Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 95 (1997)

Heft: 11

Artikel: Flächendeckende Submetergenauigkeit mit GPS : in der ganzen Schweiz ohne eigene Referenzstation

Autor: Müller, U. / Binsbergen, J. van

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235388

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.01.2026

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

Flächendeckende Submetergenauigkeit mit GPS

in der ganzen Schweiz ohne eigene Referenzstation

Ohne differentielle Korrektur erreichen Einzelpositionsbestimmungen mit GPS nur eine Genauigkeit von ca. ± 100 m. Im Folgenden werden die heute möglichen Verfahren und Systeme vorgestellt, um die Submetergenauigkeit in Echtzeit zu erreichen. Resultate von ausführlichen Testmessungen über das ganze Gebiet der Schweiz dokumentieren den heutigen Stand verschiedener Korrekturdienste.

La détermination unique d'une positiom par GPS, sans correction différentielle, n'atteindra qu'une précision d'environ ±100 m. Ci-après, seront présentés les systèmes et procédés qui permettent d'atteindre, en temps réel, une précision inférieure au mètre. Les résultats de mesures test détaillées sur l'ensemble du territoire suisse montrent l'état actuel des différents services de correction.

Senza una correzione differenziale, la determinazione dei singoli posizionamenti GPS permette di ottenere una precisione che si aggira solo all'incirca a ± 100 m. Nell'articolo qui di seguito si presentano i processi e i sistemi attualmente praticabili per pervenire in tempo reale a una precisione submetrica. I risultati di dettagliati test di misura, effettuati sull'insieme del territorio svizzero, documentano lo stato attuale dei diversi servizi di correzione.

U. Müller, J. van Binsbergen

1. Allgemeines

Das Global Positioning System (GPS) wurde vom amerikanischen Militär entwickelt und bis heute betrieben. Dem zivilen Nutzer ist ein weltweites, kostenloses Benutzungsrecht mit Einschränkungen zugesichert. Diese Einschränkungen betreffen den zivilen Anwender in zwei Bereichen, der verschlechterten Positions- und der Zeitgenauigkeit.

Der Systembetreiber ist zur Zeit nicht gewillt, die volle Echtzeit-Systemgenauigkeit von ca. ± 10 m allen Anwendern zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grunde werden die ausgestrahlten Satellitenbahndaten künstlich, unregelmässig verfälscht sowie der Code laufend manipuliert. Als Ergebnis resultiert eine Punktgenauigkeit einer Einzelmessung von ca. ± 100 m.

2. Welche Möglichkeiten stehen zur Verbesserung der GPS-Genauigkeit zur Verfügung?

Diese relativ schlechte Genauigkeit mag für die Navigation auf hoher See wohl genügen, befriedigt die Bedürfnisse für die Landnavigation und Vermessung jedoch in keiner Weise. Normalerweise begrenzen sich die Bedürfnisse geographisch auf wenige zehn bis 100 km Ausdehnung. Setzen wir diese Distanzen in Relation zur Satellitenflughöhe von ca. 22 000 km, so sehen wir leicht, dass die künstlichen Verfälschungen über dieses relativ kleine Gebiet die gleichen Auswirkungen haben. Betreibt man in diesem Gebiet eine zweite, stationäre GPS-Messstation (Referenzstation), kann man davon ausgehen, dass die im Sekundenintervall registrierten Daten und die daraus abgeleiteten Pseudodistanzen zu den einzelnen Satelliten für alle anderen in dieser Zone betriebenen GPS-Empfänger zur Genauigkeitsverbesserung genutzt werden können.

3. Welche Echtzeit-Korrekturarten gibt es?

Die Korrekturdaten sowie auch die Schnittstellen an den Geräten sind weltweit durch die RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) normiert. Für die Korrekturdatenausstrahlung werden vorwiegend die beiden Typen RTCM SC 104, Versionen 2.0 und 2.1 verwendet. Die beiden Versionen unterscheiden sich gravierend. Bei der Version 2.0 werden nur Code-Korrekturen für eine Frequenz übermittelt. Damit wird eine Genauigkeit im Submeter-Bereich erreicht bei einer Übertragungsrate ab 100 bit/s. Das Korrektursignal einer Referenzstation kann ohne merkbaren Genauigkeitsverlust über einige hundert Kilometer verwendet werden. Bei der Version 2.1 werden die Phaseninformationen von beiden Messfrequenzen übertragen. Dieses Verfahren ist zur Zeit nur für relativ kurze Distanzen bis ca. 20 km anwendbar; es resultieren jedoch cm-Genauigkeiten bei einer Übertragungsrate von mind. 2000 bit/s. Das von der L+T sich in Entwicklung befindende «Automatische GPS-Netz Schweiz» (AGNES) ist in diesem Bereich anzusiedeln. Im weiteren beschränken wir uns auf die Genauigkeitssteigerung mit Code-Lösungen über grössere Distanzen.

Wir stehen vor dem Problem, das im Sekundenintervall bei der stationären Referenzstation generierte Korrektursignal dem mobilen Nutzer zu übermitteln. Die Möglichkeiten mit eigenen Datenfunkanlagen betrachten wir hier nicht weiter, denn diese beschränken sich auf einige Kilometer Einsatzdistanz und setzen zudem einen zweiten, leistungsstarken GPS-Empfänger voraus (eigene Referenzstation).

4. Welche Korrekturdienste gibt es?

Zur Zeit stehen in Mitteleuropa folgende grossflächigen Dienste in der Testphase oder im Regelbetrieb:

- RDS betrieben durch L+T/Telecom (Testbetrieb)
- ALF betrieben durch Detex, Deutsche Telecom (Regeldienst)
- Beacon betrieben duch die Schifffahrtsbehörden (Regeldienst)
- Satellit, geostationäre Satelliten, mehrere Anbieter (Regeldienst)
- AMDS betrieben durch terra vermessungen ag / Geosurvey GmbH / TU Dresden / Telecom / SWF / Deutschlandradio (Testbetrieb).

Alle oben erwähnten Dienste bieten das gleiche standardisierte Korrektursignal. Als Betreiber eines differentialfähigen GPS-Empfängers (ab ca. Fr. 400) können sie das für sie geeignetste auswählen. Um diesen Entscheid leichter fällen zu können, betrachten wir die einzelnen Systeme etwas genauer.

4.1 RDS (Radio Data System)

RDS wurde für die digitale Datenübertragung für UKW entwickelt. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, die Senderinformationen auf dem Display des Radios anzuzeigen und z.B. im Auto jeweils den stärksten Sender einer Sendekette auszuwählen. Selbstverständlich können auch beliebige, digitale Daten übertragen werden. Es steht in der Regel kein eigener Kanal zur Verfügung, deshalb wird die Datenrate auf 56 bit/s (1.5 Gruppen/s) beschränkt. Der Rest muss für andere Dienste freigehalten werden. Dank Datenkompression und anderen Optimierungen genügt dies für die Aktualisierung des gewünschten Korrektursignals alle zwei bis drei Sekunden.

Die Übertragung erfolgt im UKW-Bereich, das heisst die Ausbreitungscharakteristik ist ähnlich wie bei sichtbarem Licht. In relativ flachen und somit durch UKW gut abgedeckten Zonen ist der Empfang gut. Für eine flächenhafte Abdeckung des topographisch sehr schwierigen Alpenraumes werden jedoch einige hundert Umsetzstationen notwendig sein. Dies setzt der wirtschaftlichen Betreibung eines Regeldienstes enge Grenzen, zumal für die Abdeckung einer gewissen Sicherheit ein zweites, unabhängiges System zur Verfügung stehen sollte.

Als Testbetrieb bietet die L+T/Telecom dieses Verfahren in der Schweiz mit einer z.Z. noch stark eingeschränkten Flächendeckung (ohne Alpenraum und Südschweiz) an. Die Empfänger und Decoder können gekauft werden. Für die Benützung des Dienstes muss eine Gebühr entrichtet werden.

4.2 ALF

ALF (Accurate positioning by Low Frequency) wurde in Deutschland vom IFAG (Institut für Angewandte Geodäsie) in Frankfurt entwickelt und wird von der DETEX, einer Tochtergesellschaft der deutschen Telekom, betrieben. Als Sendestation wird ein Langwellensender in Mainflingen bei Frankfurt ausschliesslich für die Übertragung dieses Korrekturdienstes verwendet. Da der ganze Datenkanal zur Verfügung steht, wird das komplette Korrektursignal alle zwei bis drei Sekunden übertragen.

Die Reichweite des Senders wird mit ca. 600 km angegeben. Dies trifft für flache Zonen zu, wird aber duch die topographisch ungünstigen Verhältnisse im Alpenraum stark eingeschränkt. Das System bietet ebenfalls keine Redundanz, da nur ein Sender zur Verfügung steht.

Das System wird als Regelbetrieb angeboten. Die Empfänger werden inklusive einer einmaligen Nutzungsgebühr verkauft.

4.3 Beacon

Die Beacon-Sender wurden von der amerikanischen Küstenwache entwickelt. Sie dienen der Genauigkeitssteigerung der GPS-Navigation im Küsten- und Hafenbereich. Das System hat weltweite Verbreitung gefunden. Die Sender verbreiten die Signale im LW-Bereich und haben eine Reichweite von ca. 70–200 km. Bis Mitte 1998 sollte auch der schiffbare Rhein von Holland bis Basel mit diesen Sendern bestückt werden.

Diese Dienste werden kostenfrei angeboten, da sie der Erhöhung der Sicherheit dienen. Die GPS-Gerätehersteller integrieren die Beacon-Empfänger heute teilweise standardmässig in die GPS-Antennen. Mit einigen hundert Franken Zusatzkosten ist so ein System mit hoher Genauigkeit erhältlich. Leider werden die Beacon-Sender unser Gebiet nie flächendeckend bedienen und werden somit für die Schweiz nie eine echte Alternative sein.

4.4 Korrektursignal via Satellit

Einige Systembetreiber bieten ihre Dienste über geostationäre Satelliten an. Bei diesem Verfahren ist der «Sichtkontakt» zwischen Satellit und GPS-Anwender zwingend erforderlich. Dadurch werden viele kinematische, also bewegte Anwendungen stark erschwert.

Als zusätzliche Einschränkung muss wieder einmal die ungünstige Topographie im Alpenraum erwähnt werden. Die geostationären Satelliten für unseren Raum stehen alle im Süden etwa 35° über dem Horizont. Im Berggebiet ist dadurch der Empfang vielfach unmöglich.

Als Vorteil darf die sehr gute Redundanz erwähnt werden. Verteilt über ganz Europa werden bei einigen Systembetreibern die Daten von bis zu acht Referenzstationen übermittelt. Dadurch wird nicht nur die Sicherheit erhöht, sondern auch die Genauigkeit, denn in den Empfängern werden alle empfangenen Daten zur Berechnung der aktuellen Position genutzt.

Die Systeme werden als Regeldienste betrieben. Die Empfänger können gekauft werden, die Benutzungsgebühren werden in der Regel pauschal abgerechnet. Die Gebühr für einen Empfänger beträgt z.Z. jährlich ca. Fr. 1600.–.

4.5 AMDS

Die Übertragung mit AMDS (Amplituden Moduliertes Daten System) wurde im Wesentlichen von der Technischen Universität Dresden in Zusammenarbeit mit Bosch entwickelt. AMDS dient zur digitalen Datenübertragung auf Mittel- und Langwelle bei Rundfunksendern. Diese haben eine ganz ausgezeichnete Ausbreitungscharakteristik auch in topographisch schwierigem Gelände. Der Empfang ist somit auch in Bergtälern möglich. In Gebieten mit Mittelwellen-Radio-Empfang (in der Schweiz Radio Beromünster

auf 531 kHz oder S4 auf 666 kHz, Südwestfunk Baden-Baden) ist auch bei schlechtem Tonempfang das GPS-Korrektursignal noch verwendbar. In Deutschland und Norwegen sind vier weitere Lang- und Mittelwellensender mit Referenzstationen zu Testzwecken bestückt worden. Da die Reichweite der Langwellensender über 1000 km beträgt, sind diese Signale auch in der Schweiz nutzbar.

Da vor allem die Mittelwelle in den letzten Jahren vernachlässigt wurde, sind auch die technischen Verfahren von den Entwicklern in diesem Bereich meist nicht weiter verfolgt worden. Heute ist aber ein Gesinnungswandel spürbar und es wird wieder akzeptiert, dass nicht alles in der höchst möglichen Stereo-Qualität ausgestrahlt werden muss. Es steht zur Zeit die ganze Bandbreite des AMDS, mit 136 bit/s, für die Übertragung des Korrektursignals zur Verfügung. Ohne Datenkomprimierung und Optimierung kann das gesamte Telegramm im Zwei- bis Drei-Sekunden-Intervall übermittelt werden.

Die zu benützende Referenzstation (Rundfunkfrequenz) kann am Empfangsgerät manuell ausgewählt werden oder der Empfänger wählt automatisch den Sender mit dem stärksten Signal. Bei Ausfall eines Korrektursenders kann so problemlos ein « Ersatzsender» gewählt werden, was die Sicherheit spürbar erhöht.

Als Testbetrieb bietet die terra vermessungen ag diesen Dienst in der Schweiz an. Die Empfänger können zur Zeit noch nicht gekauft werden, stehen jedoch für Testmessungen zur Verfügung. Mit einem Regelbetrieb kann, sofern die zuständigen Instanzen in der Schweiz die notwendigen Bewilligungen erteilen, Anfang 1998 gerechnet werden.

5. Vergleichsmessungen in der Schweiz

Welcher Korrekturdienst gewählt werden soll, hängt in erster Linie von den Anforderungen des Benützers und den topographischen Verhältnissen, d.h. von den Empfangsmöglichkeiten ab. Um einen Überblick der Empfangsmöglichkeiten und Empfangsqualitäten zu erhalten hat die terra vermessungen ag im Juli/August 97 umfangreiche Testmessungen über das ganze Gebiet der Schweiz durchgeführt. Als Testpunkte stellte uns die Landestopographie freundlicherweise 31 Punkte des zwangsfreien LV 95 Netzes zur Verfügung. Bei allen Punkten wurden simultan Messungen mit zwei Trimble Pathfindern Pro XR durchgeführt. Diese Geräte liefern dank Trägerphasenmessung und der hochentwickelten Software sehr zuverlässige und genaue Ergebnisse. Um aussagekräftige und vergleichbare Resultate zu erhalten wurden immer zwei Systeme gleichzeitig betrieben. Damit sind eine identische Satellitenkonstellation, gleicher HDOP und gleiche Meteorologie gewährleistet. Die Trimble Geräte waren mit der neusten Multi-Path-Rejection-Software (Everest) ausgerüstet, welche eine Zuverlässigkeit der Resultate von 99.9% garantiert.

Die Messausrüstung ist in Abb. 1 sichtbar. Mit der Fahrzeugantenne links in der Umhängetasche wurde das RDS-Korrektursignal empfangen, mit der GPS-Antennenhalterung rechts (ohne eigentliche Rundfunkantenne) das AMDS-Signal. Bei schlechterem AMDS-Empfang in schwierigem Gelände oder bei grossen Distanzen zur Referenzstation (einige hundert Kilometer) kann die Antennenhalterung durch eine ca. 70 cm lange Flexantenne vergrössert werden. Dies verstärkt die Empfangsqualität spürbar. Beim ALF-System wurde die werkseitig gelieferte Rundempfangsantenne verwendet.

Abb. 1: Zwei Trimble Pathfinder Pro XR während der Testmessungen.

Die Speicherung der Messdaten erfolgte im Sekundenintervall während 240 Sekunden für jedes real-time System einzeln. Welche Korrekturdienste bei welchen Punkten empfangbar waren, ist aus der Graphik (Abb. 2) ersichtlich. Im Mittelland und der Nähe der Sender oder Umsetzer wurden keine Testmessungen ausgeführt, da in diesen Zonen die Empfangsqualitäten sehr gut sind. Ziel der Testmessungen war die Kontrolle der Senderreichweiten mit im praktischen Einsatz verwendbaren Antennen. Tests mit gerichteten Antennen wurden bewusst nicht durchgeführt, da diese für die meisten Anwendungen nicht eingesetzt werden können.

Aus der Graphik (Abb.2) ist leicht ersichtlich, dass das AMDS System zweifelsfrei die grösste Flächendeckung in der Schweiz erreicht.

6. Kinematische Messungen mit AMDS (Auto und Flugzeug)

Von Interesse war auch die Empfangsqualität bei kinematischen Messungen mit dem AMDS System. Testmessungen mit einem in ein Auto eingebautes und an der normalen Fahrzeugradioantenne angeschlossenes AMDS System zeigten lückenlosen Empfang während der ganzen Testmessungen.

Selbst Testmessungen in der Stadt Zürich im laufenden Verkehr und unter Fahrleitungen des öffentlichen Verkehrs zeigten sehr gute Resultate.

Der Flugdienst der Vermessungsdirektion zeigte ebenfalls Interesse an einem Korrektursignal im Alpengebiet und in der Südschweiz für präzise Photoflüge oder präzise Navigation für Laserscanning Flüge. Die VD erlaubte uns das AMDS System während eines Fluges an das Leica Ascot Flugnavigationssystem im Flugzeug einzubauen. Der erste Teil des Fluges startete in Dübendorf, überquerte das Gott-

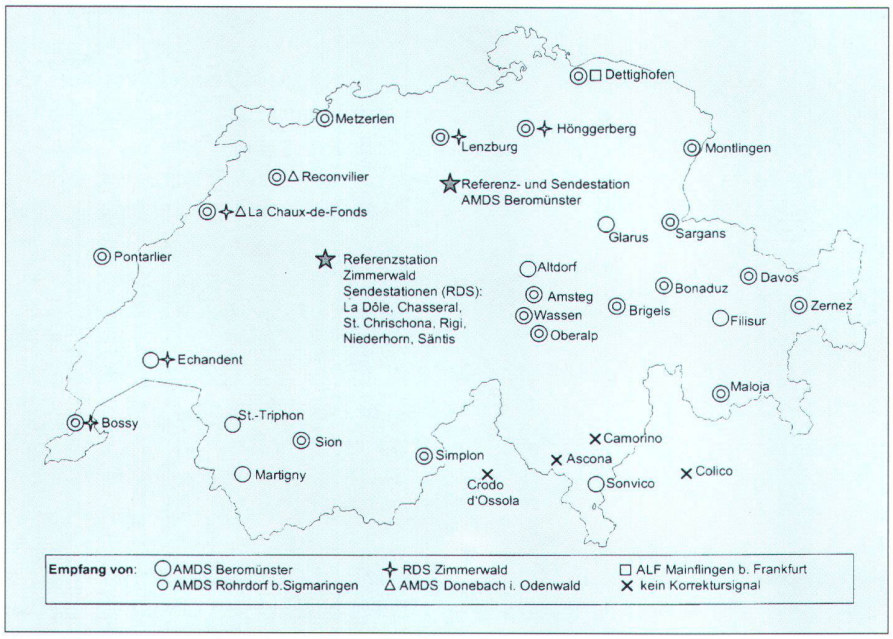


Abb. 2: Korrektursignalempfang in der Schweiz.

hardmassiv auf ca. 4600 m über Meer und endete beim Flughafen Agno. Der zweite Teil führte im Sichtflug von Agno über den Nufenen, Aletschgletscher, Berner Oberland, Flugplatz Emmen zurück nach Dübendorf. Der Empfang des Korrektursignals war während des ganzen Fluges einwandfrei.

7. Genauigkeitsbetrachtungen

Bei den Testmessungen konnten 28 LV95 Punkte mit bekannten Koordinaten im CH1903+ Koordinatensystem und drei weitere Punkte (Pontarlier F, Martigny VS und Camorino TI) gemessen werden. (Abb.2) Damit können die mit DGPS bestimmten Koordinaten mit sehr genauen Sollkoordinaten über das ganze Gebiet der Schweiz verglichen werden. Auf allen Punkten überprüften wir die Empfangsqualität folgender Referenzstationen bzw. Korrektursender:

- RDS Zimmerwald (bei Bern)
- AMDS Beromünster (LU)
- AMDS Rohrdorf (D, Bodenseesender)
- AMDS Donebach (Mitteldeutschland)
- ALF Mainflingen (bei Frankfurt).

Für jeden empfangenen Korrektursender registrierten wir bei jedem gemessenen Punkt 240 dreidimensionale Positionen im Sekundenintervall. Die Einzelpositionen wurden gemittelt und die absolute Differenz zu den LV95 Koordinaten berechnet. In einem weiteren Arbeitsschritt ermittelten wir die Streuung der 240 Einzelmessungen gegenüber dem Mittel. Die Differenzen aller Messungen sind als Beispiel in Abb. 3 punktweise als Plot dargestellt. Ausreisser innerhalb der 240 Einzelmessungen wurden während der ganzen Messkampagne keine festgestellt. Die geplotteten Einzelpositionen zeigen, wie der GPS-Empfänger seine Korrekturen selbständig extrapoliert bis er ein neues Korrektursignal erhält und dann sofort in die Nähe des Schwerpunktes der Einzelmessungen zurückspringt.

Nebst der Qualität und dem Alter des Korrektursignals wird die Streuung auch massgeblich vom GPS Empfänger selbst beeinflusst. Durch die Berechnung des Korrekturwertes bei der Referenzstation, der Übertragung über die Funkstrecke, den Empfang und die Verarbeitung im lokalen GPS-Empfänger treten Verzögerungen von einigen Sekunden auf. Zusätzlich extrapoliert der GPS-Empfänger, falls kein aktuelles Signal zur Verfügung steht, die alten Korrekturwerte über einen definierbaren Zeitraum. Bei unseren Testmessungen setzten wir eine Abbruchschranke für die Extrapolation des Korrekturwertes von 20 Sekunden.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Korrektursysteme ist kein statistisch nachweisbarer Genauigkeitsunterschied feststellbar. Das heisst, für die Genauigkeit spielt es keine Rolle, welches Signal empfangen wird.

Frühere Testmessungen zeigten sehr ähnliche Resultate. Für den praktischen Gebrauch muss der Anwender also nur darauf achten, ob das Korrektursignal am gewünschten geographischen Ort kontinuierlich empfangbar ist oder nicht.

Mit dem Korrektursender Beromünster konnten zweifelsfrei am meisten Messungen durchgeführt werden. Nach vier Minuten Messzeit zeigten sich durchschnittliche, absolute Abweichungen zu den LV 95 Punkten von:

- m_{xY} = 0.65 m, lagemässig
- $m_{Höhe}$ = 1.16 m, höhenmässig

Die erreichten Genauigkeiten sind selbstverständlich auch vom verwendeten GPS-Gerät abhängig. Mit einem reinen Code-Empfänger sind die hier dargestellten Genauigkeiten nicht erreichbar.

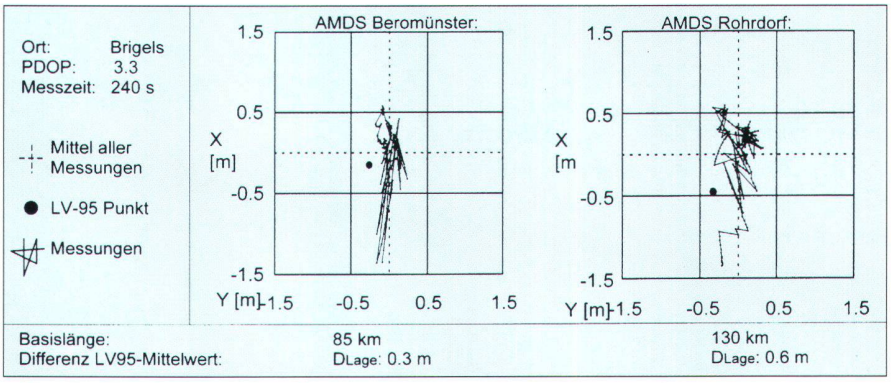


Abb. 3: Plot der 240 Einzelmessungen.

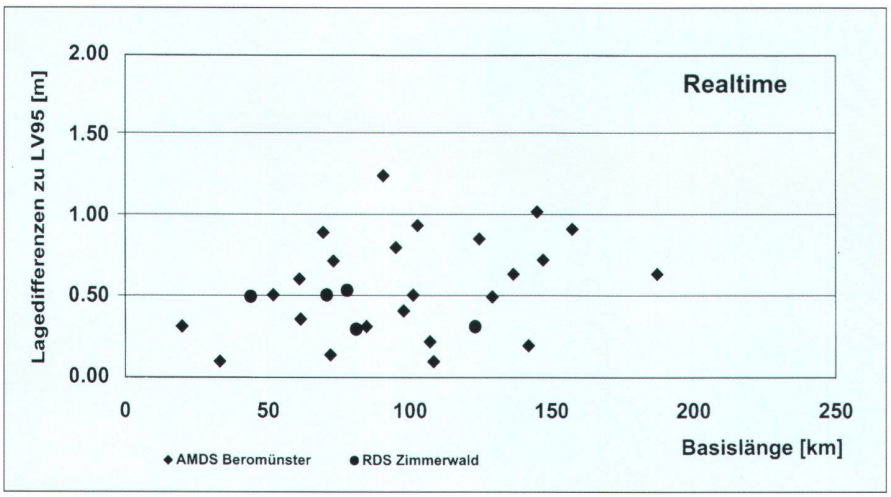


Abb. 4: Lagedifferenzen in Abhängigkeit der Basislänge.

Länge der Basislinien

Interessant ist nun aber auch, ob und wie die Genauigkeit von der Länge der Basislinien abhängt. Dazu wurden alle Lagedifferenzen der RDS- und AMDS Beromünster Messungen in Abhängigkeit von der Basislänge aufgezeichnet. Die Differenzen stellen wieder absolute Abweichungen zu den LV95-Koordinaten dar (Abb. 4).

Es kann keine eindeutige Abhängigkeit erkannt werden. Das entspricht auch den Erwartungen, da die Realtimelösung auf einer Code-Auswertung beruht und somit, (nach Hersteller Trimble) nur einem minimen Genauigkeitsverlust bei zunehmender Basislänge unterliegt. Das heisst, dass selbst für Anwendungen im Submeterbereich problemlos mit Referenzstationen in einigen hundert Kilometer Entfernung gearbeitet werden kann (Ausnützung der Raumwellen bei MW).

Sehr wichtig ist, dass nur GPS-Signale von Satelliten verwendet werden, für die auch Korrekturwerte von der Referenzstation berechnet und geliefert werden. Dies ist in der Regel bis ca. 1000 km Distanz zur Referenzstation gewährleistet, sofern für die Positionsbestimmung nur Satelliten verwendet werden, die höher als 10° über dem Horizont stehen.

8. Postprocessing

Falls eine genauere Auswertung gewünscht wird oder kein Korrektursignal empfangen werden kann, besteht die Möglichkeit eine nachträgliche Auswertung durchzuführen. Dazu werden die Daten einer Referenzstation benötigt. Statt eine eigene Referenzstation zu betreiben besteht schon heute die Möglichkeit, die Daten der Referenzstation Zimmerwald zu nutzen. Diese können beim Bundesamt für Landestopographie, bezogen werden.

Schon bei einer Code-Auswertung wird eine leichte Genauigkeitsverbesserung erreicht, da die Referenzdaten im Sekundenintervall zeitsynchron zur Verfügung stehen und nicht wie bei Realtime, durch die Übertragungs- und Verarbeitungszeit eine Veralterung aufweisen.

Bei entsprechenden Empfängern und geeigneter Software können zudem Phasenauswertungen berechnet werden. Damit kann durch erhöhte Beobachtungsdauer eine Genauigkeitssteigerung erreicht werden. Die Phasenauswertung ist jedoch stärker von der Basislänge abhängig als reine Codeauswertungen.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Beobachtungsdauer sowie der Basislängen wurden einige Messungen mit unterschiedlichen Basislängen und verschiedenen Beobachtungszeiten mit der Pathfinder Office Software von Trimble ausgewertet. Die genauer untersuchten Basen zeigen Längen von 7, 30, 52, 88 und 151 Kilometer. Die Auswertereihen starten bei jeweils 30 Sekunden Messzeit und erhöhen sich jeweils um 30 Sekunden bis zur Maximalzeit von zehn Minuten. Die berechneten Differenzen zu den absoluten LV95 Koordinaten sind in Abb. 5 für eine Basislänge von 52 km, getrennt nach Lage und Höhe, aufgezeichnet.

Es ist klar ersichtlich, dass schon bei einer Beobachtungszeit von ca. vier Minuten, die absolute Lage- und Höhendifferenz unter 25 cm liegt. Bei einer Beobachtungszeit von acht Minuten und länger, liegen die Differenzen zur Sollkoordinate sogar unter 15 cm.

Eine Gesamtauswertung der Lagedifferenzen für fünf unterschiedliche Basislängen zwischen sieben und 151 km ist in Abb. 6 dargestellt.

Setzt man den geringen Messaufwand und die minimalen Instrumentenkosten in Relation zu den erreichten Genauigkei-

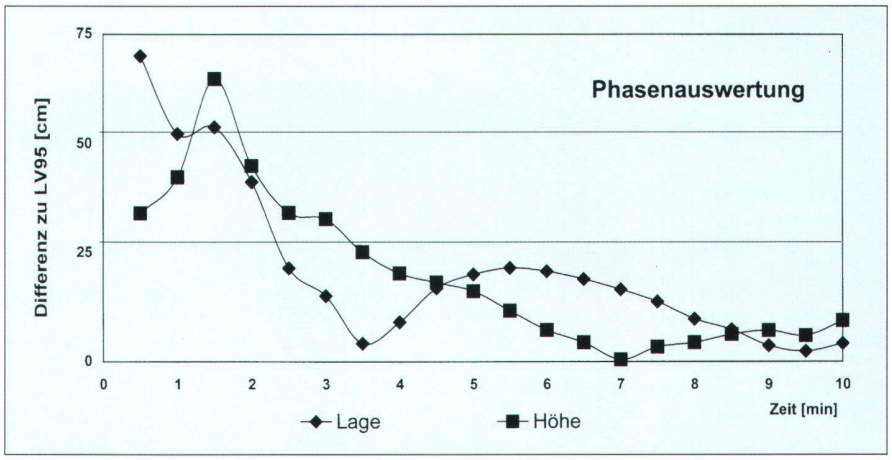


Abb. 5: Differenzen in Abhängigkeit der Messzeit. Basislänge 52 km, Zimmerwald–La Chaux-de-Fonds.

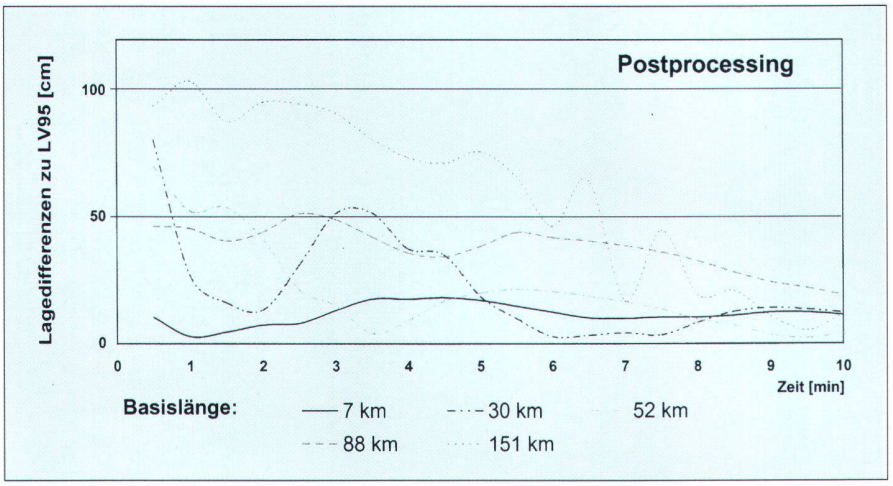


Abb. 6: Differenzen in Abhängigkeit der Messzeit. Unterschiedliche Basislängen.

ten, ist erstaunlich, dass dieses Messverfahren noch keine grössere Verbreitung gefunden hat.

9. Schlussbemerkungen

Nebst der Genauigkeit und der flächendeckenden Verfügbarkeit des Korrektursignals, muss auch die Wirtschaftlichkeit eines Systems im Auge behalten werden. Hier bieten die bestehenden Lang- und Mittelwellensender des Hörfunks die besten Möglichkeiten, da die ganze Infrastruktur schon vorhanden und die digitale Datenübertragungskapazität dieser Sender bis heute ungenutzt ist. Als weiteren positiven Aspekt darf die gute Ausbreitungscharakteristik der Mittel- und Langwellenübertragung auch im topographisch schwierigen Gelände des Alpenraumes nicht ausser acht gelassen werden.

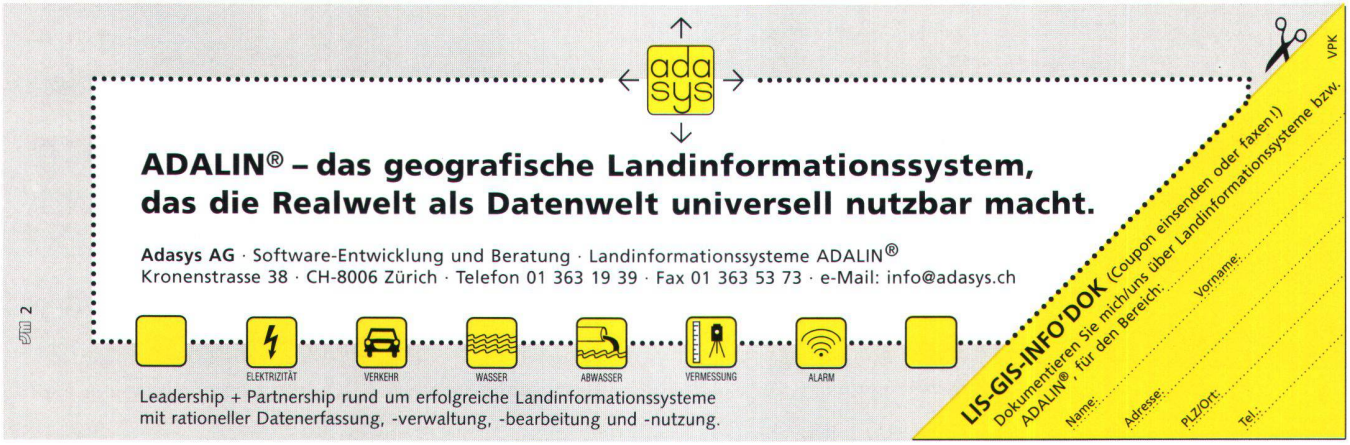
Die Testmessungen zeigen, dass mit dem Mittelwellensender Beromünster, fast die ganze Schweiz mit dem Korrektursignal abgedeckt wird. Nur im Tessin (Magadinoebene) war der AMDS-Empfang teilweise ungenügend. Trotz der schwierigen Topographie wurden mit relativ geringem Aufwand sehr gute Resultate erreicht. Von insgesamt 31 Punkten (Abb. 2) konnten lediglich vier mit AMDS-Korrekturen nicht gemessen werden. Davon liegt einer (Colico, I) im Bereich eines italienischen Senders, der den GPS-Empfang verunmöglichte.

Für einen problemlosen Empfang von Korrekturdaten auch südlich der Alpen wäre es sinnvoll, den Mittelwellensender Monte Ceneri ebenfalls mit einer Referenzstation zu bestücken. Damit könnte eine 100% Flächendeckung, mit minimalem Aufwand, über das ganze Gebiet der Schweiz erreicht werden.

Die umfangreichen Testmessungen zeigen klar, dass die Übertragung der Korrekturdaten mit Hilfe von AMDS problemlos funktioniert und praktisch nutzbar ist. Für die Einführung eines Regeldienstes fehlt zur Zeit einzig die Konzessionserteilung durch die entsprechenden Bundesstellen. Wir hoffen sehr, auch diese Hürde in den nächsten Monaten zu überwinden, damit möglichst rasch viele Anwender aus den neuen Möglichkeiten Nutzen ziehen können.

Die detaillierten Unterlagen und Testmessungen stehen für Interessierte in unseren Büros zur Verfügung.

Dank

Wir möchten uns hiermit bei allen, die zur Durchführung dieser Versuchsmessungen beigetragen haben, herzlich bedanken. Es sind dies: Telecom mit dem Sender Beromünster, SWF mit dem Sender Rohrdorf, TU Dresden / Bosch Hildesheim mit den MW-Modulatoren und den Empfängern, der L+T für die LV95 Koordinaten und den RDS-Empfänger und der VD für den Empfangstest während eines Fluges.

U. Müller, dipl. Ing. HTL / STV / EUR ING
J. van Binsbergen, dipl. Ing. HTL
terra vermessungen ag
Obstgartenstrasse 7
CH-8035 Zürich