

# GPS-Einsatz in der Bayerischen Vermessungsverwaltung\*

Von F. Traßl, Günzburg

## 1. Einleitung

In der Einleitung wird kurz auf die bisherige Entwicklung des GPS-Einsatzes beim Vermessungsamt Günzburg eingegangen.

Am Anfang des GPS-Einsatzes beim Vermessungsamt Günzburg im Herbst 1993 stand ein Test. Dabei sollten die Anwendungsmöglichkeiten des GPS-Meßverfahrens in der Katastervermessung untersucht werden. Dies geschah mit Unterstützung des Landesvermessungsamtes, das drei Leihgeräte für mehrere Wochen zur Verfügung stellte. Aufgrund der guten Erfahrungen, die bei der ersten GPS-Meßkampagne in Ichenhausen gemacht wurden, wurden im Jahre 1994 weitere, diesmal größere Projekte in Neu-Ulm und Sonthofen in Angriff genommen, jedoch nach wie vor mit Leihgeräten vom Landesvermessungsamt.

Im Frühjahr 1995 wurden die Bezirksfinanzdirektionen (BFD) Ansbach, Augsburg, Landshut und München mit je einer Gerätekombination, bestehend aus drei Empfängern und der Auswertesoftware ausgestattet. Im Bereich der BFD Augsburg erfolgte dann vom Vermessungsamt (VA) Günzburg aus die Betreuung von ganz Schwaben hinsichtlich GPS-Messungen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden ca. 25 Verfahren durchgeführt, die sich von eintägigen Verfahren bis zu Verfahren über mehrere Wochen erstreckten.

## 2. Praktische Anwendungen

Die praktischen Anwendungen erstreckten sich bisher ausschließlich auf Arbeiten im Katasterfestpunktfeld. Angewendet wurde dabei die »rapid-static«-Methode, die wegen der relativ kurzen Beobachtungszeiten von ca. 10 Minuten pro Standpunkt und der dabei erreichten Genauigkeit von 1—2 cm über mehrere Kilometer die wirtschaftlichste Methode für Arbeiten im Katasterfestpunktfeld darstellt. Ein wichtiger Gesichtspunkt dabei ist, daß das GPS-Verfahren eine Ergänzung zu den bisherigen terrestrischen Meßverfahren darstellt und erst in Kombination mit diesen in vielen Fällen ein wirtschaftliches Arbeiten ermöglicht. In den folgenden Kapiteln werden die Hauptanwendungsgebiete für GPS-Messungen näher erläutert.

\* Nach einem Vortrag, gehalten beim Seminar »Einführung in die Praxis der GPS-Messungen« des DVW-Landesverein Bayern am 15. März 1996 in München.

## 2.1 Netzverdichtung

Die reine Netzverdichtung mit Hilfe von GPS ist vor allem in den Gebieten zweckmäßig, in denen aufgrund der Geländebeziehungen eine Netzverdichtung nach den herkömmlichen Methoden nicht vorgenommen wurde und man sich daher oft nur mit örtlichen Netzen beholfen hat.

So stellt sich in dem fingierten Beispiel 1 (siehe Abb. 1) die Aufgabe, einen Uferstreifen entlang eines Flusses aufzunehmen. Bei einer Netzverdichtung mittels Polygonzug ergibt sich das Problem, daß sich Hindernisse wie der Flußlauf oder ein Wald nur mit erhöhtem Aufwand überwinden lassen. So muß beim Polygonieren der Gewässerlauf öfters überquert werden und das Hindernis »Wald« ist meist nur mit mehreren zusätzlichen Zwischenpunkten zu meistern.

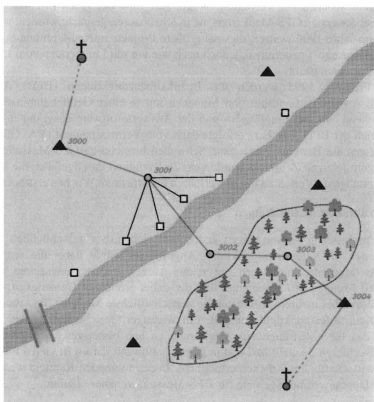


Abb. 1: Netzverdichtung mit Polygonzug (Beispiel 1)

Eine Netzverdichtung mittels GPS bietet die Vorteile, daß

- aufgrund der größeren Anzahl von Ausgangspunkten eine bessere Kontrolle des Ausgangsnetzes möglich ist;
- keine unnötigen Zwischenpunkte geschaffen werden;
- Hindernisse sich weniger bemerkbar machen.

Diese Vorteile kommen um so mehr zum Tragen, je größer das Meßprojekt wird, da dann bei gleicher Anzahl von Ausgangspunkten mehr Neupunkte bestimmt werden können.

In einem 2. Beispiel aus der Praxis (*siehe Abb. 2*) bestand die Aufgabe darin, für Rechleraufteilungen im Ammergebirge ein Verdichtungsnetz zu schaffen. Die Ausgangslage war durch folgende Faktoren gekennzeichnet:

- unwegsames Gelände mit extremen Höhenunterschieden;
- schwierige Sichtverbindung zwischen Neu- und Altpunkten;
- große Entfernungsdifferenzen zwischen den Ausgangspunkten, so daß Polygonierungen über mehrere Kilometer unvermeidbar wären.

Als Ausgangspunkte für die Messung konnten bereits mit GPS bestimmte TPs herangezogen werden. Da eine Polygonierung in diesem Gelände praktisch nicht möglich oder nur unter erheblichen, kaum mehr vertretbarem Aufwand durchzuführen war, lag eine weitere Verdichtung des Katasterfestpunktfeldes im Bereich der Messungsobjekte nahe.

Der Arbeitsablauf gestaltet sich in diesem Fall wie folgt:

- Aufdecken und Überprüfen der Ausgangspunkte;
- Festlegung und Vermarkung der Neupunkte;
- GPS-Aufnahme und Auswertung;
- weitere Bearbeitung nach bisherigen terrestrischen Methoden.

Die Auswertung der Einpassung über die Altpunkte zeigt, daß lediglich bei einem Punkt die 2 cm-Marke überschritten wurde und sich im übrigen die Restklaffungen im Bereich kleiner als 1,5 cm bewegen. Dieses gute Ergebnis überrascht nicht, da es sich bei dem Ausgangsnetz bereits um ein GPS-Netz handelte. Als zusätzliche Kontrolle der Einpassung wurde die Referenzstation als Neupunkt aufgenommen und die Neubestimmung mit der alten Koordinierung verglichen. Dabei ergab sich eine Abweichung von lediglich 1 cm. Da nur bei drei Punkten Ausgangshöhen vorlagen, konnte keine Höhenauswertung vorgenommen werden, weil diese unkontrolliert gewesen wäre. Dies hatte jedoch keinen nennenswerten Einfluß auf die

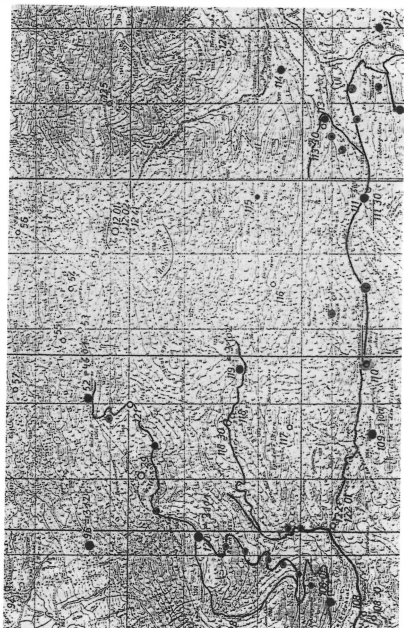


Abb. 2: GPS-Messung Ammergebirge (Beispiel 2)

● Altpunkte ● Neupunkte ● Referenzstationen

Lagebestimmung der Neupunkte, weil bei der GPS-Auswertung die Interpolationsmethode angewendet wurde; dies konnte auch durch die Einführung der Referenzstation als Neupunkt bestätigt werden.

Punkt-Nummer	dE	dN	dH
96	-3	-14	0
52	7	-11	
119	-4	12	
120	5	0	
112	2	13	0
113	0	10	
63	2	-16	
11130	-3	- 5	0
109	-11	-15	
10801	5	25	

Tab: Restklaffungen in mm

## 2.2 Umformung

Das Hauptanwendungsgebiet des GPS-Meßverfahrens liegt beim VA Günzburg in der Schaffung von Stützpunkten für großräumige Umformungen. Im Vermessungsamtsbezirk Günzburg liegen für viele städtische Gebiete Koordinaten noch einheitlich im alten bayerischen Soldnersystem vor, so daß die Erstellung der Digitalen Flurkarte (DFK) in diesen Gebieten nicht möglich ist. Nach den herkömmlichen, terrestrischen Methoden ist die Schaffung von Stützpunkten nur mit hohem Aufwand zu bewerkstelligen; verschiedene Methoden der GPS-Bestimmung von Netzpunkten in Kombination mit terrestrischen Methoden haben sich dagegen als sehr wirtschaftliche Arbeitsweise erwiesen.

Bei den ersten Testverfahren wurde noch in der Weise vorgegangen, daß eine möglichst große Anzahl von Netzpunkten aufgesucht und mit GPS aufgenommen wurde. Insbesondere in Gebieten mit inhomogenen Netzstrukturen und vielen wiederhergestellten Liniennetzpunkten war eine dichte Auf-

nahme der Netzpunkte notwendig. Dies führte dazu, daß teilweise bis zu 15 Punkte pro 1000teiliger Flurkarte mit GPS bestimmt wurden. Der Arbeitsaufwand pro Punkt beläuft sich etwa auf eine Stunde, was die Verfahren doch erheblich in die Länge zog. Zudem waren nicht unbedingt alle Punkte GPS-tauglich; insbesondere im dichtbebauten Innenstadtbereich kam es zu häufigen Abschattungen, so daß sich eine andere Arbeitsweise empfahl. Diese bestand in der Kombination der GPS-Messung mit den terrestrischen Meßmethoden. Hauptgesichtspunkt dabei ist, GPS-Punkte so zu legen, daß sie gut bestimmbar und für die terrestrischen Folgemessungen wie z. B. die polare Punktbestimmung durch freie Stationierung gut verwendbar sind.

In dem vorliegenden Beispiel 3 (*siehe Abb. 3*) sollen die Punkte 1—10 als Stützpunkte für eine Umformung bestimmt werden. Von einem Standpunkt aus können diese Punkte aufgenommen werden, so daß nur die außen liegenden Punkte mit GPS bestimmt werden müssen. Die Punkte 1 (Waldrand), 5 (Stadel) und 8 (Baumgruppe) liegen für die GPS-Aufnahme recht ungünstig. Deshalb werden die Neupunkte 11, 12 und 13 geschaffen, die sich für die GPS-Bestimmung eignen und gleichzeitig mit in dem Helmertansatz aufgenommen werden können. Zur Kontrolle kann ein Punkt in der Mitte des Meßgebietes (z. B. der Punkt 4 oder 9) zusätzlich mit GPS bestimmt werden. Auf diese Weise erspart man sich die GPS-Bestimmung der restlichen Punkte und kontrolliert zusätzlich die Güte der GPS-Bestimmung der Paßpunkte mittels einer davon unabhängigen Meßmethode.

Der Arbeitsablauf bei dieser Methode gestaltete sich zunächst wie folgt:

- a) Aufdeckung und Überprüfung der Ausgangspunkte;
- b) Aufdeckung bzw. Neufestlegung derjenigen Punkte, die mit GPS aufgenommen werden sollen;
- c) Bestimmung dieser Punkte mittels GPS;
- d) terrestrische Verdichtungsmessungen von den GPS-Punkten aus mittels Polaraufnahme mit freier Stationierung oder ggf. mittels Polygonierung.

Diese Methode hatte den Nachteil, daß die Schritte b) und d) getrennt voneinander durchgeführt wurden, allerdings mit dem Vorteil, daß Schritt d) bereits im GK-System vorgenommen werden konnte. Bei einem großen Bearbeitungsgebiet hat es sich jedoch bewährt, die Schritte b) und d), also die Aufdeckung bzw. Festlegung der GPS-Punkte und die Verdichtungsmessung mittels Polaraufnahme mit freier Stationierung in einem Schritt zusammenzufassen und die dabei entstehenden Helmertansätze auf Diskette abzuspeichern. Dies hat den großen Vorteil, daß bereits vor der GPS-

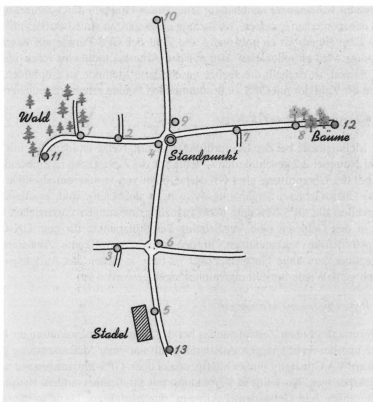


Abb. 3: GPS-Punkte: 10, 11, 12, 13, 4 oder 9 Doppelaufstellung  
 Berechnung der Koordinaten der restlichen Punkte über die  
 Umformung

Bestimmung abgeschätzt werden kann, welche Punkte für die GPS-Bestimmung notwendig sind und wie ggf. Neupunkte so gelegt werden können, daß sie sowohl für die GPS-Bestimmung als auch für die Folgemessungen geeignet sind. Nachteilig bei dieser Methode ist jedoch, daß sämtliche Helmertansätze nach der GPS-Bestimmung noch einmal durchgerechnet werden müssen, da sich diese auf das Ausgangssystem beziehen und sich nicht ohne weiteres auf das GK-System übertragen lassen.

Welche dieser Methoden die geeignetere ist, muß von Fall zu Fall abgeschätzt werden und hängt auch davon ab, wie dicht man sein GPS-Netz im Bearbeitungsgebiet legen will und ob die Netzarbeit von einer oder von

mehreren voneinander unabhängig arbeitenden Gruppen durchgeführt wird. Bei der momentan knappen Ausstattung eines ganzen Amtsbezirkes mit nur drei Empfängern ist es notwendig, die Zahl der GPS-Punkte auf das notwendige Maß zu reduzieren. Um mit den Arbeiten möglichst rasch voranzukommen, ist deshalb die soeben geschilderte Methode zu empfehlen, da diese die Zahl der mit GPS zu bestimmenden Punkte erheblich reduziert.

### *2.3 Überprüfung alter GK-Netze*

Die Meßmethode bei der Überprüfung alter GK-Netze ist identisch mit der unter Nummer 2.2 geschilderten — lediglich die Zielsetzung ist eine andere. Da bei der Überprüfung alter GK-Netze nicht von vornherein absehbar ist, in welchen Gebieten Ergänzungsmessungen notwendig sind, erscheint es sinnvoller, die GPS-Messung den Ergänzungsmessungen vorzuziehen und nur in den Gebieten eine Verdichtung der Stützpunkte für eine GK-GK-Transformation vorzunehmen, in denen eine signifikante Abweichung gegenüber dem alten Netz erkennbar ist bzw. in denen das Ausgangsnetz durch viele Wiederherstellungen inhomogen geworden ist.

### *2.4 Projektbezogene Messungen*

Aufgrund des hohen Zeitaufwandes bei der Bearbeitung großräumiger Projekte und der recht knappen Ausstattung mit nur einer Meßausrüstung geht man am VA Günzburg immer häufiger dazu über, GPS-Messungen nur noch projektbezogen, das heißt in Verbindung mit Straßenmessungen, Bauplatzaufteilungen und Gebäudemessaktionen, durchzuführen. Dazu werden zunächst einmal weiträumig die Ausgangspunkte in der jeweiligen Umgebung des Meßgebietes aufgenommen — z. B. über die gesamte Gemarkung hinweg — und damit die Transformationsparameter berechnet. Neupunkte werden nur im unmittelbaren Bereich des Messungsobjektes geschaffen; die Verbindungen zwischen diesem neuen Netz und dem Ausgangsnetz des Meßgebietes erfolgt durch Tachymetermessungen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß für das jeweilige Projekt schnell ein homogenes Ausgangsnetz geschaffen und bei späteren Messungen in derselben Gemarkung auf die GPS-Bestimmung der Ausgangspunkte verzichtet werden kann, wenn man wieder dieselbe Referenzstation oder einen beim ersten Verfahren bestimmten GPS-Punkt verwendet. Es reicht dann vollkommen aus, die Transformationsparameter der ersten Messung für die weiteren Messungen heranzuziehen, so daß man sich bei weiteren Projekten im Bereich des ursprünglichen Einpassungsgebiet auf die Bestimmung der Neupunkte beschränken kann.



### 3. Erkenntnisse aus der Vermessungspraxis

In diesem Kapitel sollen einige Erfahrungen angesprochen werden, die in der Praxis bei der GPS-Messung gemacht wurden.

#### 3.1 Problemfälle

Bei der direkten GPS-Bestimmung von Altpunkten hat sich vielfach gezeigt, daß nicht unbedingt jeder Punkt GPS-tauglich ist. Schließlich wurden die Punkte in der Vergangenheit nicht nach Gesichtspunkten gesetzt, die für die GPS-Messung günstig sind, sondern nach denen, die für die herkömmlichen Meßmethoden am bedeutsamsten erschienen. So kommt es nicht selten vor, daß gerade die für die Transformation ins GK-System wichtigen Ausgangspunkte — also die Punkte des TP-Feldes — an Waldränder gelegt wurden, die sich für die GPS-Messung als besonders kritisch erwiesen. Bei der GPS-Bestimmung in der Nähe von Bäumen oder an Waldrändern kommt es nämlich des öfteren vor, daß diese Punkte scheinbar ohne Probleme gemessen werden können, da auch aus der Richtung des Hindernisses ein Empfang — wenn auch in abgeschwächter Form — registriert werden konnte.

Das Ergebnis einer solchen Bestimmung kann jedoch zu Ungenauigkeiten führen, die sich oft nur bei einer terrestrischen Kontrollmessung aufdecken lassen. Der Grund liegt wohl darin, daß der durch die Bäume abgeschwächte und gestörte Empfang die Punktbestimmung zwar eindeutig, jedoch ungenau macht. Abhilfe schafft in solchen Fällen meist nur eine Verlegung des Punktes in Waldrandlage um einige Meter ins freie Feld; 20—30 Meter reichen dabei in vielen Fällen bereits aus, um zu einer günstigeren Punktbestimmung zu kommen.

Als weniger problematisch erwiesen sich Gebäude, die eigentlich für eine stärkere Abschattung als Bäume sorgen. Dies führt jedoch in den meisten Fällen dazu, daß ein Satellit in Richtung eines Gebäudes erst gar nicht empfangen werden kann und somit auch der Meßstrahl nicht verfälscht wird. Damit ist bereits bei dem Meßvorgang erkennbar, ob für den Punkt eine gute Koordinierung erzielt wird.

Elektrische Leitungen haben sich bisher in der Praxis als wenig störend gezeigt; extrem starke Spannungsfelder z. B. in der Nähe von Elektrizitätswerken können jedoch zu vermehrten Störungen des Satellitenempfangs führen.

Große Probleme traten in letzter Zeit auf, wenn in der Nähe von militärischen Übungen GPS-Messungen durchgeführt wurden. In einem Fall war es sogar für mehrere Stunden unmöglich, überhaupt einen vernünftigen Empfang zu erhalten. Der Grund hierfür dürfte wohl darin liegen, daß die Richtfunkstrecken, die bei militärischen Übungen aufgebaut werden, den Empfang und damit die gesamte Messung unmöglich machen. Eine Abhilfe dagegen gibt es wohl kaum.

Manchmal kommt es auch zu Satellitenausfällen, die vom Satelliten selbst, z. B. durch einen Defekt, verursacht werden und nicht vom Nutzer beeinflusst werden können. Dies führt zu einer Verminderung der Satellitenverfügbarkeit und somit auch zu einer Verschlechterung der Satellitenkonstellation. In der Praxis traten damit jedoch nur geringe Probleme auf.

### *3.2 Personaleinsatz*

Ein wichtiger Gesichtspunkt für die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens stellt der Personaleinsatz dar. Wenn man die Referenzstation unbewacht läßt, käme man bei zwei Roverstationen im Minimalfall mit insgesamt zwei Personen aus. In der Praxis läßt sich diese Personalstärke jedoch oft nicht halten. Zum einen deshalb, weil die Referenzstation nicht ohne weiteres so gelegt werden kann, daß man sie ohne Aufsicht lassen kann; zum anderen, weil auch die Besetzung der Roverstation mit nur einer Person in vielen Fällen, z. B. bei abseits gelegenen Punkten, an Grenzen stößt. Im Regelfall besteht der GPS-Meßtrupp am Vermessungsamt bei zwei Roverstationen aus 4—5 Personen; bei günstiger Wahl der Neupunkte konnte der Trupp auch auf drei Personen reduziert werden.

### *3.3 Doppelaufnahme*

Das Prinzip, daß jeder Punkt kontrolliert bestimmt werden soll, gilt auch für die GPS-Messung. Die Frage stellt sich jedoch, ob eine Zweitaufstellung des GPS-Punktes unbedingt notwendig ist oder ob es nicht andere Kontrollmöglichkeiten gibt. So könnte die GK-Bestimmung der Neupunkte nach der unter Nummer 2 vorgestellten Meßmethode durch die Ergänzungsmessung mittels freier Stationierung insofern kontrolliert werden, als mehrere GPS-Punkte über den Helmertansatz verbunden werden. Dies führt zwar bei ausreichender Anzahl von Paßpunkten zu einer Kontrolle der GK-Bestimmung, die WGS-Koordinaten der GPS-Punkte können jedoch über eine ebene Helmerteinpassung nicht kontrolliert werden. So wird man in der Praxis nicht daran vorbeikommen, alle aufzunehmenden Punkte, also auch die Ausgangspunkte, durch eine Zweitaufstellung zu kontrollieren.

#### 4. Schlußbemerkung

GPS hat sich in der Vermessungspraxis bei Arbeiten im Katasterfestpunktfeld als hervorragende Alternative zu den bisherigen Meßmethoden bewährt. Es wäre jedoch völlig verkehrt, diese als abgelöst zu betrachten. Im Gegenteil! Gerade in der Verbindung der GPS-Messung mit der Tachymetrie kann der Vorteil dieses Systems voll zur Geltung kommen, weil mit GPS die Stützpunkte mit hoher Genauigkeit und ohne großen Aufwand geschaffen werden können, die für die Folgemessungen benötigt werden. Insbesondere im unwegsamen Gelände gibt es keine Alternative zu GPS, da damit auch größere Entfernungen ohne Genauigkeitsverlust überwunden werden können. Jedoch werden die »normalen« Katatervermessungen am Vermessungsamt nach wie vor mit den herkömmlichen Meßmethoden durchgeführt werden. Für Arbeiten wie Gebäudeeinmessungen, Teilungsvermessungen, Grenzwiederherstellungen und Absteckung von Baugebieten ist GPS nicht geeignet — zumindest nicht bei dem momentanen Entwicklungsstand; von der Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit her besteht auch kein Anlaß, von den bewährten Meßmethoden der Tachymetrie abzuweichen.