



**Werner Stempfhuber und
Thomas Wunderlich**

Leica System 1200: Auf dem Weg zur Sensorsynchronisation von GPS und TPS für kinematische Messaufgaben

Das System 1200 der Firma Leica Geosystems ist ein Produktpaar, das eine kombinierte Erfassung und Bearbeitung von GPS- und TPS-Beobachtungen in einer zentralen Plattform realisiert. Die im Beitrag dargestellten Hard- und Softwareentwicklungen ergeben mit der neuen Datenbankstruktur ein besonders vielseitiges und wirtschaftliches Vermessungssystem, das in allen Bereichen der Geodäsie und des Bauwesens effizient eingesetzt werden kann. Erste Untersuchungen hinsichtlich der kinematischen Leistungsfähigkeit ergaben die im Beitrag dargestellten überzeugenden Ergebnisse.

1 Einleitung

Moderne Messsysteme wie der zielverfolgende Servotachymeter (Terrestrial Positioning System, TPS) oder das „Global Positioning System (GPS)“ ermöglichen eine diskrete und hoch auflösende Koordinatenbestimmung von bewegten Zielpunkten im Zentimeterbereich. Durch eine Kombination der terrestrischen und satellitengestützten Messinstrumente für Aufgaben der Ingenieurnavigation (Begriffsdefinition aus dem Ingenieurvermessungskurs 2004 an der ETH Zürich durch Prof. Brunner, TU Graz) besteht darüber hinaus eine ideale Möglichkeit, Messungen unabhängig von der Bewegungsart, -form und -geschwindigkeit, u. U. so-

gar im Millimeterbereich, durchzuführen. Außerdem werden auftretende Systemfehler minimiert und die Verfügbarkeit durch die Sensorkombination gegenüber dem separaten Einsatz optimiert.

Die Anfänge der Instrumentenentwicklung von GPS-Empfängern und elektronischen Tachymetern mit automatischer Zielerkennung gehen in die 80er Jahre zurück (siehe z. B. [DEUMLICH u. STAIGER, 2002]). Diese beiden unabhängigen Instrumentenentwicklungen wurden zunächst hauptsächlich für statische Messaufgaben konzipiert. Durch die Technologien des „Real Time Kinematic GPS“ und des zielverfolgenden Servotachymeters wurden in den 90er Jahren allmählich auch automatisierte Beobachtungen von Objektbewegungen möglich. Die kinematischen Beobachtungen werden dabei selbstständig, d. h. ohne Eingriff eines Instrumentenoperators, ausgeführt. Heute werden diese Messsensoren neben einzelnen Spezialanwendungen, wie z. B. der Bestimmung von Schiffstrajektorien [CZAJA et al., 2001], hauptsächlich für Applikationen der Zielführung und der autonomen Maschinenführung im Bereich des Bauwesens (Maschinenleitsysteme) und des präzisen Ackerbaus (Precision Farming) eingesetzt. Die Auswahl der kinematischen Messsensoren für diese Applikationen beschränkt sich hierbei ausschließlich auf GPS und/oder TPS sowie Zusatzsensoren zur Neigungs-, Geschwindigkeits- und Richtungsbestimmung. Der Lehrstuhl für Geodäsie an der TU München entwickelte in Zusammenarbeit mit dem Department für Biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung der TU München (Wissenschaftszentrum Weißenstephan) im Rahmen des Forschungsverbands

Agrarökosysteme München (FAM) einen Prototypen zur Leistungsüberprüfung kommerzieller Precision Farming Systeme. Dieses echtzeitfähige Referenzsystem besteht aus der Kombination eines Leica RTKGPS Systems SR 530 und eines zielverfolgenden Servotachymeters TCRA 1101plus (optional auch TCA 2003) [DEMMELE et al. 2002]. Aus der Erfahrung bei der Entwicklung wurden von [STEMPFHUBER, 2001, 2002 und 2004] wünschenswerte und dringend notwendige Verbesserungen an Standardinstrumenten der letzten Generation formuliert. Ein kombiniertes Messsystem aus GPS und TPS war bis dato am Markt nicht angeboten worden.

Mit dem neuen **Leica System 1200** wurde weltweit das erste System entwickelt, das diese beiden unterschiedlichen Messverfahren direkt kombiniert. In den beiden neuen Basis Komponenten **GPS 1200** und **TPS 1200** sind sowohl die Benutzerführung, die Durchführung der Messung (hierbei sind lediglich Aspekte wie horizontale und vertikale Sichtbarkeit, Signalinformationen sowie Störungen entlang des Signalwegs systemspezifisch) als auch die Auswertung und Organisation der Projektdaten im einheitlichen Auswertesystem **Leica Geo Office** (basierend auf der Technologie von SKI-Pro, Survey Office und LevelPak) identisch. Die zentrale Komponente für GPS- und TPS-Beobachtungen mit dem neuen System 1200 bildet das einheitliche Datenmodell der **DB-X**. In dieser Datenbank werden alle Rohdaten und Berechnungen zusammengeführt. Die Interpretation der Objektinformation ist unabhängig von der Aufnahmeart und wird somit absolut identisch verwaltet. Des Weiteren können die Daten beliebig zwischen

GPS und Tachymeter ausgetauscht und verwendet werden. Diese Eigenschaft verbessert die Verwaltung der Beobachtungen im Auswerteprogramm und gleichzeitig den Einsatz von GPS und TPS für statische, aber auch für kinematische Anwendungen maßgebend. Die Zusammenführung von GPS und TPS im System 1200 wird mit dem Schlagwort „**X-Function**“ bezeichnet.

Für klassische Messaufgaben mit GPS und TPS wie Einzelpunktaufnahme, Satzmessung, Punktabsteckung oder Netzmessung ist mit dem Leica System 1200 eine neue Qualität geschaffen worden. Besonders vorteilhaft erscheint die Austauschbarkeit des Speichermediums, der Batterien, die einheitliche Eingabeeinheit, Instrumentenkonfiguration und Bedienung. Durch die zentrale Datenstruktur entfällt hier vor allem das mühsame Dateneditieren und -konvertieren. Auf dem Weg zu einer absoluten Realisierung der Echtzeitkombination von GPS- und TPS-Messungen bei kinematischen Anwendungen liefert das Leica System 1200 einen weiteren wesentlichen Beitrag. Eine gemeinsame Basis zum Triggern von zeitgleichen Messungen existiert jedoch noch nicht. Das System 1200 bedeutet in unseren Augen einen Meilenstein instrumenteller Entwicklungen. Deshalb wird zunächst die Fülle an Fortschritten dargestellt; im Anschluss werden – entsprechend der kurzen Zeit von zwei Tagen, die uns das System (zwei GPS-Empfänger GX 1230 und ein zielverfolgender Servotachymeter TCRP 1202 mit der Firmwareversion Jan. 2004) zur Verfügung gestanden ist – verschiedene postulierte Systemeigenschaften experimentell überprüft. Die dargestellten Ergebnisse resultieren hauptsächlich aus dem Vergleich mit dem GPS System 500 und den zielverfolgenden Servotachymetern TPS 1100/2000.

2 Merkmale des Systems 1200 und erste Untersuchungsergebnisse

Aufbauend auf der Technologie des GPS Systems 500 und des TPS Systems 1100/2000 wurden im Sy-



Abb. 1: TPS 1200

stem 1200 alle Subsysteme neu konzipiert. Die Definition der Systemkomponenten wurde hauptsächlich für den kinematischen Einsatz spezifiziert. Für das GPS-System gelten hierfür Kriterien der Arbeitsumgebungsspezifikation IP67 (analog MIL-Specs) und für TPS IP54. Durch die Hard- und Softwaremodifikationen im System 1200 wurde von der Firma Leica Geosystems eine komplett neue GPS- und TPS-Generation geschaffen. Die wesentlichen Verbesserungen der neuen Systemkomponenten sind:

Elektronischer Taschymeter TPS 1200:

Das koaxial angeordnete Subsystem zur automatischen Zielerkennung und -verfolgung ATR(2) (Automatic Target Recognition) wurde durch einen neuen CCD-Chip mit höherer Pixelauflösung und einen angepassten Bildverarbeitungsalgorithmus zur ATR(3) ersetzt. Somit konnte neben der feineren Auflösung des Spots die Messfrequenz der ATR(3) im TPS 1200 von etwa 50 Hz auf bis zu 100 Hz gesteigert werden. Die Größe des „Field of Views, FoV“ wurde aus der TPS-Reihe 1100 übernommen. Für Anwendungen mit hoher Anzahl von Prismen im FoV, wie z. B. im Tunnelbau kann das FoV der ATR(3) nun auf 1/3 eingegrenzt werden. Außerdem ist die ATR(3) bei Fremdlichteinfluss gegenüber der

ATR(2) weniger störanfällig und benötigt durch die optimierten Komponenten bedeutend weniger Energie. Die neuen **Lithium-Ionen-Batterien** ermöglichen jetzt im Lock-Modus, d. h. mit ATR und permanenter Bewegung der horizontalen und vertikalen Servomotoren kinematische Messungen von etwa sechs bis acht Stunden. Bei einer Unterbrechung des Zielstrahls benötigt die besser integrierte, automatische PowerSearch-Funktion mit dynamisch berechnetem Suchfenster nur wenige Sekunden. Die kinematischen Messungen im Trackingmode erfolgen weiterhin auf ein Standardprisma.

Eine weitere Neuheit bildet der verbesserte Winkelabgriff am Horizontal- und Vertikalteilkreis zur Zenitwinkel- und Richtungs-messung, mit dem beim Modell 1201 eine Genauigkeit von 1 Sekunde erreicht wird. Ein neu konzipierter Zweiachsneigungssensor mit schnelleren Zugriffszeiten für die jeweilige Korrektur der Winkelmessung und stabileren Flüssigkeitseigenschaften stellt eine robuste Kompensation des Einflusses der restlichen Stehachsen-schiefe sicher. Während der automatischen Zielverfolgung entscheidet das Instrument eigenständig, ob der für statische oder dynamische Messungen optimierte Modus des Kompensators verwendet wird.

Für die berührungslose Entfernungsmessung wurde die Spezifikation des reflektorlosen Distanzmessers nochmals bezüglich der Reichweite und der Spotgröße des Laserpunkts (wichtig für die hoch auflösende Bestimmung von Objektkanten) optimiert. Durch die Optionen der reflektorlosen Distanzmessung **PinPoint R100** oder **R300** sind zwei verschiedene EDM Varianten für unterschiedliche Reichweiten erhältlich. Mit der Ausführung PinPoint R300 ergeben sich Genauigkeiten von 3 mm + 2 ppm bis 500 m und 5 mm + 2 ppm über 500 m Entfernung. Für die präzise Messung mit solchen Reichweiten wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches auf dem Phasemessverfahren basiert, jedoch zusätzliche Frequenzen aussendet und auswertet. Aus diesen Informationen wird ein Zeitsignal abgeleitet und die Distanz präzise berechnet. Die Reichweite der reflektorlose Distanz-

messer des TCRP 1202 mit PinPoint R300 konnte an einem etwa 760 m entfernten Objekt problemlos bestätigt werden.

Des Weiteren wurde mit der **CompactFlash Card** (erhältlich von 32 und 256 MB) ein neues Datenspeichermedium integriert. Optional sind auch Instrumente mit internem Speicher erhältlich. Die On-board Programme des Tachymeters sind im neuen System mit den Anwendungsprogrammen von GPS identisch. So wurde die Funktionalität der Programme von GPS System 500 und TPS 1100 auf das System 1200 mit identischer Bedienung und Grafik realisiert. Werden vom Anwender mit der neu geschaffenen Entwicklungsumgebung in C eigenständige Messprogramme für den Tachymeter entwickelt, so ist unter Berücksichtigung der GPS-Eigenschaften (Motorisierung oder Winkel- und Distanzmessung kann natürlich nicht verwendet werden) das Messprogramm auch für den GPS-Empfänger verwendbar. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Instrumentenkonfigurationen (benutzerdefinierte oder Menü-Einstellungen sowie Hot keys) auf dem Speichermedium abzuspeichern und mit anderen TPS 1200 Geräten zu verwenden. Ein hoch auflösendes Display am Tachymeter kann die Messergebnisse auf dem Instrument grafisch darstellen.

Tab. 1: Mittlere Messfrequenz bei den Instrumenten TPS 1100/2000 zu TPS 1200

Instrument	GeoCOM	On-board Applikation
TCRP 1202	8–9 Hz, mit <i>TMC_GetSimpleMea</i> {}	8–9 Hz mit <i>Auto Points</i> (<i>GeoC++ Umgebung</i>)
TCA 2003	6–7 Hz, mit <i>TMC_GetSimpleMea</i> {}	3–4 Hz mit <i>FastRecord</i> (<i>GeoBasic</i>)
TCRA 1101plus	6–7 Hz, mit <i>TMC_GetSimpleMea</i> {}	3–4 Hz mit <i>FastRecord</i> (<i>GeoBasic</i>)

TPS 1200 Parameter für kinematische Anwendungen:

Neben der stabilen Zielverfolgung und der Minimierung der ATR(3) Störeinflüsse wurde im TPS 1200 die Messfrequenz bei On-board Applikationen um etwa den Faktor zwei gegenüber dem TPS 1100/2000 verbessert. Die Messfrequenzen mit den GeoCOM-Funktionen (*TMC_GetSimpleMea*{}, *TMC_GetCoordinate*{ } oder *TMC_QuickDist*{ }) liegen um etwa 25 % höher. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse als Übersicht dar.

Ein Unterschied in der Messfrequenz zwischen der Messdatenerfassung mit der Client-Server Struktur GeoCOM oder der On-board Applikation Auto Points existiert, anders als beim TPS 1100/2000, nicht mehr (vgl. hierzu Abb. 2).

Die häufig zur Erstellung von kinematischen Messprogrammen verwendete GeoBasis-Schnittstelle wird im TPS 1200 nicht mehr unterstützt. Hierfür wurde eine einheitliche Entwicklungsumgebung für TPS und GPS in der Programmier-

umgebung GeoC++ geschaffen. Das kommerzielle Programm für kinematische Beobachtungen im Trackingmodus FastRecord (in GeoBasic) wurde für TPS 1200 durch das GeoC++ Programm Auto Points ersetzt. Die GeoCOM-Schnittstelle steht im TPS 1200 für dynamische Anwendungen nur noch optional zur Verfügung. Wie aus verschiedenen Untersuchungen hervorgeht, ist bei der Betrachtung der maximalen Messfrequenz, der Totzeiten (Zeitverzögerung zwischen der Messdatenerfassung und der Positionsausgabe) und vor allem der Güte der Synchronisation immer auf die Verwendung des Messverfahrens mit den entsprechenden Funktionen (GeoCOM oder On-board Applikation) zu achten [STEMPFHUBER, 2004]. Zur Untersuchung dieser kinematischen Parameter von zielverfolgenden Servotachymetern wurde am Außeninstitut Eichenau der TU München eine temporäre Versuchsanlage aufgebaut. Durch die Entfernungsmessungen mit einem getriggerten Laserinterferometer und der präzisen Kenntnis der Sollgeometrie können

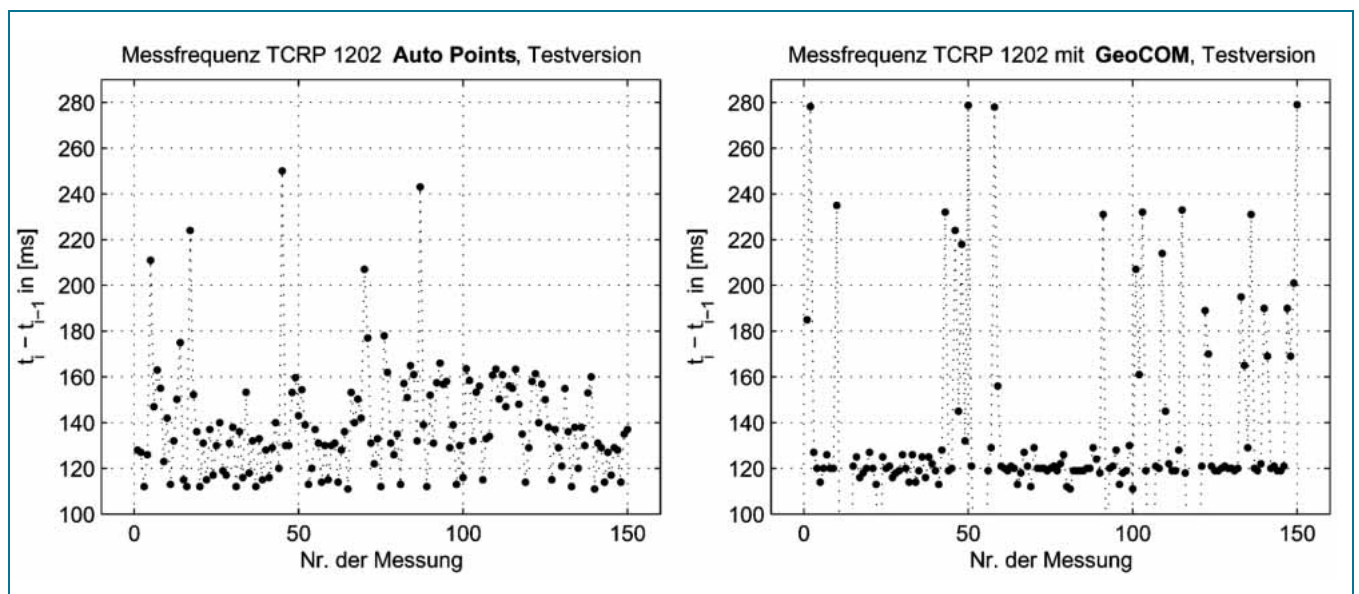


Abb. 2: Vergleich der Messfrequenz On-board Applikation Auto Points and GeoCOM am TCRP 1202

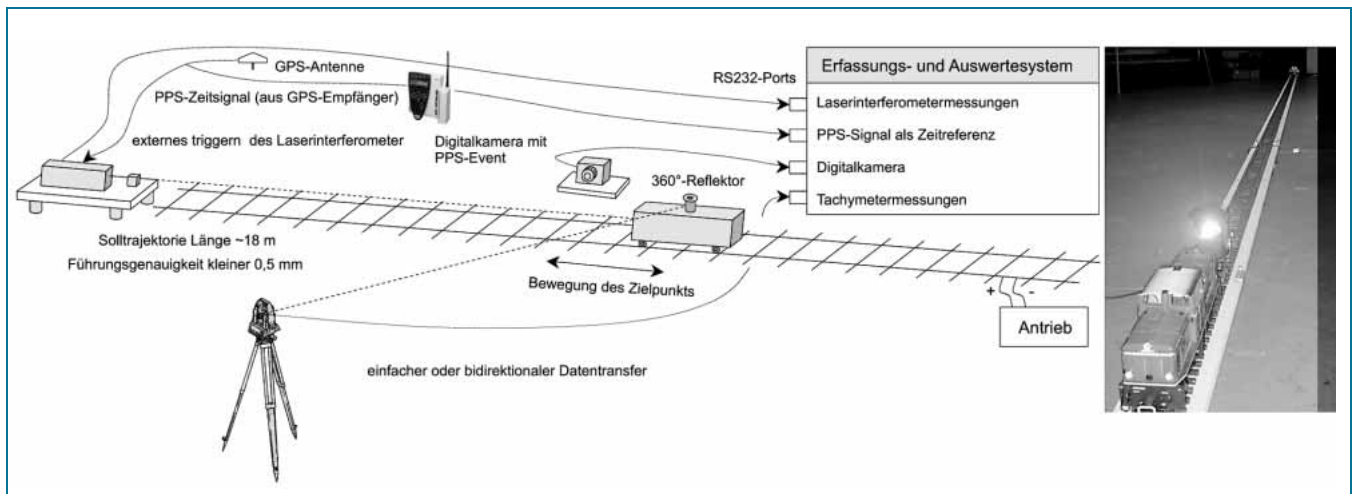


Abb. 3: Aufbau der temporären Kalibrierungsanlage Eichenau zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit

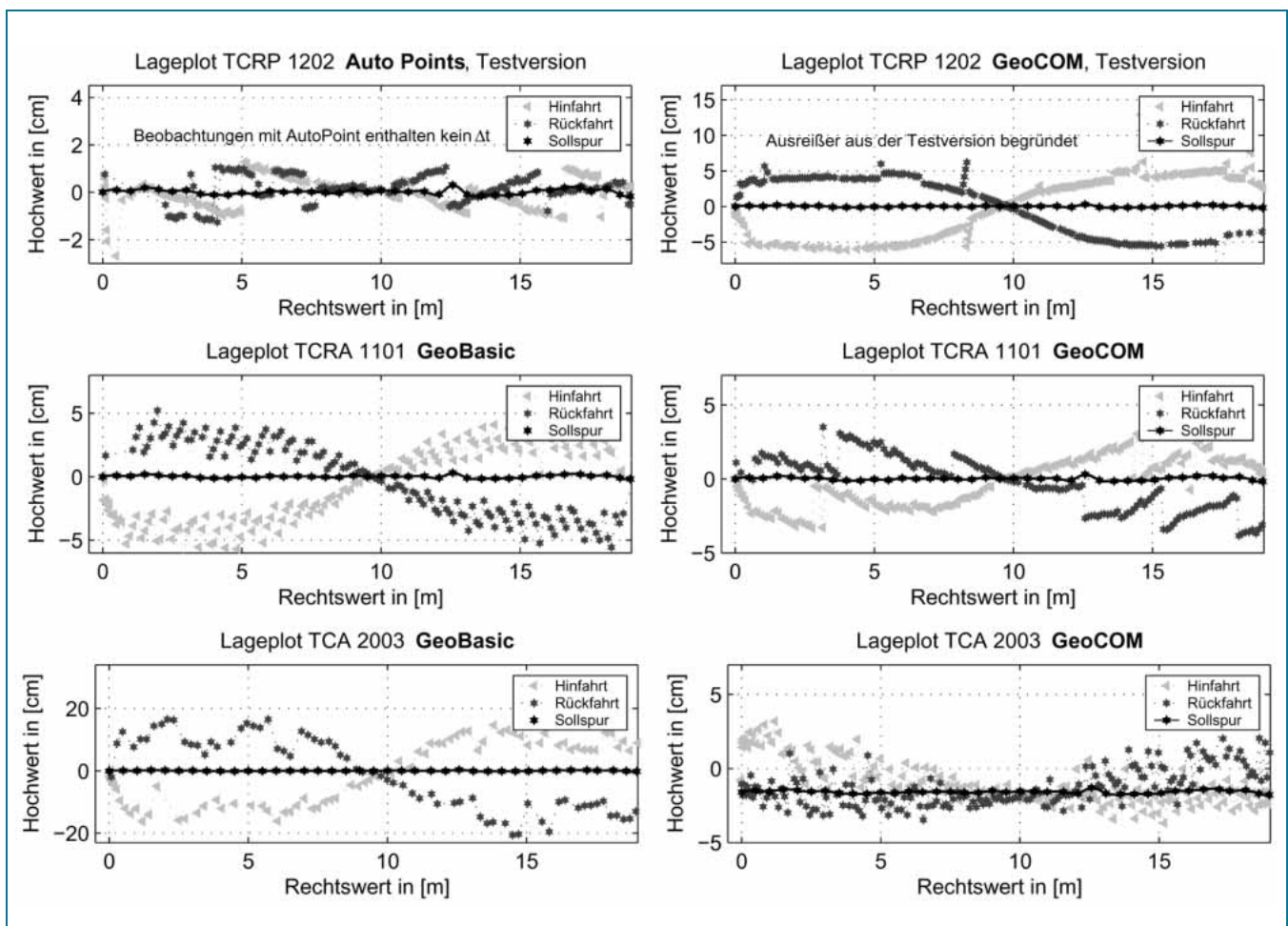


Abb. 4: Unkorrigierte Beobachtungen an der linearen Kalibrierungsanlage (unterschiedliche Skalierung der Ordinate)

alle kinematisch relevanten Informationen bestimmt werden. Die Anordnung des zielverfolgenden Servotachymeters befindet sich etwa in der Mitte des Bewegungssimulators mit einem orthogonalen Abstand von ca. sechs Metern.

Die ersten Untersuchungsergebnisse mit dem TCRP 1202 hinsichtlich

der kinematischen Positionsgenauigkeit werden in den Abbildungen 4 und 5 im Vergleich zu den beiden Instrumenten TCRA1101plus und TCA 2003 grafisch dargestellt (Beachtung der Skalierung).

Die orthogonalen Ablagen der TCRP 1202 Beobachtungen mit dem Messprogramm Auto Points (Abb. 4 oben

links) weisen keinen erkennbaren Synchronisationsfehler Δt (Latenzzeit; zeitliche Differenz zwischen der Winkel- und Distanzmessung) zwischen der Winkel- und Distanzmessung auf. Es ist jedoch eindeutig eine systematische „Sägezahnfunktion“ zu erkennen. Dieser Effekt resultiert aus den unterschiedlichen Mess-

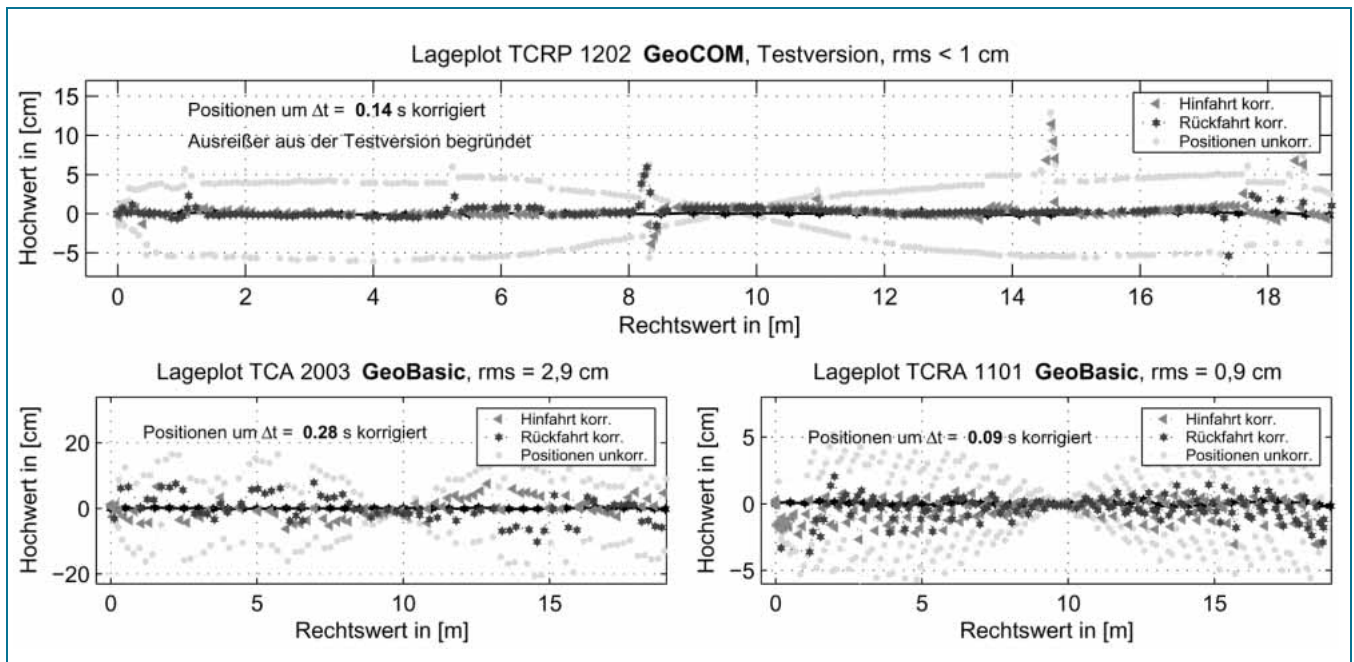


Abb. 5: Um Δt korrigierte Beobachtungen an der Kalibrierungsanlage Eichenau (unterschiedliche Skalierung der Ordinate)

frequenzen der Winkelmessung (etwa 60 Hz) und der Distanzmessung (etwa 80 Hz). Nach der Überschreitung von vordefinierten Grenzen führt das Instrument eigenständig wieder eine Synchronisation durch. Die Positionsgenauigkeit mit dem On-board Messprogramm Auto Points von etwa ± 1 cm ist im Vergleich zu den Geräten der Reihe TPS 1100/2000 erheblich verbessert (siehe Abb. 4 links). TCRP 1202-Beobachtungen mit der GeoCOM-Funktion `TMC_GetSimpleMea{}` (Abb. 4 oben rechts) liefern sogar relative Positionsgenauigkeiten von wenigen Millimetern. Der systematische Positionsfehler aus der Latenzzeit Δt ist hier deutlich erkennbar (Bestimmung von Δt sowie die Korrektur der Positionsinformationen nach dem Verfahren aus [STEMPFHUBER, 2004]). Die Verwendung der On-board Funktion Auto Points wird in Zukunft den Regelfall in der Praxis bedeuten. Nur in Ausnahmefällen wird die GeoCOM-Schnittstelle zur Verwendung kommen. Die korrigierten Positionsinformationen sind anschließend frei von systematischen Fehlern aus einer unzureichenden Synchronisation zwischen der Winkel- und Distanzmessung und stellen so nur noch das kinematische Messrauschen der jeweiligen Subsysteme bezogen auf die Messkonfiguration und das verwendete Messprogramm dar. Korrigiert

wurden die Messungen der Abbildungen 4 oben links (GeoCOM mit dem TCRP 1202), Mitte rechts und unten rechts (GeoBasic mit dem TCA 2003 und TCRA 1101).

Die kinematischen Positionsinformationen des TCRP 1202 mit dem Messprogramm Auto Points sowie des TCRA2003 und TCRA1101 (beide mit GeoCOM) enthalten keinen systematischen Fehler aus einer unzureichenden Synchronisation der Winkel- und Distanzmessung. Deshalb wurden diese Ergebnisse nicht korrigiert. Unabhängige Untersuchungen am Lehrstuhl für Geodäsie ergaben in Bezug zur Instrumentenkonfiguration

folgende Werte Δt für verschiedene Leicatachymeter (Tab. 2).

Hierfür ergeben sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit, der Messkonfiguration und der Größe Δt systematische Positionsablagen bis zu mehreren Dezimetern. Zur Steuerung von Zug- oder Baumaschinen muss die kinematische Positionsinformation zur Epoche i in Echtzeit an der RS232- oder der USB-Schnittstelle vorliegen. Existieren hierbei Verzögerungen aus dem Signalempfang, der Signalverarbeitung und der Positionsberechnung sowie -ausgabe, treten durch diese Totzeiten weitere systematische Fehler bei kinemati-

Tab. 2: Übersicht verschiedener Latenzzeiten Δt bei zielverfolgenden Servotachymetern

Instrument	EDM-Modus, Kompensator, Registrierungssoftware	Δt in [ms]
Leica TCRP 1202	Auto Points (GeoC++ Programm)	± 0
	<code>TMC_GetSimpleMea{}</code> (GeoCOM)	+ 143
Leica TCA 2003	Tracking, Komp. ein, FastRecord	+ 285
	Tracking, Komp. aus, FastRecord	+ 243
	FastTracking, Komp. ein, FastRecord	- 116
	FastTracking, Komp. aus, FastRecord	- 103
	<code>TMC_GetSimpleMea{}</code> (GeoCOM)	± 0
LeicaTCRA1101	Tracking, Komp. ein, FastRecord	+ 230
	Tracking, Komp. aus, FastRecord	+ 112
	FastTracking, Komp. ein, FastRecord	+ 200
	FastTracking, Komp. aus, FastRecord	+ 91
	<code>TMC_GetSimpleMea{}</code> (GeoCOM)	± 0
LeicaTCRA1101plus	FastTracking, Komp. ein, Fast-Record	+ 155
	FastTracking, Komp. aus, Fast-Record	+ 80

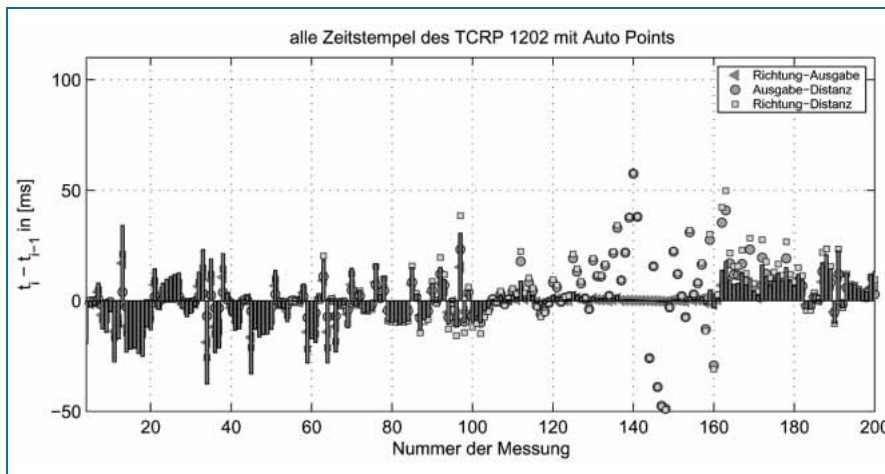


Abb. 6: Totzeit des TCRP 1202

sehen Echtzeitanwendungen auf. Abb. 6 zeigt die Ergebnisse mit dem TCRP 1202.

Für die unterschiedlichen Anwendungen und Genauigkeitsanforderungen ist die TPS 1200-Reihe in den Typen **TC**, **TCR**, **TCRM**, **TCA**, **TCP**, **TCRA** und **TCRP** (siehe www.leica-geosystems.com) verfügbar. Die Genauigkeitsklassen der Winkelmessung ergeben sich aus der Unterteilung in:

GPS 1200:

Neben dem TPS 1200 wurde auch die Komponente GPS im System 1200 komplett neu entwickelt. Der Schwerpunkt der GPS-Gerätespezifikation wurde vor allem durch die RTK-Anforderungen im Bereich der Maschinensteuerung definiert. Vergleichbar der Unterteilung im System 500 sind im System 1200 folgende GPS-Empfänger verfügbar:

	TC	TCR	TCRM	TCA	TCP	TCRA	TCRP
Angle measurement	●	●	●	●	●	●	●
Distance measurement (IR)	●	●	●	●	●	●	●
PinPoint reflectorless distance measurement (RL)		●	●		●	●	●
Long range distance measurement (LO)		●				●	●
Motorized			●	●	●	●	●
Automatic Target Recognition (ATR)				●	●	●	●
PowerSearch (PS)				●	●	●	●
Guide Light (EGL)	○	○	○	●	●	●	●
Remote Control Unit (RX1220)	○	○	○	○	○	○	○
Laser Guide GUS74				○	○	○	○

● Standard ○ Optional

- Typ 1201 (1" oder 0,3 mgon)
 - Typ 1202 (2" oder 0,6 mgon)
 - Typ 1203 (3" oder 1,0 mgon)
 - Typ 1205 (5" oder 1,5 mgon)
- Somit bleibt der TCA 2003 mit einer Winkelgenauigkeit von 0,5" oder 1,15 mgon weiterhin der Präzisions-tachymeter für hoch genaue statische Anwendungen. Die elektronische Distanzmessung des TPS 1200 hat eine Genauigkeitsspezifikation für statische Distanzmessungen von 2 mm + 2 ppm (Messdauer des EDMs etwa 1,5 s) und 5 mm + 2 ppm (Messdauer < 0,15 s) bei kinematischen Distanzmessungen.

- GX 1210, GPS Single Frequency Survey Receiver
 - GX 1220, Geodetic GPS Dual Frequency Survey Receiver
 - GX 1230, Geodetic GPS Dual Frequency RTK Receiver
- Mit der maximal möglichen Messfrequenz von 20 Hz können nun auch sehr unregelmäßige Bewegungsabläufe hoch auflösend abgetastet werden. Durch die Optimierung der Signalverarbeitung mittels kinematischer Filter und Phasenglättungsalgorithmen konnten kürzere Reaktionszeiten im RTK-Modus gegenüber vergleichbaren GPS-Systemen festgestellt werden. Dies zeigt sich vor allem beim Vergleich von GPS-Beob-

achtungen mit starken Vibrationen (z. B. bei der Gradersteuerung). Die Initialisierungsdauer (Warmstart = nach totaler Signalunterbrechung, Kaltstart = nach kompletten ausgeschalten, entsprechend Standard des INSTITUTE OF NAVIGATION, ION STD 101) konnte gegenüber dem System 500 erheblich verbessert werden. Hierzu wurden gezielte Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse im System 1200 sind im Vergleich zum System 500 in der Abb. 7 grafisch dargestellt. Nach einem kompletten Signalabbriss ist im System 1200 die RTK-Position bereits nach etwa 15 Sekunden verfügbar.

Als Ursache hierfür sind die optimierten Hardwarekomponenten in Wechselwirkung mit dem verbesserten Algorithmus zur Phasenmehrdeutigkeitslösung anzuführen. Die gegenüber dem System 500 erheblich schnellere Phasenmehrdeutigkeitslösung gewährleistet außerdem eine Zuverlässigkeit von 99,99 % bei einer Basislinie bis 30 km. Die Positionsberechnung im GPS 1200 basiert auf den beiden neuen Technologien SmartCheck und SmartTrack. Eine weitere Neuheit ist die Berechnung von vier anstatt zwei „zero baselines“ bei einer Anordnung von zwei Empfängern an einer GPS-Antenne. Hierbei können Multipath-Effekte durch die redundanten Informationen entscheidend verringert werden. Dies ist vor allem bei kinematischen Echtzeitanwendungen im RTK-Modus wichtig. Der Kernel zur Phasenmehrdeutigkeitslösung von RTK-Beobachtungen und Rohdatenauswertungen im Auswertetool ist bereits seit knapp einem Jahr identisch (ab der SKI-Pro Version 3.0). Diese Eigenschaft wurde natürlich in das neue System 1200 integriert, sodass es keinen Unterschied zwischen den NMEA-Positionen (Ausgabe der Echtzeitpositionen im „National Marine Electronics Association“-Format) und den im Leica Geo Office prozessierten Positionen gibt. Außerdem können mit dem neuen GPS-Empfänger gleichzeitig zwei unterschiedliche NMEA-Formate (z. B. GGA und VTG) an zwei unabhängigen Ports ausgegeben werden. Als Ausgabeformat wird im GPS-System 1200 der NMEA-Standard 0183 V2.20 verwendet. Die modifizierten

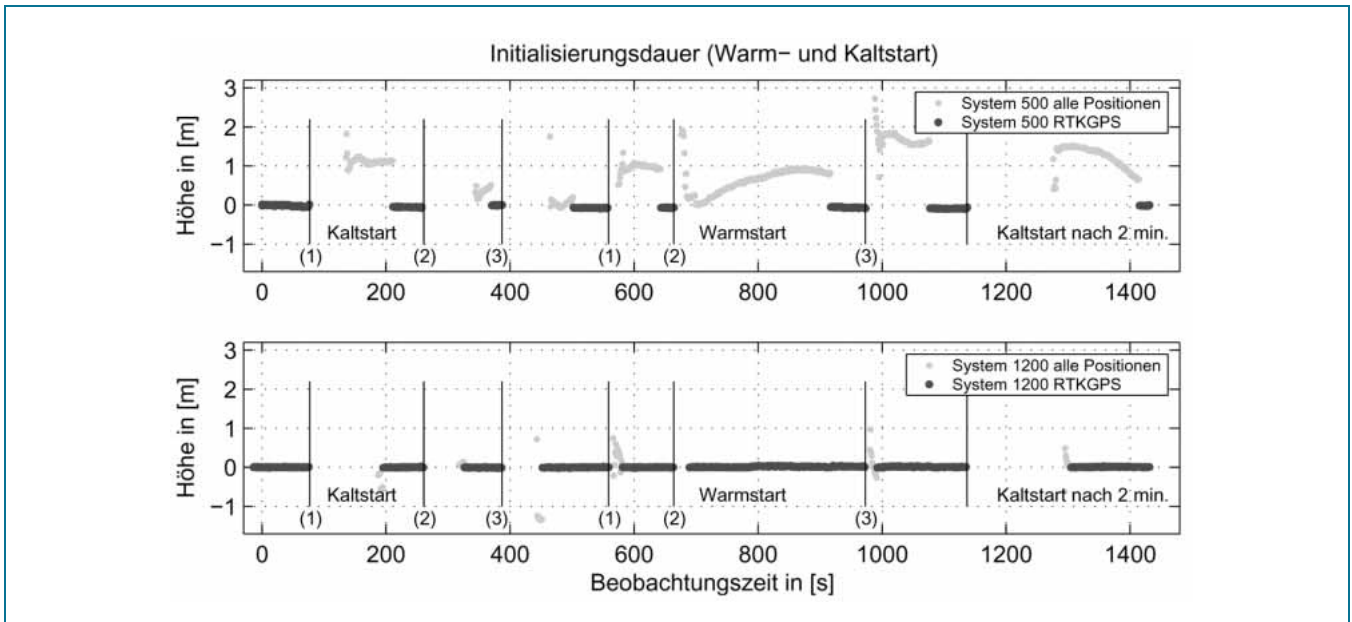


Abb. 7: Initialisierungsdauer beim GPS-Empfänger 1200 (GX 1230)



Abb. 8: GPS 1200

GPS-Antennen AX 1201 (L1-Antenne) und AX 1202 (L1/2-Antenne) mit einem Phasenzentrumsoffset sehr nahe der Qualität einer Choke Ring-Antenne und einer verbesserten Signalerfassung ermöglichen ein geringeres Positionsrauschen gegenüber der AT502 im System 500. Unabhängige Untersuchungen zur Qualität der neuen Antennen wurden an der TU Delft durchgeführt.

Der GPS-Empfänger wurde nach militärischen Spezifikationen (MIL-Specs) konzipiert. Die absolute Staub- und Wasserdichte soll die Feldtauglichkeit des Sensors unein-

geschränkt gewährleisten. Eine weitere Neuerung im System GPS 1200 ist die Möglichkeit der Sensorprogrammierung für spezielle Messaufgaben ähnlich der GeoGOM- oder der GeoBasis-Option bei TPS 1100/2000. Darüber hinaus ist das GPS-System mit verschiedenen Messsensoren (z. B. mit dem Disto für unzugängliche Punkte) kombinierbar. Die grafische Darstellung der Messergebnisse auf dem Display ist mit dem TPS-Mapview identisch. Beim Vergleich der Positionsgenauigkeiten GPS 1200 zu GPS 500 zeigt sich ein geringeres Messrauschen in den ausgewerteten und transformierten RTK-Positionen in der Lage- und Höhenkomponente (siehe Abb. 9).

Bei der Betrachtung der GPS-Latenzzeiten, d. h. der Totzeit zwischen dem Empfang der GPS-Signale und der Positionsabgabe an der RS232-Schnittstelle wurde gegenüber dem System 500 ein wesentlich geringerer Wert festgestellt (siehe Abb. 10). Anders als beim System 500 wirkt sich eine gleichzeitige Rohdatenspeicherung nicht mehr auf GPS-Latenzzeiten aus. Vergleichbare Untersuchungen am Lehrstuhl für Geodäsie der TU München ergaben bei GPS-Empfängern anderer Hersteller Latenzzeiten bis zu 200 ms [STEMPFHUBER, 2002]. Die Registrierung und Auswertung der GPS-Latenzzeit wird aus einem echtzeitfähigen Messdatenerfassungssystem im Vergleich

zum PPS-Event durchgeführt und berechnet. Den direkten Zusammenhang zwischen der Latenzzeit Δt und der Anzahl der Stalliten zeigt die Abb. 10.

Abschließend wurden kombinierte Messungen mit dem zielverfolgenden Servotachymeter TCRP 1202 und einem RTKGPS-Rover GX 1230 aufgezeichnet. Als Bewegungssimulator diente ein PKW (Aufbau des 360°-Prismas und der GPS-Antenne auf einen Dachträger, siehe Abb. 11 rechts). Die Auswertung der kinematischen Beobachtungen (Aufzeichnung der Rohdaten, GPS mit der maximalen Messfrequenz von 20 Hz und TPS mit Auto Points, d. h. mit einer Messfrequenz von etwa 8–9 Hz) bestätigen die Ergebnisse an der Kalibrierungsanlage (vgl. Abb. 11 links). Die verbesserten Systemeigenschaften bzgl. der schnelleren Phasenmehrdeutigkeitslösung nach einem kompletten Signalabriss zwischen dem GPS System 500 und dem System 1200 wurden durch diese Versuchsanordnung ebenfalls bestätigt.

Remote Control RX 1210 und RX 1220:

Zur kabellosen Ansteuerung des TPS 1200 wurde die RX 1220 entwickelt. Hierbei wird auf der Basis der „Spread Spectrum Technologie“ mit-

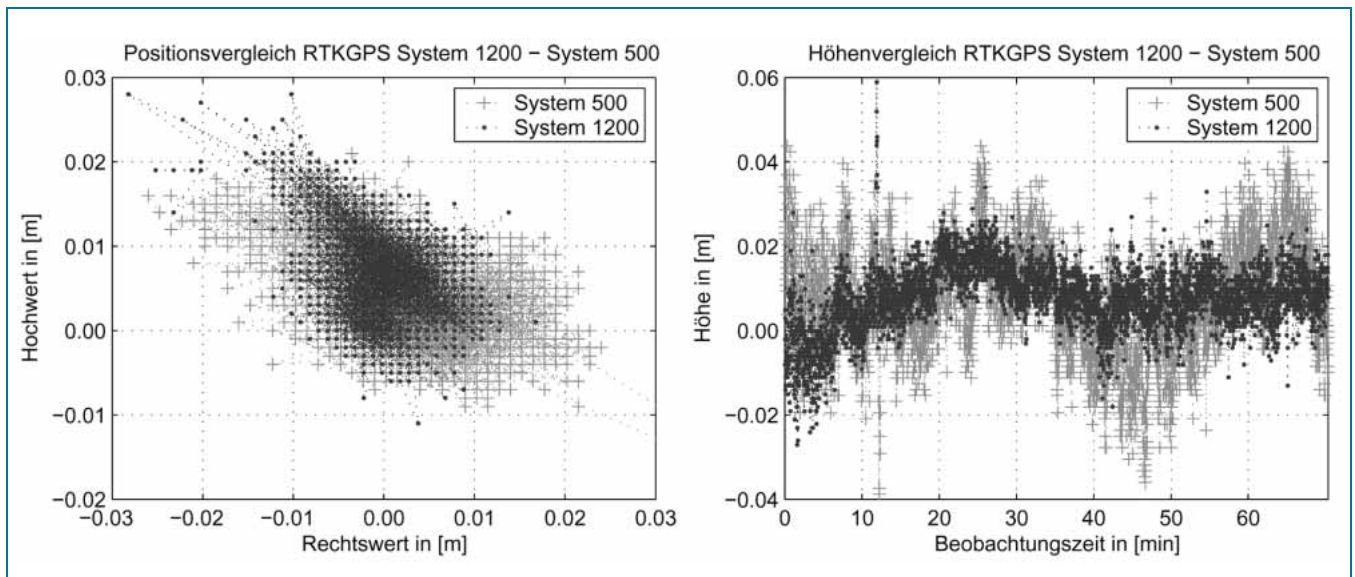


Abb. 9: GX 1230 Messrauschen der transformierten NMEA-Positionen

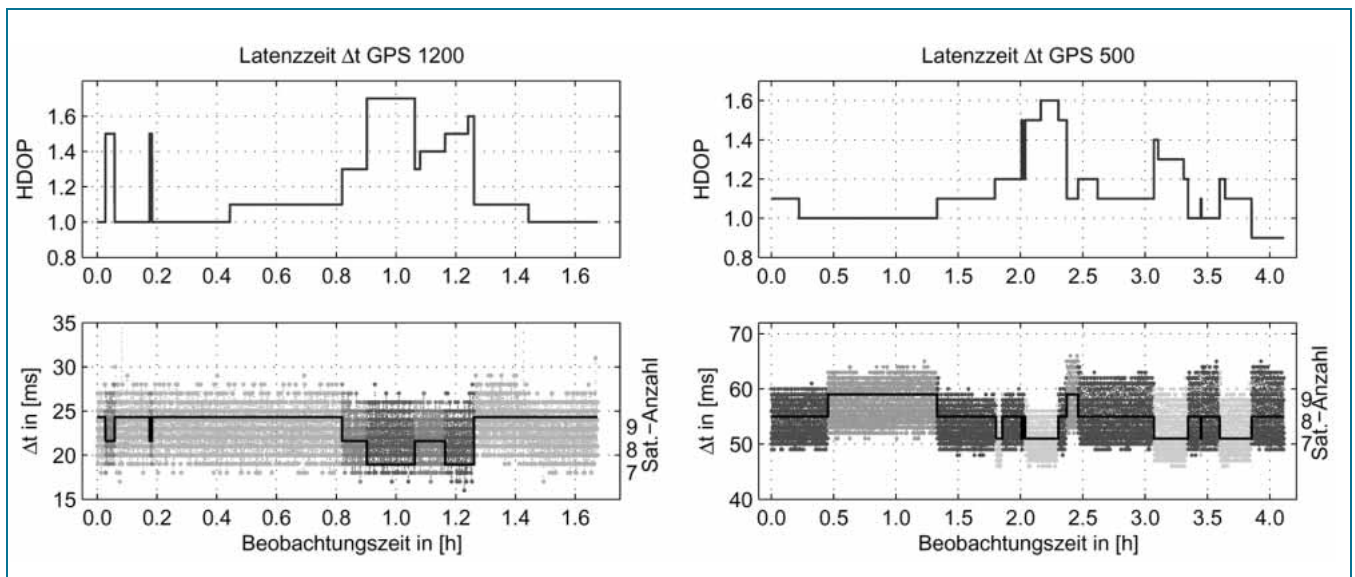


Abb. 10: GPS-Latenzzeiten System 1200 im Vergleich zum System 500

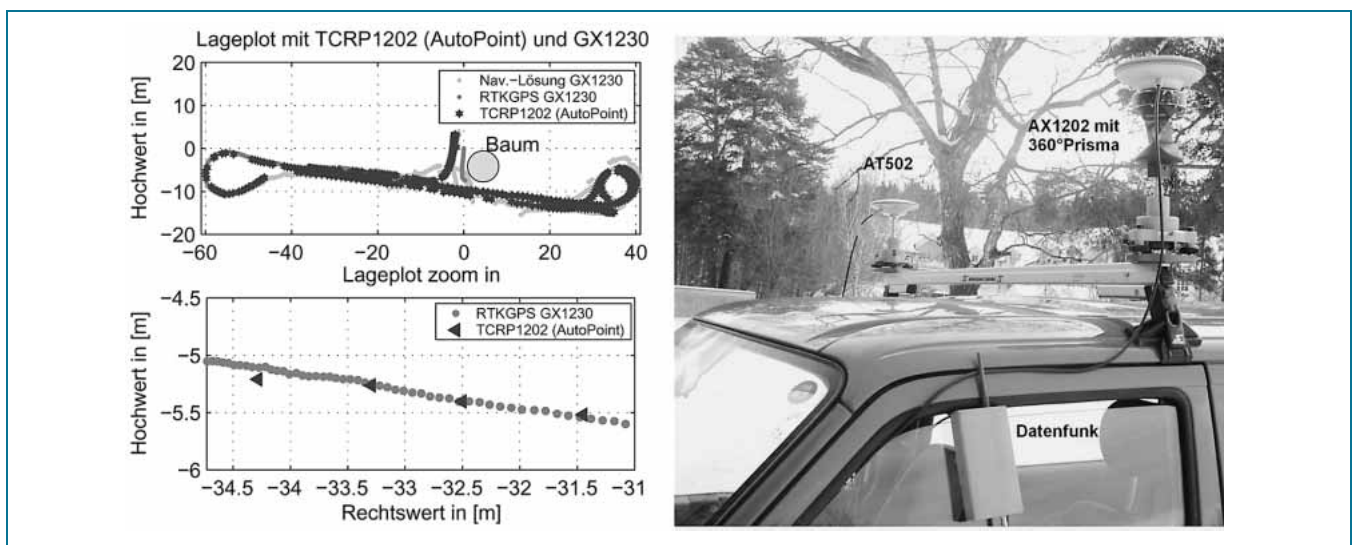


Abb. 11: Kombinierte Messungen mit GPS und TPS



Abb. 12: RX 1220

tels einer bidirektionalen Funkverbindung zwischen dem Eingabe-, dem Grafik-Modul und dem Messsensor kommuniziert. Bei TPS kann der Benutzer die Remote Control als Fernsteuerung (ehemals RCS bei TPS 1100/2000) verwenden. Die Spezifikation bzgl. der Robustheit entspricht den Anforderungen des Gesamtsystems. Für die Bedienung und Konfiguration des GPS-Systems wird die Remote Control RX1210 verwendet. Beide Remote Controls (RX 1210 und RX 1220) sind mit einem Touchscreen und einem Grafikdisplay ausgestattet. Alle Funktionen zur Datenregistrierung und -speicherung werden wegen der höheren Datensicherheit direkt am Messinstrument ausgeführt.

Auswertesystem Leica Geo Office Version 1.0:

Selbstverständlich benötigt ein kombiniertes System auch eine zentrale Auswertesoftware. Für Aufgaben zur Messvorbereitung, Projektorganisation, Messdatenauswertung sowie der grafischen Darstellung der Ergebnisse und der Sensorkonfiguration wurde aufbauend auf die Produkte SKI-Pro, Leica Survey Office und Level Pak die Auswertesoftware Lei-

ca Geo Office für das System 1200 und Beobachtungen mit den beiden Digitalnivellieren DNA03/10 entwickelt. Die Funktionalität von Leica Geo Office basiert auf den drei separaten Auswertetools, wobei die Struktur des neuen Datenbankmodells das Kernstück bildet. Der große Vorteil liegt sicherlich in der Homogenität der GPS-, TPS- und Nivellementdaten. Die aufwändige Dateneditierung und -konvertierung entfällt beim System 1200 komplett. Leica Geo Office wird als Standard-Option (Funktionen vergleichbar SKI-Pro ohne Dongle, Survey Office und LevelPak) oder als Zusatzmodul angeboten. In der Standard Option sind die Funktionen

- Daten & Projekt Management,
- View & Edit,
- Import / Export und
- Reports und Tools

enthalten. Wenn im System 1200 GPS- und Nivellementbeobachtungen ausgewertet werden sollen, dann müssen die Zusatzmodule verwendet werden. Dieses Tool beinhaltet außerdem die Funktionen

- GPS-Rohdatenauswertung,
- Nivellementauswertung,
- 1-D und 3-D Adjustment,
- Datum & Map sowie den
- GIS und CAD Export.

Im Menü Tools befinden sich die Funktionen Daten-Exchange-, Code-list- und Format-Manager sowie Software Uploads.

3 Fazit

Das System 1200 der Firma Leica Geosystems ist ein Produktpaar, das eine kombinierte Erfassung und Bearbeitung von GPS- und TPS-Beobachtungen in einer zentralen Plattform realisiert. Die im Beitrag dargestellten Hard- und Softwareentwicklungen ergeben mit der neuen Datenbankstruktur ein besonders vielseitiges und wirtschaftliches Vermessungssystem, das in allen Bereichen der Geodäsie und des Bauwesens effizient eingesetzt werden kann. Erste Untersuchungen hinsichtlich der kinematischen Leistungsfähigkeit ergaben die im Beitrag dargestellten überzeugenden Ergebnisse. Die einheitliche Bedienung, Menüführung und Auswertung erfordert

vom Anwender nur noch die Beherrschung eines zentralen Systems, wobei die Funktionalität des neuen Auswertetools auf die bestehenden Leicaprogramme SKI-Pro, LevelPak und Survey Office aufbaut. Natürlich sind zum schnellen Verständnis gute Kenntnisse dieser Programme, vor allem des GPS-Auswerteprogramms SKI-Pro, hilfreich.

Die einst aufwändigen Arbeiten der Datenkonvertierung und -editierung bei gleichzeitigen Arbeiten mit GPS-, TPS- und Nivellementdaten werden im System 1200 nahezu komplett eliminiert. Außerdem ist ein direkter Vergleich von Messergebnissen in der Auswertesoftware möglich. Somit können etwaige Systematiken oder Ausreißer schneller erkannt und bereinigt werden. Hierzu ist sicherlich auch die grafische Darstellung am Display des GPS- und TPS-Instruments hilfreich. Ein weiterer Vorteil liegt in der absoluten Kompatibilität des Systems wie dem Austausch der Speicherkarten, der Batterien oder der Remote Control sowie im uneingeschränkten Austausch aller Messdaten im Messsensor selbst oder in der Auswertesoftware.

Durch die Funktionalität des Systems 1200 für kinematische Messaufgaben können bestehende Applikationen präziser und hoch auflösender bearbeitet und neue Applikationen erforscht werden. Die Verbesserungen im GPS- und TPS-Sensor (z. B. verbesserte Signalerfassung und -verarbeitung, kontinuierliche Überprüfung der Messergebnisse sowie die Stabilität der ATR etc.) tragen so zur notwendigen Robustheit und Abstrakte bei Anwendungen in der Ingenieurnavigation bei. Hierbei bietet das System 1200 durch die signifikante Leistungssteigerung gegenüber dem Vorgängersystem eine ideale Ausgangsbasis für die verschiedensten kinematischen Anwendungen. Bekanntlich sind jedoch manche Anwender unersättlich; daher noch einige Anregungen.

Für den kombinierten Einsatz von GPS und TPS wäre eine einheitliche Zeitbasis oder die Möglichkeit der Integration des PPS-Events beim zielverfolgenden Servotachymeter wünschenswert. Hierbei könnten die Subsysteme zur Sensorfusion im System

1200 nochmals optimiert werden. Gegenwärtig kann eine Synchronisation für kinematische Echtzeitanwendungen nur mittels einer zusätzlichen Erfassung einer Zeitinformation im Millisekundenbereich erfolgen. Hierfür ist die Vorgehensweise aus [STEMPFHUBER, 2004] erforderlich. Eine Übertragung der TPS-Messdaten mit der bestehenden GPS-Datenfunkverbindung (aktuelles Modem Satellite 3aX) würde darüber hinaus bei vielen Applikationen eine Verwendung von zusätzlichen Funkmodems, z. B. des TCPS27, ersparen.

Literatur

[CZAJA, et al.] CZAJA, J., NEUHIERL, T., STEMPFHUBER, W.: Hybrides Messsystem zur kinematischen Positionierung von Schiffen, AVN 11–12/2001, S. 374–380.
[DEMML, et al.] DEMML, M., EHRL, M., STEMPFHUBER, W.: Umsetzung der Teil-

schlagtechnik und Erfassung der Qualität von teilschlagvariieren Applikationen, FAM J Abschlussbericht 2004.
[DEUMLICH u. STAIGER, 2002] DEUMLICH, F., STAIGER, R.: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, 9. Auflage, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
[HENNES, 2003] HENNES, M.: Systemeigenschaften von Robottachymetern im Nahbereich – Untersuchungen am Beispiel von Leica-Instrumenten, Flächenmanagement und Bodenordnung (FuB), 6/2003, S. 300–310.
[Institute for Navigation, 1997] Institute of Navigation Standards: Recommended test Procedures for GPS Receiver, ION STD 101, Alexandria, VA: ION.
[LEICA] Leica Geosystems Heerbrugg (Schweiz): GeoCOM / GeoBasic Reference Manuel, www.leica-geosystems.com.
[STEMPFHUBER, 2001] STEMPFHUBER, W.: Leistungsmerkmale von zielverfolgenden Tachymetern bei dynamischen Anwendungen, 54. DVW-Seminar, Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik in Fulda.

[STEMPFHUBER, 2002] STEMPFHUBER, W.: Kalibrierung GPS gestützter Positionsbestimmung in Precision Farming, 57. DVW-Fortbildungsseminar, GPS 2002: Antennen, Höhenbestimmung und RTK-Anwendungen in Karlsruhe.
[STEMPFHUBER, 2004] STEMPFHUBER, W.: Ein integritätswahrendes Messsystem für kinematische Anwendungen, Dissertation, eingereicht an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München.

Adresse der Autoren:

Dr.-Ing. WERNER STEMPFHUBER und Prof. Dr.-Ing. habil. THOMAS WUNDERLICH,
Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Lehrstuhl für Geodäsie (www.geo.bv.tum.de), Arcisstr. 21, D-80290 München

BUCHBESPRECHUNG

Fortsetzung von Seite 174

findet die Erwähnung von COSPAS/SARSAT statt, ohne dass eine nähere Erläuterung des Systems erscheint, wobei die Verwendung dieses System auf dem Notfallssektor in der Luft- und Schifffahrt dem INMARSAT-System (speziell dem Dienst E) mindestens ebenbürtig ist. Im achten und letzten Kapitel des Buches taucht als Neuerung das Unterkapitel 8.2.3 *Antennenkalibrierung* auf, das einen kurzen Einblick in die Thematik der relativen und absoluten Kalibrierung von GPS-Antennen gibt. Während die Inhalte im Anhang A: *Geodätische Referenzsysteme und -netze in Deutschland* sowie im Anhang B: *Terrestrische*

DGPS-Dienste in Deutschland im Wesentlichen nicht verändert wurden, wird in Anhang C nicht mehr nur das RINEX-Format behandelt, sondern es werden (endlich!) auch die Datenformate RTCM SC-104 und NMEA-0183 ausführlich erklärt und dargestellt. Betrachtet man das Zielpublikum, das mit diesem Buch erreicht werden soll und das sicherlich eher unter den Anwendern von GPS-Systemen (also den Praktikern) und den Studierenden zu suchen ist, ist gerade diese vollständigere Darstellung der wichtigsten Datenformate im Rahmen von GPS unbedingt nötig gewesen. Im Anschluss an den Anhang C folgt der Glossar mit einigen Begrifflichkeiten zur Thematik GPS mit einer en-

tsprechenden kurzen Erläuterung zu den jeweiligen Begriffen. Unmittelbar danach findet man das neu eingeführte Abkürzungsverzeichnis wieder, das die gebräuchlichsten Abkürzungen zum Thema GPS beinhaltet. Diese Trennung zwischen Glossar und Abkürzungsverzeichnis, deren Inhalte sich teilweise überschneiden (siehe ITRF), halte ich für nicht sehr gelungen, da ein kurzer erläuternder Satz zur eigentlichen Abkürzung oftmals hilfreicher ist, so dass zugunsten eines erweiterten Glossars, meiner Meinung nach, auf das Abkürzungsverzeichnis verzichtet werden kann. Die Zielsetzung des Buches erreichen die Autoren meiner Meinung sehr gut. Die neugestaltete Gliederung sowie

die inhaltlichen Ergänzungen, speziell zur Überführung von ellipsoidischen Höhen in Gebrauchshöhen, zur Antennenkalibrierung und der erweiterte Anhang C, um die wichtigsten Änderungen zu nennen, komplettieren das Werk in seiner fünften Auflage und sind in jedem Falle eine Bereicherung. Gewünscht hätte ich mir allerdings, dass bei einem Fachbuch, gerade wenn es grundlegende Bearbeitungen und Erweiterungen erfährt, neben der gründlichen Prüfung der Orthographie auch die Verweise zwischen den einzelnen Kapitel oder Unterkapiteln sorgfältig geprüft werden.

K. ZIMMERMANN, Darmstadt