undifferenced Carrier Phase Observations. Manuscripta Geodaetica, Vol. 10, Nr. 4
- Seeber, G., Schuchardt, A. und G. Wübbena* (1986): Precise positioning results with TI 4100 receivers on moving platforms. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Geod. Symp. Satellite Positioning, Bd. 2, Austin