

Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) - Aspekte ziviler Nutzung und zukünftige Entwicklungen

GERHARD JAHNS

Institut für Biosystemtechnik

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden zwei globale Navigations-Satelliten-Systeme aufgebaut. Sie wurden ausschließlich für militärische Zwecke konzipiert. Zivile Anforderungen wurden dabei nicht berücksichtigt. Auch wenn heute eine zivile Nutzung möglich ist, so liegt die Verfügungsgewalt ausschließlich bei den jeweiligen Militärs der beiden Großmächte. Auf die wichtigsten zivilen Nutzer, ihre Anforderungen an ein GNSS und Überlegungen für eine zukünftige vom Militär unabhängige Entwicklung wird im folgenden eingegangen. Besondere Berücksichtigung findet dabei der Aufbau von DGPS-Stationen in Deutschland.

Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) erlauben weltweit eine von Witterungsbedingungen unabhängige hochgenaue Bestimmung der Position in drei Koordinaten und der Zeit. Die Zahl der Nutzer ist unbegrenzt. Seit Dezember 1993 ist das amerikanische NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System (NAVSTAR GPS), kurz GPS, voll ausgebaut. Der Ausbau des russischen Pendant, des GLOBale

Navigation Satellite Systems GLONASS soll in Kürze abgeschlossen sein. Die Konzeption und der Aufbau beider Systeme erfolgte, ebenso wie der Betrieb heute, ausschließlich unter militärischen Gesichtspunkten. Eine Gegenüberstellung dieser Systeme geben Ivanow und Saistchev (1). Eine übersichtliche Darstellung des GPS geben z. B. Krüger et al (2), sowie in deutscher Sprache Bauer, (3) Hartl und Thiel(4). Es gibt zwar noch einige andere satellitengestützte Positionierungssysteme, wie z. B. EUTELTRACS, doch sind diese weder globale Systeme noch sind sie so leistungsstark wie die beiden vorgenannten und werden daher im nachfolgenden nicht berücksichtigt.

Wenn heute beide Systeme seit geraumer Zeit auch für zivile Nutzung zur Verfügung stehen, so doch mit der Einschränkung, daß die Verfügungsgewalt und die Kontrolle über die Systeme ausschließlich bei den jeweiligen Militärs liegt. GPS wie GLONASS bestehen je aus drei Segmenten: dem Raumsegment, dem Kontrollsegment und dem Nutzersegment (Bild 1).

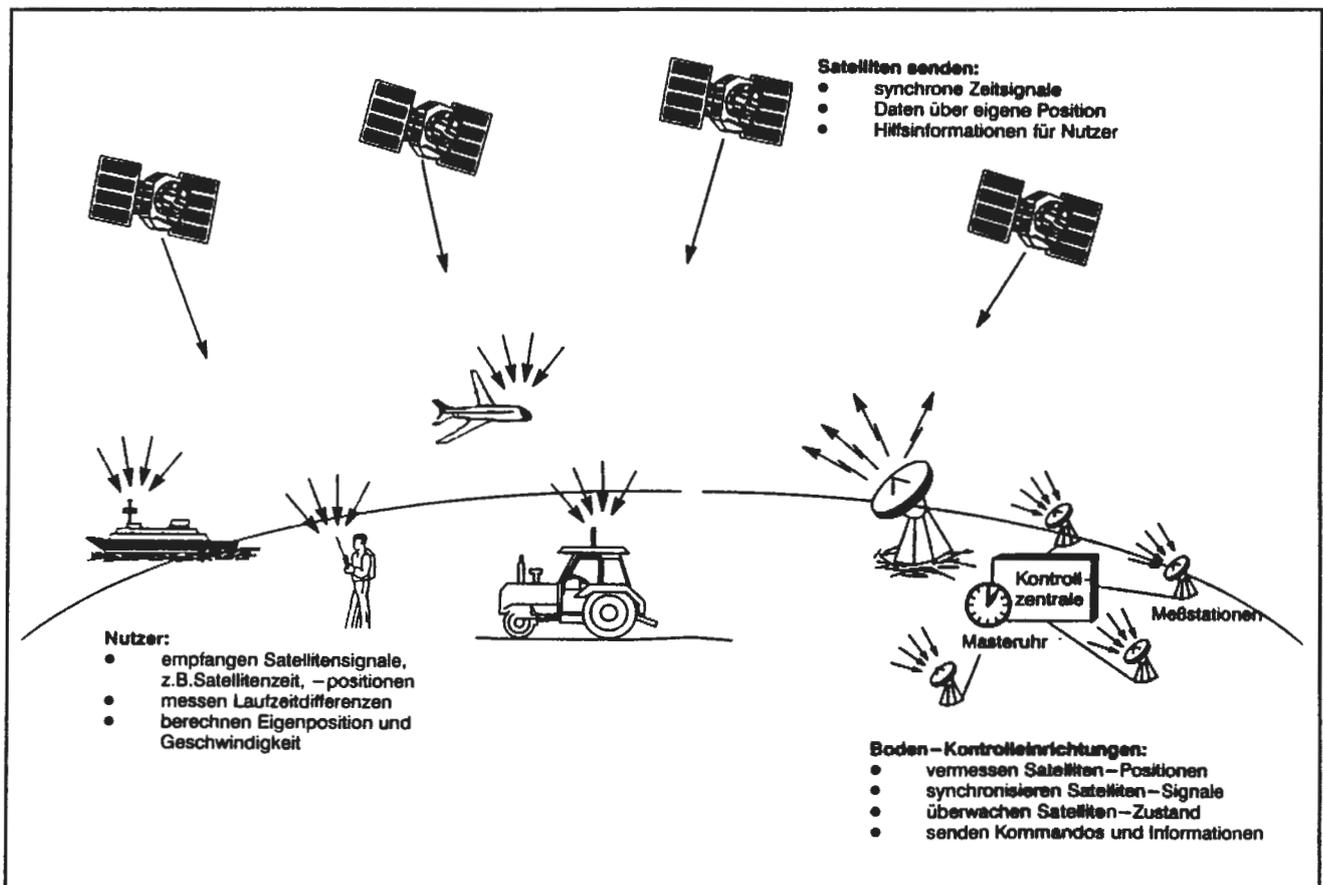


Bild 1: Die drei Segmente eines globalen Satelliten-Navigations-Systems (GNSS)

Das Raumsegment besteht bei beiden Systemen aus je 24 Satelliten auf einer Umlaufbahn in etwa 20000 km Höhe. Das GPS der USA verwendet je 4 Satelliten auf sechs Orbits, die um 55° gegen den Äquator geneigt sind. GLONASS benutzt je 6 Satelliten auf vier Orbits, die eine Inklination von 64,8° gegenüber dem Äquator aufweisen. Die Satelliten senden ständig Daten über ihre eigene Position, Hilfsinformationen für den Nutzer und synchrone Zeitsignale aus. Mit Hilfe dieser Daten und einer Laufzeitmessung der Signale sind die Nutzer, die das Nutzersegment bilden, in der Lage, ihre Position zu bestimmen. Da hierzu lediglich ein Empfänger erforderlich ist, ist das Nutzersegment passiv und die Zahl der Benutzer unbeschränkt. Das Kontrollsegment besteht aus Bodenkontrollstationen, bei GPS sind dies derzeit 5 Stationen. Diese Bodenstationen* werden vom Betreiber, dem amerikanischen Department of Defence (DoD) unterhalten. Sie stehen an vermessenen Punkten, von denen aus sie ständig die Positionen der Satelliten vermessen und gegebenenfalls deren Positionsdaten korrigieren. Sie überwachen Zustand und Funktion der Satelliten und senden Kommandos und aktuelle Informationen an diese. Darüber hinaus synchronisieren sie die hochgenauen Cäsium-Borduhren und damit die Signale der Satelliten. Die Ganggenauigkeit dieser Uhren, ca. 10^{-12} sec, hat unmittelbaren Einfluß auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung durch den Nutzer. Derzeit gibt es Bestrebungen, die Zahl der Bodenkontrollstationen auf 25 zu erhöhen, um die Bahndaten der Satelliten genauer bestimmen zu können und dadurch die Genauigkeit der Positionsbestimmung mittels GPS zu erhöhen.

Die GPS-Satelliten senden auf zwei Frequenzen unterschiedliche Codes aus. Auf der Frequenz L1 = 1575,42 MHz den CA-Code (CA = Clear Aquisition oder Coarse Aquisition), der für die

* soweit nichts anderes erwähnt, beziehen sich die Ausführungen auf das GPS

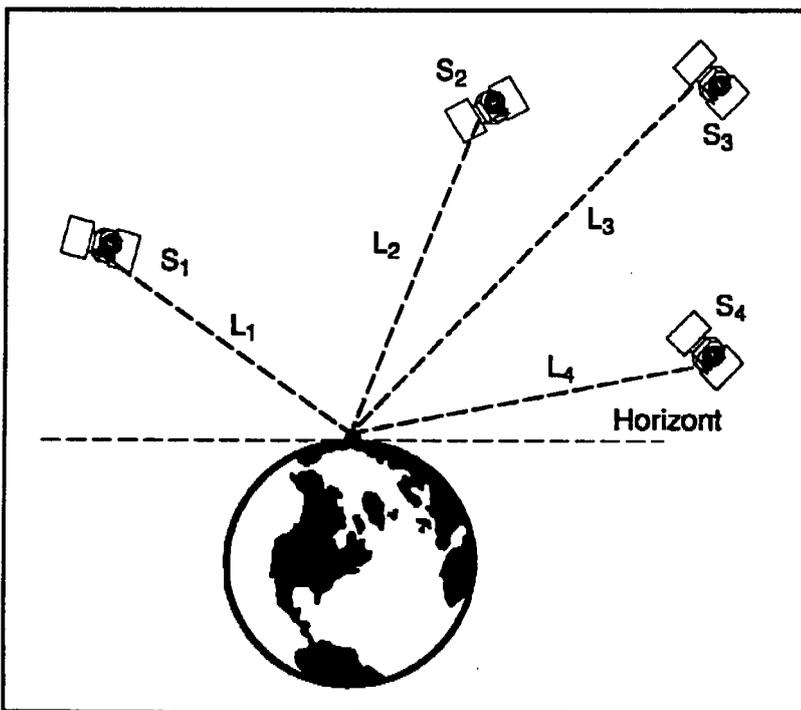


Bild 2: Prinzip der Positionsbestimmung

allgemeine zivile Nutzung zur Verfügung steht und auf L2 = 1227,60 MHz den genaueren P-Code nur für autorisierte Nutzer.

Die Bestimmung einer Position erfolgt durch räumliche Triangulation, dazu sind die Entfernungen zwischen Empfänger und Satelliten und die Position der Satelliten erforderlich. Die Entfernung (L_i) zwischen Satellit (S_i) und Empfänger berechnet sich aus der gemessenen Laufzeit ($T_0 - T_1$) des Satellitensignals und der Lichtgeschwindigkeit (c). Die Position des Empfängers (X, Y, Z) errechnet sich dabei unter Zuhilfenahme der Position der Satelliten (X_i, Y_i, Z_i) als:

$$L_i = c (T_{0i} - T_{1i}) = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + cb + ei,$$

wobei b die Ungenauigkeit der Empfängeruhr und ei der restliche Fehler im System ist. Für eine Positionsbestimmung sind mindestens vier Satelliten erforderlich. Theoretisch würden drei Satelliten ausreichen. Durch die Verwendung eines vierten Satelliten wird es aber möglich, in den Empfängern einfache und damit preiswerte Uhren zu verwenden. Zur Verringerung der Fehler bei der Positionsbestimmung verwenden gute Empfänger die Signale möglichst vieler Satelliten.

Mit dem für die zivile Nutzung zur Verfügung stehenden Positionierungsverfahren ließe sich eine Positioniergenauigkeit von etwa 30 m erreichen. Durch das Aufschalten eines kodierten Störsignals (SA = Selected Availability) wird die Positioniergenauigkeit jedoch auf 100 m (95 % Sicherheitswahrscheinlichkeit) herabgesetzt.

Eine wirkungsvolle Methode, dieses Störsignal und auch andere Fehlerquellen zu eliminieren oder zumindest zu reduzieren, ist das sogenannte Differential GPS (DGPS). Dabei nutzt man die Tatsache, daß die meisten Fehlereinflüsse für zwei nicht weit voneinander entfernte GPS-Empfänger die gleichen Abweichungen

bei der Positionsbestimmung verursachen. Kennt man nun den Standort eines Empfängers, so kann man mit Hilfe der Differenz, die sich aus der Positionsmessung und dem tatsächlichen, bekannten Standort für diesen Referenzempfänger ergibt, die Messung des zweiten Empfängers mit unbekanntem Standort korrigieren. Die mittels DGPS erzielbare Genauigkeit hängt von dem Hard- und Softwareaufwand ab.

2 Zivile Nutzergruppen - Anforderungen und Einsatzbereiche

Aus ziviler Sicht haben beide Systeme sowohl unter technischen als auch unter politischen Gesichtspunkten Nachteile, die Anlaß für weitergehende Überlegungen sind. Einige technische Unzulänglichkeiten erklären sich aus dem Alter der Systeme. Beide Systeme sind, mit Maßstäben der Elektronik gemessen, alt. So reichen erste Überlegungen bis in die 60er Jahre zurück. Mit der konkreten Planung des GPS wurde 1973 begonnen. Die grundsätzlichen Bedenken der zivilen Nutzer sind jedoch in der Tatsache begründet, daß die Verfügungsgewalt ausschließlich in

militärischer Hand liegt und technische Anforderungen ziviler Nutzer bei dem Entwurf der Systeme keine Rolle gespielt haben und auch heute noch nicht spielen. Rußland ist aus ökonomischen Gründen an einer zivilen Nutzung von GLONASS interessiert und auch die USA haben eine kostenlose zivile Nutzung des GPS bis über das Jahr 2000 hinaus zugesagt. Die ausschließliche Verfügungsgealt durch das Militär fremder Staaten und die damit verbundene Ungewißheit hinsichtlich Änderungen der Systeme lassen für viele Anwender eine langfristige Abhängigkeit als unakzeptabel erscheinen. So ist z. B. schon aus Gründen der Sicherheit nicht zu erwarten, daß ein Navigationssystem, das ausschließlich auf GPS oder GLONASS basiert, Eingang in die Luftfahrt findet.

Je nach Ziel und Zweck werden aus der Sicht des zivilen Nutzers sehr unterschiedliche Anforderungen an Verfügbarkeit, Genauigkeit, Preis, Betriebssicherheit und die Integrität eines Ortungs- oder Navigationssystems gestellt.

2.1 Hobby- und Freizeit

Die derzeit größte Nutzergruppe dürfte aus dem Hobby- und Freizeitbereich kommen. Es war in erster Linie die Nachfrage dieser Gruppe, welche die GPS-Empfänger zu einem Massenprodukt werden ließ und damit zu sinkenden Preisen und kleinen Baugrößen führte. Heute sind einfache GPS-Empfänger schon zu Preisen unter 1000,- DM erhältlich und ihre Baugröße entspricht der eines Handy. Mit diesen Geräten sind Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von ca. 100 m möglich.

2.2 Geodäsie

Eine Anwendergruppe, die GPS schon seit fast 10 Jahren nutzt, also weit vor seinem Vollausbau, sind die Geodäten. Da hier Online-Messungen nicht unbedingt erforderlich sind und bei Messungen auch eine Meßzeit von mehreren Minuten in Kauf genommen werden kann, lassen sich durch entsprechende technische Maßnahmen Positionsbestimmungen mit einer Genauigkeiten von wenigen Millimetern durchführen. Mit der Messung im Millimeterbereich wird die Grenze des physikalisch Machbaren erreicht, und es werden praktisch alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft. So wird nicht nur, wie auch schon beim gewöhnlichen Differential GPS (DGPS), die Position einer Referenzstation in die Messung mit einbezogen, sondern mit Hilfe der beiden GPS-Frequenzen L1 und L2 werden die Ionosphärenfehler weitgehend eliminiert. Troposphärische Verfälschungen der Messung werden durch Modellfunktionen für Temperatur und Druck reduziert. Des weiteren wird beispielweise die Phase der etwa 20 cm langen Wellen zur Verbesserung der Genauigkeit ebenso herangezogen wie der Dopplereffekt, der sich durch die Bewegung der Satelliten ergibt. Daraus ergeben sich überbestimmte Gleichungssysteme, deren Mehrdeutigkeiten durch langwierige, sich u. U. über Minuten erstreckende Rechengänge eliminiert werden müssen. Auch wenn diese hochgenauen Messungen in der Geodäsie einen erheblichen Aufwand an Hard- und Software voraussetzen, so ist dies in vielen Fällen immer noch billiger als herkömmliche Verfahren oder macht einige Messungen überhaupt erst möglich. So kann auf die bisher notwendigen Sichtbedingungen verzichtet

werden. Außerdem ist die in der Geodynamik mit Hilfe von GPS erzielte Genauigkeit bisher mit keinem anderen Verfahren erreichbar (siehe auch Glasmacher (5) sowie Reigber und Gendt (6)).

2.3 Luftfahrt

Die wohl einflußreichste Nutzergruppe dürfte die Luftfahrt sein. Sie ist international organisiert und neben der Seefahrt die Benutzergruppe, für die die globale und witterungsunabhängige Verfügbarkeit von besonderer Bedeutung ist. Hier werden Anforderungen im Dezimeterbereich und dies unter Echtzeitbedingungen gestellt. Der Preis spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Derzeit sind Flugzeuge insbesondere für große Strecken mit einer Vielzahl unterschiedlicher Navigations- und Ortungsgeräte ausgerüstet, die hinsichtlich Genauigkeit und Reichweite je nach Erfordernissen eingesetzt und kombiniert werden. Daraus ergeben sich hohe Kosten sowohl für die Bordausrüstung als auch für Infrastruktur am Boden, sowie eine anspruchsvolle Bedienung und Wartung. Der Wunsch nach einem einheitlichen, weltweit sowohl für Langstrecken als auch beim Landeanflug und beim Rollen auf dem Boden, dem sog. Taxiing, geeigneten System ist daher naheliegend. Solange aber die Verfügungsgewalt über die Satellitensysteme aber beim Militär liegt, dieses aber hinsichtlich Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit oder gar Haftung keinerlei Garantien übernimmt, verbietet sich eine ausschließliche Navigation in der Luftfahrt mittels GPS oder GLONASS schon aus Sicherheitsgründen.

2.4 Seefahrt

Für die Seefahrt gilt ähnliches wie für die Luftfahrt hinsichtlich Verfügbarkeit, Betriebssicherheit und Integrität, jedoch sind die Anforderungen nicht ganz so zwingend. Die Genauigkeitsanforderungen liegen für die Seefahrt im Meterbereich. Auch hier müssen die Positionsdaten on-line und nach Möglichkeit mehrmals pro Sekunde zur Verfügung stehen. Dies ist eine mit Differential GPS (DGPS) erreichbare Genauigkeit. Der Aufbau von DGPS-Stationen, z. B. im Küstenbereich der Nordsee, begann daher schon sehr früh.

2.5 Straßenverkehr

Ein sicher in Zukunft stark wachsender Nutzerkreis sind Landfahrzeuge im Straßenverkehr. Hier kann man verschiedene Anwendungen unterscheiden, bei denen der Einsatz von GPS möglich wäre. Zu nennen sind Zielführungssysteme, Flottenmanagement, Diebstahlsicherung, automatischer Notruf und schließlich die automatische Fahrzeugführung. Generell gibt es für die Ortung von Landfahrzeugen im Straßenverkehr andere Möglichkeiten, doch wird GPS aufgrund der vergleichbar niedrigen Kosten als Mittel der Wahl erwogen. Anders sieht es bei dem automatischen Notruf aus, der, ausgelöst durch Crashesensoren, die Position des Fahrzeugs an eine Notrufzentrale absetzen soll. Hier ist GPS derzeit durch kein anderes Mittel zu ersetzen. Eine ausführliche Darstellung der GPS Anwendung im Straßenverkehr

geben Möhlenbrink und Mezger (7). Nach ihrer Meinung muß der Einsatz von GPS zur automatischen Fahrzeugführung im realen Verkehr heute noch als eine ferne Zukunftsvision eingestuft werden. Wenn ein Einsatz von GPS hier sinnvoll sein soll, dann sicher nur als ein ergänzendes Element in einem System, dessen Navigationsgenauigkeit von anderen, ohnehin unverzichtbaren Sensoren wie Kamera, Radar, Laserscanner usw. bestimmt sein dürfte.

2.6 Landwirtschaft

Für teilschlagspezifische Arbeitsvorgänge in der Landwirtschaft (8, 9), wie z. B. Ertragsmessungen, kann eine Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit im Meterbereich mittels DPGS auch unter real-time-Bedingungen erreicht werden. Geht man davon aus, daß in Deutschland zukünftig Referenzstationen zur Verfügung stehen werden (siehe Kapitel 5), so sind fahrzeugseitig Kosten von höchstens wenigen tausend Mark gerechtfertigt. Zur Positionsbestimmung im Rahmen teilschlagspezifischer Bewirtschaftungsverfahren ist DGPS derzeit und sicher auch in Zukunft das geeignetste Mittel.

Anders sieht es mit der Eignung von GPS als Mittel zur automatischen Fahrzeugführung aus. Hierfür wäre eine Positionsbestimmung im Zentimeterbereich und dies mehrmals pro Sekunde erforderlich, denn in einer Sekunde legen landwirtschaftliche Fahrzeuge bis zu 3 m zurück. Mit der heutigen Technik lassen sich Genauigkeiten von einigen Zentimetern zwar erreichen, doch nur mit einer Taktrate von mehr als einer Sekunde und unter der Voraussetzung, daß z. B. Mehrwegausbreitungen und Abschattierungen ausgeschlossen werden können. Hier gilt das für den Straßenverkehr gesagt; es bleibt aber zu fragen, ob der Nutzen des technisch eventuellen Machbaren den unerläßlichen Aufwand für eine automatische Fahrzeugführung nicht übersteigen würde. Als ergänzendes Element wäre es jedoch in Zukunft denkbar.

3 Zivile Nutzer - weitergehende Interessen

Bei der Entwicklung der derzeitigen militärischen Satellitennavigationssysteme wie GPS oder GLONASS haben zivile Anforderungen und Gesichtspunkte keine Rolle gespielt. Es gibt daher weltweit Bestrebungen der zivilen Nutzer, die bestehenden Systeme durch Änderungen und Erweiterungen den zivilen Bedürfnissen anzupassen. Dabei lassen sich zwei Gruppen unterscheiden.

Die USA und einige mit ihr wirtschaftlich eng verbundene Länder wie Kanada und Australien bilden eine Gruppe. Aus ihrer Sicht müßten lediglich einige Verbesserungen an dem bisherigen GPS vorgenommen werden. Bedenken hinsichtlich einer militärischen Abhängigkeit der zivilen Nutzer werden als theoretisch bewertet. Fragen der Zulassung glaubt man auch auf der Grundlage des bestehenden GPS lösen zu können. Die US Federal Aviation Administration (FAA) beabsichtigt daher, auf der Grundlage von GPS ein verbessertes System, das sog. Wide Area Augmentation System (WAAS), aufzubauen. Andere Nationen, vor allem die Europäer, teilen diese Meinung nicht. Aus der Sicht dieser Gruppe sprechen technische, institutionelle, juristische und ökonomische Bedenken gegen eine Abhängigkeit auf diesem

Gebiet von den Militärs eines anderen Staates. So wurde in der Vergangenheit deutlich, daß amerikanische Firmen bei Änderungen oder neuen Entwicklungen aufgrund eines Informationsvorsprunges durch eine gezielte Informationspolitik der USA de facto eine Marktkontrolle ausüben. Institutionelle und juristische Bedenken, ein System als alleiniges Navigationssystem zuzulassen, dessen Verfügungsgewalt ohne Mitsprachemöglichkeit ausschließlich in der Hand der Militärbehörde eines fremden Staates liegt, bestehen vor allem in Luftfahrtkreisen. Allein aus Gründen der Verfügungsgewalt ist nicht zu erwarten, daß ein solches System eine Zulassung erhalten wird, da die damit verbundenen Fragen der Sicherheit und Haftung nicht zu klären sind. Auch technische Aspekte sprechen gegen eine Zulassung der jetzigen Systeme als alleiniges Navigationsmittel. So ist nicht zu erwarten, daß ein System wie das GPS, das bis zu einer Million Zeilen Software und einige 1000 empirische Parameter beinhaltet, eine Zulassung erhalten wird. Für GLONASS gilt das gleiche. Konsequenterweise existiert bisher auch kein Zulassungsverfahren, obwohl GPS für Navigationszwecke auch in der Luftfahrt eingesetzt wird und seine Tauglichkeit für den Landevorgang bereits 1989 (9, 10) nachgewiesen wurde. Generell - und das gilt nicht nur für die Luftfahrt, sondern für alle zivilen Anwendungen - ist Abhängigkeit von einem System, das u. U. von heute auf morgen nicht mehr zur Verfügung steht oder geändert werden kann, keine Basis für umfangreiche und langfristige Investitionen sowie die Entwicklung einer entsprechenden Infrastruktur. Selbst wenn also mit GPS und GLONASS die entsprechenden technischen Fragen lösbar wären, würden politische und daraus resultierende rechtliche Probleme wie Eigentumsrecht, Zugriffsrecht, Finanzierung, Haftungsfragen und Systemmanagement in Krisenzeiten einer Akzeptanz entgegenstehen.

4 Entwicklungstendenzen in Europa

Von der Europäischen Kommission DG VII (DG- Direction Général) wurde daher ein internationales Konsortium mit der Erstellung eines Europäischen Radionavigationsplanes (ERNP) beauftragt (11, 12). Ziel des ENRP ist die Rationalisierung und Harmonisierung der europäischen Politik bezüglich des Betriebs und der Weiterentwicklung bestehender sowie der Neuentwicklung zukünftiger Radionavigationssysteme, damit diese im Interesse aller, d. h. sowohl für die einzelnen Regierungen als auch für die Systemnutzer, möglichst effizient und kosteneffektiv gestaltet werden können. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die eindeutige Definition der heutigen und zu erwartenden Nutzeranforderungen. Einen besonderen Schwerpunkt werden dabei die Satellitennavigationssysteme (GNSS) bilden, da diese systembedingt das größte Nutzerpotential aufweisen.

Aber nicht nur die EU, sondern auch auf anderen nationalen und internationalen Ebenen wird zur Zeit an Navigationsplänen gearbeitet. In der Bundesrepublik erstellt derzeit das Bundesministerium für Verkehr (BMV) einen Deutschen Satelliten-Navigations-Plan (DSNP). Interessierte Nutzergruppen sollten hier ihre spezifischen Anforderungen einbringen.

4.1 Erste Stufe der europäischen Aktivitäten: GNSS1

Die europäischen Aktivitäten, getragen durch die European Space Association (ESA), die Europäische Union und Eurocontrol streben ein Zweistufenprogramm an. Die erste Stufe des GNSS1, das European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS), zielt auf eine Verbesserung der bestehenden Systeme und ist vergleichbar mit dem Wide Area Augmentation System (WAAS) der US Federal Aviation Administration (FAA). Dieses System soll zusätzliche Entfernungssignale sowie großräumige Differentialkorrektursignale und Integrity Informationen bereitstellen. Dazu wäre der Einsatz eines oder mehrerer geostationärer Satelliten denkbar. Die Kompatibilität zu GPS und GLONASS soll gewährleistet sein. Des Weiteren ist die Entwicklung eines „Receiver Autonomous Integrity Monitoring“ vorgesehen sowie ein „Aircraft Autonomous Integrity Monitoring“. Alle diese Maßnahmen stellen aber nur eine Verbesserung der derzeitigen Systeme GPS oder GLONASS dar, ohne die grundlegenden Nachteile dieser Systeme zu beheben. Diese Stufe der europäischen Bestrebungen ist daher mehr als eine Demonstration europäischen Willens nach einem zivilen System anzusehen.

4.2 Zweite Stufe der europäischen Aktivitäten: GNSS2

Bereits parallel zu GNSS1 soll mit GNSS2 die nächste Generation eines Satelliten-Navigations-Systems nach GPS entwickelt werden. GNSS2 soll von Anfang an benutzerorientiert sein, d. h. die Anforderungen und Wünsche der zivilen Benutzer sollen Grundlage für die Entwicklung sein. Aus der Sicht der Europäer ist dabei ein gesicherter Einfluß auf alle drei Segmente des Systems unerlässlich. Dabei wird eine internationale Zusammenarbeit angestrebt, da die Vorteile des globalen Einsatzes erhalten bleiben sollen. Eindeutig zivil soll die Systemkontrolle sein. Zulassungsgesichtspunkte, das Hauptmerkmal für die Luftfahrt, sollen von Anfang an berücksichtigt werden. Das System soll als alleiniges Navigationssystem geeignet sein. Es soll darüber hinaus kompatibel mit GNSS1 sein.

Wollte man für GNSS2 eine internationale Organisationen gründen oder einen internationalen Verbund von Organisationen bilden, so wäre dies sicher bei diesem politisch sensiblen und wirtschaftlich wichtigen Feld ein so zeitraubender und mühseliger Weg, daß eine Realisierung in naher Zukunft unwahrscheinlich wäre. Eine Alternative könnte darin bestehen, daß man die bereits

in der internationalen Luftfahrt bestehenden Strukturen und Verantwortlichkeiten nutzt. Dies sind die regionalen Vereinigungen der International Civil Aviation Organisation (ICAO), die sich bereits in der Vergangenheit in vergleichbaren Fällen bewährt haben. Man hat mit der Vorbereitung dieses Weges auch schon begonnen.

Beim Aufbau eines GNSS2 könnten die Beteiligten unterschiedliche Beiträge liefern. So wäre es denkbar, daß Nordamerika einige GPS-Satelliten der US Federal Avionic Administration unterstellt und Rußland mit GLONASS ähnlich verfährt. Die Europäer würden sich mit GNSS1 beteiligen, Japan mit einem ähnlichen System usw. Jede Region könnte dann eine eigene Master-Kontrollstation und ein Beobachtungsnetz besitzen. Solch ein System wäre redundant und die Verfügbarkeit wäre technisch wie politisch gewährleistet. Die jeweils letzte Verantwortung würde bei den lokalen Anbietern liegen. Doch ganz so konkret sind die Pläne zur Zeit noch nicht.

5 Entwicklungstendenzen in Deutschland

Von besonderem Interesse für die Landwirtschaft ist der derzeitige Aufbau von DGPS-Diensten (13, 14) durch die „Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland“ (AdV). Die AdV wurde durch die Länderregierungen eingerichtet und als ständiger Ausschuß der Innenministerkonferenz der Länder zugeordnet. Die Vermessungsverwaltungen der 16 Bundesländer haben als eine Grundaufgabe des Vermessungswesens die Schaffung und Bereitstellung eines einheitlichen Bezugssystems. Um die DGPS-Aktivitäten der Vermessungsverwaltungen, die ja bereits seit über 10 Jahren das GPS-System nutzen, zu vereinheitlichen und dadurch effizienter und wirtschaftlicher zu gestalten, beschloß das Plenum des AdV im Mai 1995 ein Konzept für die Einführung einheitlicher, permanent betriebener, flächendeckender und multifunktionaler DGPS-Dienste als infrastrukturelle Grundversorgung bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit. Die Dienste sollen möglichst zeitgleich eine unbeschränkte Anzahl von Nutzern zulassen. Es ist also von Anfang an vorgesehen, diese Dienste auch anderen Nutzerkreisen zugänglich zu machen. Es sind vier Bereiche (siehe Tabelle 1) geplant, die sich hinsichtlich Genauigkeit, Übertragungsmedium usw. unterscheiden.

Der Echtzeitpositionierungsservice (EPS) soll eine Positioniergenauigkeit von 1-3 m, also ausreichend für teilschlagspezifische Bearbeitungsverfahren in der Landwirtschaft, erreichen. Für die Übertragung der Korrekturdaten wird derzeit die Nutzung des

Bereich	Zeit	Medium	Genauigkeit	Nutzerzahl	Taktrate	Datenformat
EPS	Real Time	Radio LW, MW, UKW	1-3 m	∞	3-5 s	RTCM 2.0
HEPS	Real Time	2m Band	1-5 cm	∞	1s	RTCM 2.1
GPPS	Postprocessing	Festnetz D1, D2, e-Netz	1cm	$n \ll \infty$	15 min	RINEX
GHPS	Postprocessing	Festnetz	<1cm	∞		RINEX

Tabelle 1: Merkmale geplanter Servicebereiche der DGPS-Dienste der Mitgliederverwaltung der AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen) der Länder der Bundesrepublik Deutschland

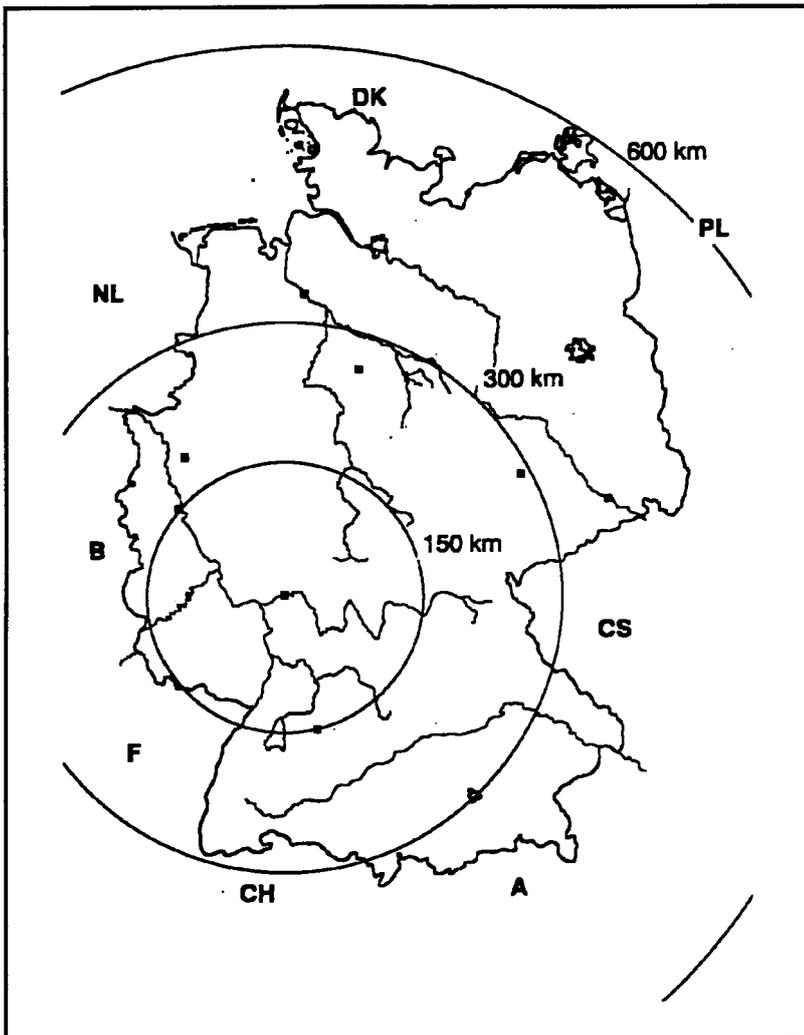


Bild 3: Reichweite des Langwellensenders

Langwellensenders Mainflingen, des AMDS (Amplitude Modulated Data System) im Mittelwellenbereich und des RDS (Radio Data System) im UKW-Bereich der Rundfunkanstalten erprobt.

Die Nutzung der Langwelle wird zur Zeit von dem Institut für Angewandte Geodäsie und der Deutschen Telekom erprobt (15). Ausgestrahlt werden die Korrekturdaten vom Langwellensender Mainflingen (123,7 kHz) täglich von 8.00 bis 18.00 Uhr. Die Langwelle hat einige Vorzüge: Sie überdeckt ein Gebiet, das größer ist als die Bundesrepublik. Abschattungen, wie sie beispielsweise beim UKW-Empfang häufig auftreten, sind selten. Die Empfänger sind zudem klein und preiswert*. Eine Integration der LW-Empfänger direkt in die GPS-Antenne wäre denkbar. Moderne Übertragungs- und Modulationsverfahren liefern gute Empfangsqualität und hohe Betriebszuverlässigkeit.

Ein gravierender Nachteil ist jedoch die Störempfindlichkeit des Langwellenempfanges durch technische Geräte und Systeme. Die in den bisherigen Versuchen erzielte Genauigkeit ist im Bild 4 wiedergegeben. Deutlich erkennbar ist der mit der Entfernung von

der Referenzstation zunehmende systematische Fehler.

Bei der Verwendung der Mittelwelle zur Übertragung des Referenzsignals wären mehrere Sender zur Abdeckung der Bundesrepublik notwendig. Derzeit wird die Verwendung der Mittelwelle von der TU Dresden, dem Niedersächsischen Landesverwaltungsamt und dem Deutschen Landfunk getestet, und zwar über den Mittelwellensender Cremlingen bei Braunschweig.

UKW-Sender haben zwar nur eine geringe Reichweite, doch ist durch das direkte Sendernetz in über 90 % der Bundesrepublik UKW-Empfang möglich. Aufgrund des regionalen Charakters der Sender können regionale Korrekturdaten eingespeist und dadurch die entfernungsabhängigen Fehler im Vergleich zur Mittel- oder gar Langwelle verringert werden. Die Korrekturdaten werden mittels RDS übertragen. RDS ist europaweit normiert, wird von fast allen UKW-Sendern unterstützt und ist mit handelsüblichen Radios zu empfangen. Die Landesvermessung hat zusammen mit den öffentlich rechtlichen Rundfunkanstalten (ARD) ein spezielles Verfahren, RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique) zur Komprimierung der DGPS-Korrekturdaten entwickelt. An dem Probebetrieb beteiligen sich mehrere Rundfunksender. Es ist geplant, den Service EPS-Rasant den Nutzern im Rahmen des TML (Traffic Message Channel) kostenlos zur Verfügung zu stellen.

Eine höhere Genauigkeit als der EPS, nämlich von wenigen Zentimetern, wird von dem hochpräzisen Echtzeitpositionierungsservice (HEPS) erwartet. Die Übertragung der Korrekturdaten im RTCM V2.1 soll über eigene Funksender im 2m-

Band erfolgen, wofür der AdV bundesweit 5 Frequenzen zur Verfügung stehen. Auch hier werden die Korrekturdaten wieder komprimiert übertragen. Dieser Dienst der AdV soll jedoch gebührenpflichtig sein. Für landwirtschaftliche Zwecke wäre dieser Service zur Kartierung von Bodenprofilen im Rahmen des GIS (Geographischen Informationssystems) geeignet. Für eine automatische Führung landwirtschaftlicher Fahrzeuge auf dem Felde könnte dieser Dienst als ergänzendes Element zu Kamera und anderen Sensoren eingesetzt werden. Ob dies die erforderlichen Kosten rechtfertigt, läßt sich derzeit noch nicht abschließend beurteilen.

Eine noch höhere Genauigkeit im Bereich von 1 cm, jedoch für postprocessing Verfahren soll durch den geodätisch präzisen Positionierungsservice (GPPS) erreicht werden. Hier ist vorgesehen, den Mobilfunk einzusetzen oder herkömmliche Netze in Anspruch zu nehmen. Noch genauer soll dann der geodätische hochpräzise Positionierungsservice (GHPS) sein. Es soll für Positionsbestimmungen mit einer Auflösung von unter 1 cm eingesetzt werden.

* Sie entsprechen denen in Funktion

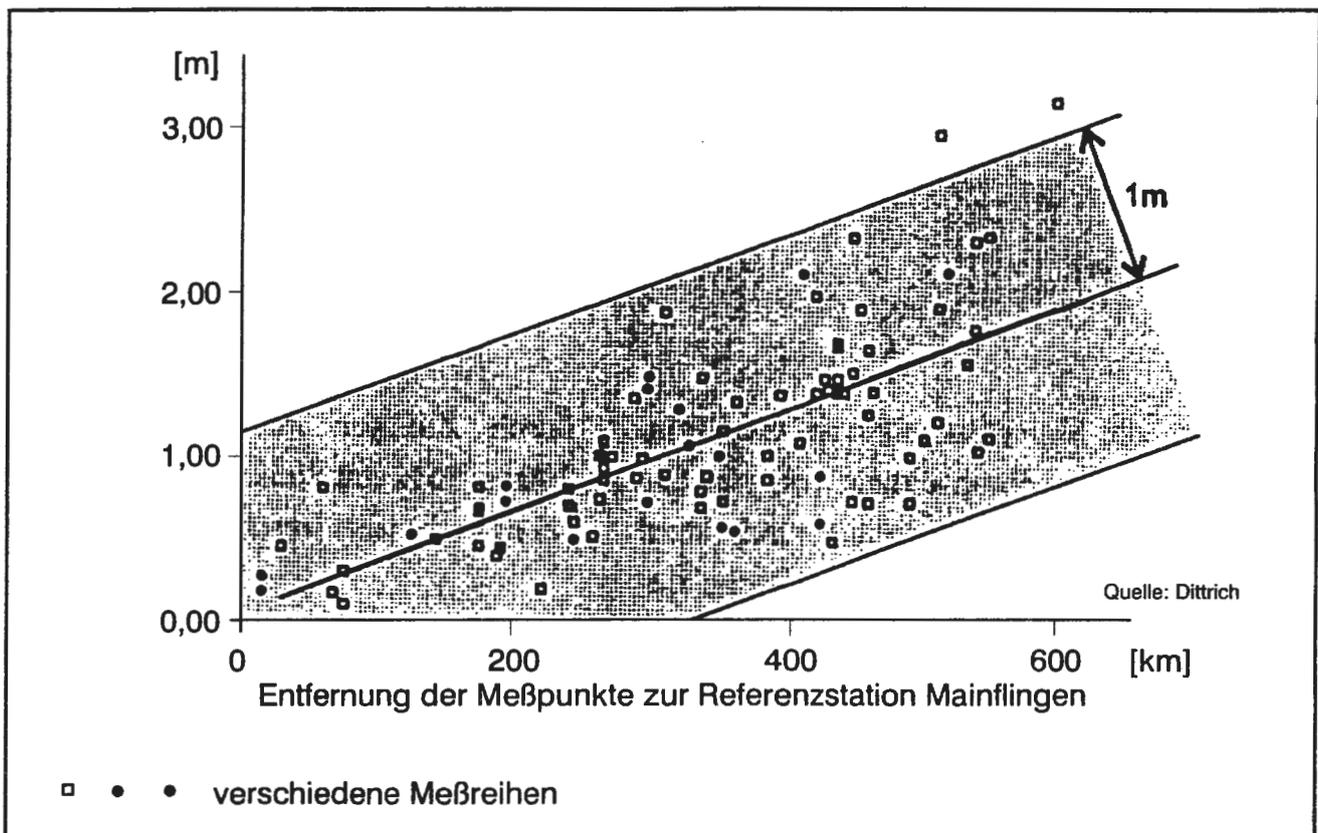


Bild 4: Gemessene Positionsfehler in Abhängigkeit von der Entfernung zur Referenzstation

6 Schlußbemerkung

Für diejenigen, die bereits während der Aufbauphase der AdV-Dienste diese während des Probetriebs nutzen möchten oder an weiteren Einzelheiten interessiert sind, sind im Anhang die Anschriften kompetenter Ansprechpartner aufgeführt, die dem Beitrag von Hankemeier entnommen wurden. Des weiteren sei auf das GIBS (GPS/GLONASS-Informations- und Beobachtungssystem) vom Institut für Angewandte Geodäsie, Richard-Strauß-Allee 11, 60598 Frankfurt hingewiesen, das auch über das Institut unter <http://gibs.leipzig.ifag.de> erreichbar ist.

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurden zwei Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) aufgebaut, das amerikanische NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System (NAVSTAR GPS) kurz GPS und das russischen Pendant, das GLOBale Navigation Satellite Systems GLONASS. Beide erlauben einer unbegrenzten Anzahl von Nutzern eine hochgenaue Bestimmung ihrer Position in drei Koordinaten und der Zeit und dies weltweit und unter allen Witterungsbedingungen.

Die ursprünglich ausschließlich für militärische Zwecke konzipierten Systeme stehen inzwischen auch zivilen Nutzern zur Verfügung. Es war vor allem die Nachfrage aus dem zivilen, vor allem aus dem Freizeitbereich die GPS-Empfänger zu einem Massenprodukt werden ließ, mit kleinen Baugrößen und niedrigen Preisen. Derzeit nimmt vor allem die Zahl der kommerziellen

Anwendungen z.B. in allen Bereichen des Verkehrswesens stark zu, aber auch im wissenschaftlichen Bereich und für hoheitliche Aufgaben im Vermessungswesen usw. wird GPS eingesetzt. Trotz der ständig steigenden Zahl privater und kommerzieller Nutzer liegt die Verfügungsgewalt ausschließlich bei den jeweiligen Militärs der beiden Großmächte. Da auch die technischen Eigenschaften des Systems nur auf militärische Anforderungen ausgerichtet sind, gibt es starke Bestrebungen zum Aufbau eines vom Militär unabhängigen Systems. Auf die Überlegungen und Pläne für ein derartiges ziviles Globales Navigations-Satelliten-System (GNSS), daß den Anforderungen der zivilen Nutzer Rechnung trägt, wird eingegangen.

Zur Verbesserung der Genauigkeit der Positionsbestimmung wird das sogenannte Differential GPS (DGPS) eingesetzt. Dabei nutzt man die Tatsache, daß die meisten Fehlereinflüsse für zwei nicht weit voneinander entfernte GPS-Empfänger die gleichen Abweichungen bei der Positionsbestimmung verursachen. Kennt man nun den Standort eines Empfängers, so kann man mit Hilfe der Differenz, die sich aus der Positionsmessung und dem tatsächlichen, bekannten Standort für diesen Referenzempfänger ergibt, die Messung des zweiten Empfängers mit unbekanntem Standort korrigieren. In vielen Ländern gibt es bereits derartige Referenzstationen und weiter befinden sich im Aufbau, so auch in Deutschland. Auf die Pläne zum Aufbau dieser DGPS-Stationen in Deutschland wird ausführlich eingegangen.

Global Navigation-Satellite-System (GNSS) - aspects of civil use and future trends

In the past two Global Navigation-Satellite-System (GNSS) have been set up: the US NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System (NAVSTAR GPS) for short GPS and the Russian pendant, the GLObale Navigation Satellite Systems GLONASS. Both systems are qualified precisely to determine position and time of an unlimited number of user independent of any weather condition and world-wide.

Originally designed for military purposes only, mean while this systems is available for civil use, too. Caused by civil demand especially from leisure industry GPS receiver have become mass product small in size, weight and price. At present the number of commercial user is rapidly increasing e.g. for sea, air and land traffic. But GPS is also used for purposes like science, agriculture or, geodesy. In spite of the permanent growing number of civil user, military control of the corresponding world power. Since also the technical characteristics of the systems are engineered to meet the military demands there are strong efforts to set up a system which is independent from military. The needs and plans for such a civil GNSS are explained and discussed.

To improve positioning accuracy principles of differential GPS (DGPS) are applied. DGPS principles make use of the fact that positioning errors of two GPS receiver which are located in close vicinity are almost the same. If the location of one GPS receiver is known the difference between the known and the measured position of this receiver can be used to correct the measurement of the second receiver with the unknown position. There are already many reference stations for this purpose in many countries and many more are under construction. This also hold true for Germany. The effort and plans to set up such DGPS reference station in Germany are explained in detail.

Literatur

- (1) Ivanov, N. E. and Salistchev, V.: GLONASS und GPS: Prospect for a Partnership. - GPS World, Vol. 2, No. 4 (1991), p. 36-40.
- (2) Krüger, G., Springer, R. and Lechner, W.: Global Navigation Satellite Systems (GNSS). - Computers and electronics in Agriculture Vol. 11 (1994), p. 3-31.
- (3) Bauer, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten. - Wichmann-Verlag, Karlsruhe 1989.
- (4) Hartl, P. und Thiel, K.-H.: Satellitengestützte Ortung und Navigation. - Spektrum der Wissenschaft Januar (1996), S. 102-106.
- (5) Glasmacher, H.: Zentimeter-Genauigkeit in der Geodäsie. - Spektrum der Wissenschaft Januar (1996), S. 113-114.
- (6) Reigber, C. und Gendt, G.: Geodätische Messung der Plattentektonik. - Spektrum der Wissenschaft Januar (1996), S. 115-117.
- (7) Möhlenbrink, W. und Mezger, K.: GPS-Anwendungen im Straßenverkehr. - Spektrum der Wissenschaft Januar (1996), S. 106-112.
- (8) Jahns, G. und Kögl, H.: Satellitensysteme zur Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge - Ein Beitrag zur Technikfolgenabschätzung. - Landbauforschung Völkenrode, Jahrg. 43 (1993), Heft 2/3, S. 125-148.
- (9) Murphy, D.P., Schnug, E. und Haneklaus, S.: Yield mapping - a guide to improve techniques and strategies. - Proc. Workshop Soil Specific Crop Management, ASA-CSSA-SSSA Madison (1995), p. 32-47.
- (10) Dieroff, M.: Flugführungskonzept mit GPS. - Symposium Satellitennavigation in der Flugführung. - DGON, TU Braun-schweig, Juli 1989.
- (11) Lechner, W.: Der Europäische Radio-Navigations-Plan: Status und weitere Planung. - DGON Seminar SATNAV 95 Satellitennavigationssysteme - Grundlagen und Anwendungen, 9.-12. Oktober 1995, Freising-Weihenstephan, S. 7-29.
- (12) Tytgat, L.: Current Situation of the European GNSS Programme. - DGON Seminar SATNAV 95 Satellitennavigationssysteme - Grundlagen und Anwendungen, 9.-12. Oktober 1995, Freising-Weihenstephan.
- (13) Hankemeier, P.: DGPS-Dienste der Vermessungsverwaltungen. - Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation (SPN) (1995) Nr. 3, S. 80-88.
- (14) Hankemeier, P.: GPS-Augmentation: State of the Art. - DGON Seminar SATNAV 95 Satellitennavigationssysteme - Grundlagen und Anwendungen, 09.-12. Oktober 1995, Freising-Weihenstephan, S. 31-40.
- (15) Dittrich, J., Kühmstedt, E. und Andraß, R.-P.: Langwellen-Real-Time-DGPS zur Lösung von Navigations- und Ortungsaufgaben. - DGON Seminar SATNAV 95 Satellitennavigationssysteme - Grundlagen und Anwendungen, 9.-12. Oktober 1995, Freising-Weihenstephan, S. 249-250.

Verfasser: Jahns, Gerhard, Dr.-Ing., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof. Dr.-Ing. Axel Munack.

Anhang

Ansprechpartner der AdV

Überregionale Koordinierung
des DGPS-Dienstes der AdV:
Freie und Hansestadt Hamburg
Baubehörde, Vermessungsamt
Dipl.-Ing. Hankemeier
Postf. 300580; 20302 Hamburg
Telefon 040/34913-2128
Telefax 040/34913-2943

Freie Hansestadt Bremen
Senator für das Bauwesen
Dipl.-Ing. Wirth
Postf. 107847; 28078 Bremen
Telefon 0421/361-4927
Telefax 0421/361-4947

Landesvermessungsamt
Schleswig-Holstein
Dr.-Ing. Boljen
Postf. 5071; 24062 Kiel
Telefon 0431/383-2070
Telefax 0431/383-2099

Niedersächsisches
Landesverwaltungsamt
- Landesvermessung -
Dipl.-Ing. Rossol
Postf. 107; 30001 Hannover
Telefon 0511/3673-210
Telefax 0511/3673-549

Landesvermessungsamt
Nordrhein-Westfalen
Dipl.-Ing. Irsen
Postf. 205007; 53170 Bonn
Telefon 0228/846-100
Telefax 0228/846-502

Landesvermessungsamt Hessen
Dr.-Ing. Strauß
Postf. 3249; 65002 Wiesbaden
Telefon 0611/535-345
Telefax 0611/535-309

Amt für Militärisches Geowesen
Mercador-Kaserne
Dipl.-Ing. Müller
Frauemberger Str. 250
53879 Euskirchen
Telefon 02251/7092221
Telefax 02251/1306280

Bundesanstalt für
Gewässerkunde
Dipl.-Ing. Wirth
Postf. 1423; 56014 Koblenz
Telefon 0621/1306232
Telefax 0621/1306280

Landesvermessungsamt
Rheinland-Pfalz
Dipl.-Ing. Beckers
Postf. 1428; 56014 Koblenz
Telefon 0261/492-351
Telefax 0228/492-492

Landesvermessungsamt
Saarland
Dipl.-Ing. Brauner
Von der Heydt 22
6115 Saarbrücken
Telefon 0681/9712242
Telefax 0681/9712200

Landesvermessungsamt
Baden-Württemberg
Dr.-Ing. Klumpp
Postf. 102962; 70174 Stuttgart
Telefon 0711/123-3014
Telefax 0711/123-2979

Bayrisches
Landesvermessungsamt
Dipl.-Ing. Pahler
Postf. 220004; 80535 München
Telefon 089/21236-210
Telefax 089/21236-100

Landesvermessungsamt
Mecklenburg-Vorpommern
Dipl.-Ing. Behnke
190959 Schwerin
Lübecker Straße 289
Telefon 0385/7444-409
Telefax 0331/7444-412

Senatsverwaltung für Bau und
Wohnungswesen V
Dipl.-Ing. Rosenthal
Mansfelder Str. 16
10713 Berlin
Telefon 030/867-5615
Telefax 0345/867-3709

Landesvermessungsamt
Brandenburg
Dipl.-Ing. Sorge
Postf. 601062; 14410 Potsdam
Telefon 0331/8844-459
Telefax 0331/8844-126

Landesamt für Landesvermessung
und Datenverwaltung
Dipl.-Ing. Leipholz
Postf. 200853; 06009 Halle
Telefon 0345/7752-923
Telefax 0345/7752-999

Landesvermessungsamt
Sachsen
Dipl.-Ing. Rudolph
Postf. 100306; 01073 Dresden
Telefon 0351/5983-226
Telefax 0351/5983-202

Thüringer Landesverwaltungsamt
Landesvermessungsamt
Dipl.-Ing. Möller
Postf. 100306; 99018 Erfurt
Telefon 0361/7450194
Telefax 0331/5626910

Institut für angewandte Geodäsie
Satellitenbeobachtungsstation
Wetzlar
Dr.-Ing. Schlüter
93444 Kötzing
Telefon 09941/603107
Telefax 09941/603222