

# Global Positioning System (GPS) – Vergleich und Analyse verschiedener Messverfahren in Theorie und Praxis

Martin LADNER und Armin HELLER

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“  
angenommen.*

## Zusammenfassung

Aus den Anforderungen des Naturgefahrenmanagements der ÖBB Infrastruktur AG (im Folgenden nur noch ÖBB genannt) zur Sicherung der Eisenbahninfrastruktureinrichtungen vor Naturgefahren entstand die Notwendigkeit der Überprüfung und Instandhaltung der ÖBB-eigenen Schutzeinrichtungen (z. B. Verbauungen). Im Rahmen dieser Anforderungen dienen GPS-Messungen der Ableitung von gefahrenrelevanten Parametern. Im Hinblick auf Zeit-, Kosten- und Aufwandsabschätzungen im Verhältnis zur erreichbaren Messgenauigkeit von GPS-Messungen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen werden in dieser Arbeit verschiedene Empfänger, Antennen, Rahmenbedingungen und vielfältige technische Möglichkeiten zur Genauigkeitssteigerung analysiert und qualitativ verglichen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse soll die Datenerfassung und Auswertung von GPS-Messungen kostengünstig und effektiv durchgeführt werden können.

## 1 Grundlagen

Ein Grundwissen über Schutzbauten ist für ein Verständnis der Zielsetzung dieser Arbeit notwendig. Als weitere Voraussetzung werden die Referenzsysteme erläutert. Anschließend erfolgt eine kurze Einführung in die Thematik des GPS.

### 1.1 Schutzbauten

Die Schutzbauten der ÖBB dienen der Absicherung der Bahnanlagen gegen Naturgefahren. Gefahr ist ein Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden entstehen kann (EGLI 1996, S.15). Im Allgemeinen bezeichnet man Naturgefahren als Gefahren für Menschen, Sach- und Naturwerte, welche sich aus der Bewegung von Wasser-, Schnee-, Erd- und Felsmassen im Bereich der Erdoberfläche ergeben (BUWAL 1998, S. 31). Ein (natürlicher) Prozess stellt in seiner Grunddisposition für den Menschen keine Gefährdung dar. Dabei können rasche oder langsam verlaufende natürliche Prozesse, welche durch Georeliefmerkmale (z. B. Hangneigung), Eis, Schnee, Wasser und/oder Substrat bzw. Boden bedingt sind, ausgelöst oder gefördert werden, durch räumlichen Umfang, Reichweite und Plötzlichkeit zur Naturgefahr werden (LESER et al. 2005, S. 595). Somit können die Prozesse Lawine, Murgang, Hochwasser, Rutschung, Hangmure, Steinschlag und Felssturz für die

Bahnkörper als relevant betrachtet werden. Zu den zahlreichen Schutzbauwerken zählen z. B. Seilsperrren, Geschiebeauffangbecken, Schwellenwände usw.

Für die laufende Wartung und Pflege der Schutzbauten ist das Naturgefahrenmanagement der ÖBB zuständig. Auf Grundlage einer Verortung können die Bauwerke in einem Geographischen Informationssystem erfasst, kategorisiert und klassifiziert werden. In Verbindung mit weiteren Informationen, wie zum Beispiel einer Photodokumentation oder Daten über den Objektzustand, ist es möglich, Maßnahmen und Einsätze effizient zu planen. Auf Grundlage dieser Daten kann anschließend die Wartung der Bauwerke dokumentiert werden und eine Bewertung des Gefahren- bzw. Risikopotenziales erfolgen.

## 1.2 Referenzsysteme

Weltweit existieren viele unterschiedliche Referenzsysteme, weshalb die mit Satellitennavigationssystemen gemessene und berechnete Position nicht zwangsläufig mit der zu erwartenden Position übereinstimmt. Die natürliche Lotrichtung in einem Punkt trifft nicht senkrecht auf das mathematisch definierte Rotationsellipsoid, sondern auf das Geoid. Sie fällt damit nicht mit der Ellipsoidnormale zusammen. Damit unterscheiden sie sich durch die Lotabweichung, weshalb die Punkte der Erdoberfläche falsch projiziert werden. Um diese Abweichung möglichst klein zu halten, hat jedes Land ein angepasstes Rotationsellipsoid als Bezugsfläche für Vermessungsaufgaben erstellt. Mit dem Ellipsoid wird versucht, das Geoid möglichst gut zu beschreiben. Aufgrund der Tatsache, dass Ellipsoide nur für einzelne Bereiche passen, gibt es viele verschiedene Referenzellipsoide und damit auch Kartenbezugssysteme (ZOGG 2009, S. 20ff).

Das in Österreich verwendete nationale Referenzsystem baut auf der Triangulierung des Militärgeographischen Institutes (MGI) auf. Mit einer österreichweiten 7-Parameter-Helmert-Transformation kann bei den Lagekomponenten (horizontal) mit einer Abweichung von 1,5 m gerechnet werden. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) bietet globale Transformationsparameter kostenlos zum Download an. Mit kostenpflichtigen Parametern kann je nach Maßstab eine Abweichung von  $< 0,1$  m erreicht werden (DÖLLER, HÖGGERL & AHRER 1996).

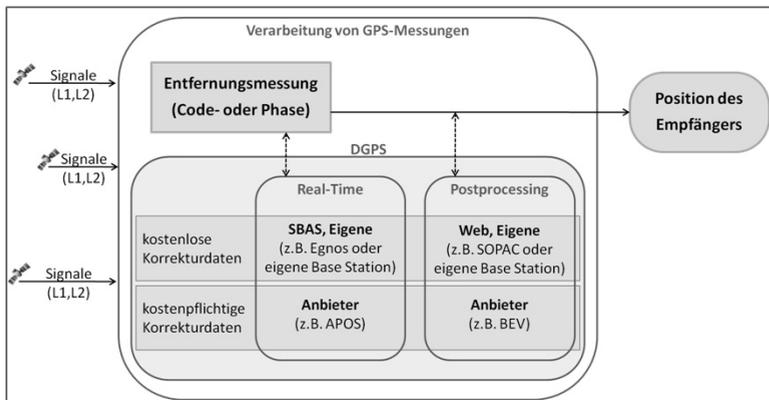
## 1.3 GPS-Messungen

Entsprechend der Aufgabenstellung werden nur statische Positionsbestimmungen mittels Navigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR-GPS), im Folgenden nur noch mit GPS bezeichnet, behandelt.

Die Entfernung zwischen Satellit und GPS-Empfänger wird mit der Code- oder der Phasenmessung bestimmt. Die Codemessung basiert auf dem Prinzip der Laufzeitmessung der Signale zwischen den Satelliten und dem Empfänger. Sowohl der Satellit als auch der GPS-Empfänger erzeugen die gleichen Pseudo-Zufallscodes (PRN-Codes) zu exakt der gleichen Zeit. Durch die schrittweise Anpassung des intern erzeugten Signals an das empfangene Signal wird die Laufzeit und damit die Entfernung bestimmt (MANSFELD 2010, S. 137f) (BRAUN 2007, S. 10). Bei der aufwändigeren, jedoch deutlich genaueren Phasenmessung werden die Phasen der Satellitensignale ausgewertet. Sie könnten als genaue Streckenmessungen interpretiert werden, wenn man wüsste, wie viele ganze Wellenzüge sich auf der Strecke vom Empfänger zum Satelliten befänden (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND

GEODÄSIE 2009). Sind die Entfernungen von mehreren Satelliten bekannt, so kann die aktuelle Position durch Trilateration (Entfernungsbestimmung mithilfe von Streckenmessungen von drei bekannten Punkten) bestimmt werden. Mit mindestens drei Satelliten kann der GPS-Empfänger damit seine Position auf der Erdoberfläche (zweidimensional) bestimmen. Bei vier oder mehr Signalen ist die absolute Position im Raum (Länge, Breite, Höhe und Zeit) bestimmbar (KÖHNE & MICHAEL 2009).

Für die Genauigkeit der Messergebnisse spielen viele Faktoren, wie die Messdauer, die Satellitenkonstellation (ausgedrückt durch die Dilution of Precision (DOP)), aber auch die Umgebungsbedingungen im Umfeld des GPS-Empfängers eine entscheidende Rolle.



**Abb. 1:** Ablaufschema zur Positionsbestimmung (eigener Entwurf)

Durch differenzielle GPS-Messungen (DGPS) kann die Lagegenauigkeit von Messergebnissen erhöht werden. Dabei misst ein zweiter GPS-Empfänger als Referenzstation auf einem Punkt mit bekannten Koordinaten. Permanent wird die theoretische und die gemessene Laufzeit für jeden Zeitpunkt erfasst. Durch den Vergleich der Lagekoordinaten des Referenzpunktes mit den aktuell gemessenen Koordinaten kann ein Fehlervektor für jeden einzelnen Zeittakt bestimmt werden, welcher die Abweichung von der wahren Position als Lagefehler beschreibt. Die vom GPS-Empfänger berechneten Positionsdaten können nun mit den entsprechenden Fehlervektoren korrigiert werden, da Fehler durch äußere Einflüsse in einem begrenzten Gebiet ungefähr gleich groß sind. Die Fehlerkorrekturen können dabei in (Fast-) Echtzeit (Real-Time) zum Zeitpunkt der Messung oder im Nachhinein (Postprocessing) durchgeführt werden (HAMBERGER 2001, S. 16). Je nach Erfordernis, Möglichkeiten, sowie Zeit- und Kostenaufwand können dabei gratis oder kostenpflichtige Dienste genutzt, bzw. sogar selbst eine eigene Base Station (Referenzstation zur Aufzeichnung der Fehlervektoren) betrieben werden.

Bei einem DGPS-Real-Time-System werden die Korrekturdaten in (Fast-) Echtzeit übertragen. Nach der Berechnung der Fehlervektoren werden diese sofort zum GPS-Empfänger übermittelt. Beim frei zugänglichen Satellite Based Augmentation System (SBAS) erfolgt die Übermittlung an die Empfänger innerhalb von 6 Sekunden. Aufgrund der Satellitenpositionen sind diese Signale jedoch nicht zwangsläufig verfügbar. In den mittleren Breiten sind die SBAS-Satelliten nur schlecht zu empfangen, da sie in einem geringen Winkel über

dem Horizont stehen (DODEL & HÄUPLER 2004, S. 279 ff.) (WEBER 2009, S. 7 f.). In der Regel werden die Informationen auf der GPS L1-Frequenz (1575,42 MHz) ausgesendet und somit können diese ohne großen Mehraufwand empfangen und genutzt werden. Zusätzlich können auf den SBAS-Signalen Code- und Phasenmessungen durchgeführt werden (WANNINGER 2010, S. 148). Das in Europa verfügbare SBAS trägt den Namen EGNOS (Euro Geostationary Navigation Overlay Service). Vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wird der Austrian Positioning Service (APOS) in zwei Genauigkeitsstufen angeboten (BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN 2010). Für den Empfang dieser kostenpflichtigen und hochwertigen Echtzeit-Korrekturdaten ist eine entsprechende Hardware Voraussetzung. Beim eingesetzten Konzept der Virtuellen Referenzstation (VRS) wird von einer zentralen Software (Server) für die vom GPS-Empfänger übermittelte Näherungsposition aus mehreren Referenzstationen eine virtuelle Referenzstation in der Nähe des GPS-Empfängers inter- bzw. extrapoliert. Die Korrekturdaten werden direkt an den speziellen GPS-Empfänger über GSM oder Mobile Internet übertragen (LANDAU, VOLLATH, & CHEN 2002, S. 138 f.). Bei der Übertragung von selbst ermittelten Korrekturdaten können weitere vielfältige Möglichkeiten eingesetzt werden.

Systembedingt sind nicht alle möglichen Fehler auszuschließen bzw. korrigierbar. Die folgenden typischen Werte wurden WORMLEY (2009) entnommen. Da die Fehler Ungenauigkeiten bzw. externe Einflüsse auf das Signal darstellen, können die Auswirkungen auf das Messergebnis nicht exakt angegeben werden. In der Literatur werden deshalb unterschiedliche Werte publiziert, weshalb die hier angegebenen Zahlen nur Richtwerte darstellen:

- Die *Künstliche Verschlechterung* (Selective Availability) im Bereich von etwa 100 m ist seit 2. Mai 2000 abgeschaltet (KÖHNE & MICHAEL 2009).
- Fehler an den Satelliten treten bei den *Ephemeridendaten* (GPS Signal enthält nicht die korrekte Satellitenposition) mit ca. 2 m und bei *Uhrenfehlern* (Zeitabweichungen zu der GPS-Systemzeit aus Satellitenoszillation und relativistischer Uhrenfehler) mit 1-2 m auf (BAUER 2003, S. 232).
- *Signalausbreitungsfehler* entstehen beim Durchlaufen des Satellitensignals der unterschiedlichen Schichten der Erdatmosphäre. In der *Ionosphäre* beträgt die Abweichung 1-5 m, in der *Troposphäre* bis zu 1 m. *Multipath- und Abschattungseffekte* führen zu einer Beeinträchtigung von Messungen durch eine Signalbeeinflussung im Umfeld der Empfangsantenne im Meterbereich.
- Durch den Einsatz moderner Technologien und die Auswertung von mehreren Kanälen beträgt die Abweichung durch den *Einfluss des Empfängers* unter 0,3 m (WORMLEY, 2009). Dazu gehören das *Messrauschen*, *Zeitabweichungen* in den Empfängeruhren und *Antennenfehler*.

Nur Fehler, die sowohl bei der Referenzstation als auch beim GPS-Empfänger auftreten können korrigiert werden. Dies sind die Abweichungen aus den Ephemeridendaten, Satellitenuhren und der Signalausbreitung in der Ionos- und Troposphäre.

## 2 Testmessungen

In den Testmessungen erfolgte die Anwendung der theoretischen Grundlagen in der Praxis sowie die Durchführung und Analyse kombinierter Geräte-, Software- und Technologietests. Zur Verfügung standen folgende Geräte der Firma Trimble: Drei Pathfinder Pro XH,

drei Nomad und je ein Pathfinder Pro XT, GeoExplorer XH 2008 und XT 2003, R6 (mit APOS), je zwei Zusatzantennen Zephyr, Hurricane und Tornado und mehrere Juno ST. Zusätzlich wurde ein Map60 CSx von Garmin verwendet. Das Ziel aller Tests war, mit den verwendeten Geräten das bestmögliche Ergebnis in Bezug auf die Genauigkeit, unter Berücksichtigung der jeweiligen Voraussetzungen (z. B. Satellitenkonstellation, Multipath-Einflüssen, Abschattung) und unter Einsatz der technischen Möglichkeiten (z. B. Postprocessing) zu erzielen.

Die Testmessungen erfolgten in drei Messkampagnen, welche je nach Umfang und Thematik bis zur Erreichung des Zieles der jeweiligen Tests weiter untergliedert wurden. Die Ergebnisse jeder Messkampagne flossen in die Planung und Durchführung der nächsten Kampagne ein. Kampagne 1 wurde mit allen Geräten bei guten Umgebungsbedingungen durchgeführt, Kampagne 2 mit ausgesuchten Geräten bei unterschiedlichen Bedingungen und bei Kampagne 3 lag der Schwerpunkt auf dem Vergleich verschiedener Antennen. Aufgrund der vielen Ergebnisse werden nur einige Beispiele zur Veranschaulichung der Resultate angeführt.

Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen, wurde eine portable Testplattform (vgl. Abb. 2) angefertigt um bis zu neun Gerätekonfigurationen und Einstellungen zeitgleich bei gleichen Voraussetzungen (z. B. Satellitenkonstellation), sowie vergleichbaren Umgebungsbedingungen (z. B. Multipath-Effekten und Abschattung) einsetzen zu können.

## 2.1 Tests bei guten Umgebungsbedingungen

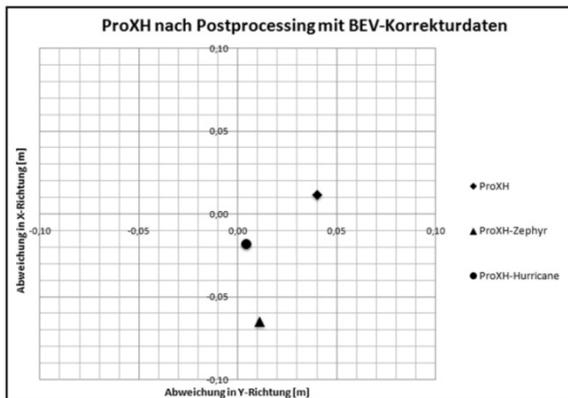
Bei diesen Tests wurden Genauigkeitsvergleiche bei guten Umgebungsbedingungen bezüglich Abschattung, Multipath-Effekten und Einflüssen durch die Satellitenkonstellation mit allen zur Verfügung stehenden Geräten in Mutters (Bezirk Innsbruck Land in Tirol) durchgeführt. Dabei wurde eine Position mit wenig Abschattung und möglichst ohne Auftreten von Multipath-Einflüssen gewählt. Zusätzlich zu der Bewertung der Ergebnisse auf Grundlage der Kennzahlen aus der Software (Trimble Pathfinder Office) konnten teilweise zentimetergenaue Referenzmessungen hinzugezogen werden. Dadurch ist zusätzlich eine Einschätzung der Messgenauigkeiten auf Grundlage von real gemessenen Positionen möglich.



**Abb. 2 und 3:** Versuchsaufbau eines Simultantests (links); Versuchsaufbau eines Tests mit einem Überblick über die vorhandene Abschattung (rechts)

Wie Abbildung 4 zeigt, liegt die Genauigkeit eines hochwertigen GPS-Empfängers (in diesem Fall ein Trimble Pathfinder ProXH) mit unterschiedlichen Antennen bei diesen „guten“ Bedingungen nach dem Postprocessing im Zentimeter-Bereich. Ohne Postprocessing wird dabei eine Genauigkeit von 0,655 m gemessen. Nach dem Postprocessing beträgt die Abweichung nur noch 0,018 m.

Als Fazit dieser Kampagne kann festgehalten werden, dass ohne Abschattung und Multipath-Effekte die Gerätekonfiguration während der eigentlichen Messung keine entscheidende Rolle spielt. Nur der Einsatz der SBAS-Technologie bringt bereits im Feld deutliche Vorteile. Erst nach dem Postprocessing bringt der Einsatz von hochwertigen Empfängern (bei den verwendeten Geräten der Firma Trimble mit H-Star-Technologie bezeichnet) einen deutlichen Genauigkeitsvorteil. Der Einsatz von speziellen Antennen ist in diesem Umfeld nicht nötig. Die Qualität der BEV-Korrekturdaten ist deutlich besser als die kostenlosen bzw. selbst mit einer eigenen Base-Station generierten Korrekturdaten. Die Auswertung der EGNOS-Satellitensignale während der Messung bringen auch nach dem Postprocessing noch Genauigkeitsvorteile mit sich.



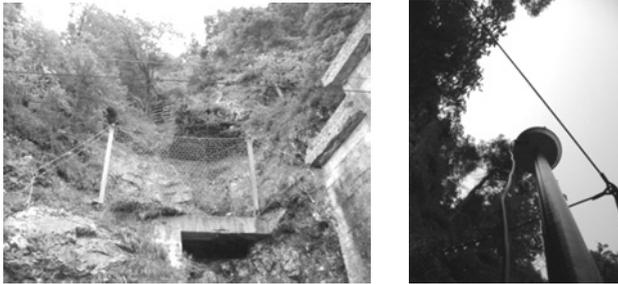
**Abb. 4:** Genauigkeitsvergleiche eines GPS-Empfängers mit unterschiedlichen Antennen nach Postprocessing mit BEV-Korrekturdaten

## 2.2 Tests bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen

Die Einflüsse von Abschattungs- und Multipath-Effekten bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen konnten, aufbauend auf den Erkenntnissen aus den vorherigen Tests, bei ausgewählten Geräten in den Messkampagnen 2 an mehreren Standorten im Außerfern (Bezirk Reutte in Tirol) näher untersucht werden. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte auf Grundlage der ausgewerteten Daten aus der Software. Teilweise wurden diese Daten durch Referenzmessungen ergänzt.

Bei Messungen im Wald ist der Empfänger abgesehen vom schlechteren Empfang der Satellitensignale mit häufigen Störungen und Unterbrechungen des Korrektursignals konfrontiert, wodurch ein höherer Zeitaufwand notwendig wird. Die Ursache liegt in der lokal sehr unterschiedlichen Abschattung durch Bäume, welche sich durch die Vergleichsdaten einer Referenzstation (ohne diese Signalbeeinträchtigung) nicht korrigieren lassen. Hingegen lassen sich in stark abgeschatteten Messgebieten mittels Postprocessing bessere Ergebnisse erzielen (RESNIK & WILFRIED 2005, S. 86). Bei den Messungen der in den Abbildungen 5

und 6 dargestellten Schutzbauwerke ist eine starke Abschattung durch die Topographie und durch Bäume gegeben, folglich muss auch mit einer Beeinträchtigung der Messung durch Multipath-Effekte und Abschattung (Signalbeugung) gerechnet werden. Trotz dieser schlechten Voraussetzungen konnten, nicht zuletzt aufgrund der guten Satellitenkonstellation, brauchbare Messungen durchgeführt werden. Nach dem Postprocessing sind bei den Messungen an den Endpunkten der dargestellten dynamischen Seilsperren Genauigkeiten von 0,9 m und 0,6 m in der Auswertungssoftware angegeben. Eine Verortung war aufgrund der vorherrschenden Abschattungsbedingungen nicht möglich.



**Abb. 5 und 6:** Dynamische Seilsperren im Bereich des Klausentunnels bei Reutte in Blickrichtung Nord-West und deren Abschattung (links); Bilddokumentation der GPS-Antenne an der Seilsperre (rechts)

Die Gesamtbeurteilung dieser Tests bringt folgende Ergebnisse: Bei schwierigen Umgebungsbedingungen sind ein qualitativ hochwertiger Empfänger und eine externe Antenne für brauchbare Messergebnisse, welche im Postprocessing noch stark verbessert werden können, unbedingt notwendig. Mit dem Empfang der SBAS-Satellitensignale kann bei diesen Bedingungen nicht gerechnet werden. Eine genaue Planung der Messung ist bei solchen Voraussetzungen dringend zu empfehlen, da die Satellitenkonstellation und damit die Abschirmung der Satellitensignale durch die Topographie bereits im Vorfeld der Messung abgeklärt werden kann.

Abschließend ist nochmals anzumerken, dass auch bei extrem schlechten externen Bedingungen mit einer geeigneten Gerätekonfiguration aus hochwertigem Empfänger und spezieller Antenne, unter der Voraussetzung einer sehr guten Satellitenkonstellation, zumindest noch Messungen durchgeführt werden können.

### 2.3 Antennentests bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen

Mit der Kampagne 3 wurden schließlich verschiedene Antennen und deren Messergebnisse ebenfalls bei unterschiedlichen Bedingungen wieder in Mutters betrachtet. Referenzmessungen konnten bei den starken Multipath- und Abschattungseffekten nicht durchgeführt werden.

Die auf Grundlage vorheriger Tests erstellten Gerätekonfigurationen ergaben bei den vorherrschenden guten Satellitenkonstellationen trotz der starken Abschattung (vgl. Abb. 7 und 8) noch passable Messergebnisse. Das Ergebnis der Gerätekonfiguration, bestehend aus einem hochwertigen Empfänger und einer speziellen Antenne (Trimble Pathfinder GeoXH

mit Trimble Tornado-Antenne) mit der geringsten Abweichung lieferte ohne Postprocessing eine Genauigkeit von 5,9 m. Nach Postprocessing mit BEV-Korrekturdaten beträgt die Abweichung 0,383 m.

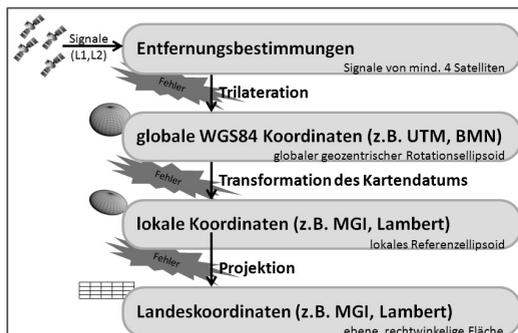


**Abb. 7 und 8:** Messaufbau der Simultantests (links); Photodokumentation der Abschattung (rechts).

Als Fazit dieser Tests können die Ergebnisse aus den vorherigen Messungen bestätigt werden. Die Bedeutung einer guten Planung und die Notwendigkeit von Postprocessing sind auch in dieser Messkampagne deutlich ersichtlich. Qualitativ hochwertige Empfänger in Verbindung mit speziellen Antennen bringen erst im Postprocessing und bei schlechten Umgebungsbedingungen einen Vorteil.

### 3 Praxis-Ergebnisse für die ÖBB

Wie in Abbildung 9 schematisiert dargestellt, treten neben den Fehlern bei der Entfernungsbestimmung und somit bei der GPS-Positionsbestimmung auch bei der Transformation des Kartendatums und der Projektion nicht zu vernachlässigende Unschärfen auf. Aus diesen Gründen relativiert sich in vielen Fällen der Genauigkeitsanspruch an die eigentliche GPS-Messung. Werden die Positionen aus GPS-Messungen relativ zueinander verwendet und ist daher keine Umrechnung der UTM-WGS84-Koordinaten mehr nötig, dann treten außer den Abweichungen der eigentlichen Messung auch keine weiteren Ungenauigkeiten mehr auf.



**Abb. 9:** Schema: Von den Satellitensignalen zu den Landeskoordinaten (eigener Entwurf)

Auf Grundlage der umfassenden Literaturrecherchen und der Praxistests konnte der ÖBB in Verbindung mit den analysierten Messdaten eine entsprechende Geräte-Empfehlung abgegeben werden.

## 4 Schlussbetrachtung

Bei guten Umgebungsbedingungen spielt die Qualität des Empfängers bzw. der Antenne keine entscheidende Rolle. Durch die Signale der SBAS-Satelliten an der Messposition zum Zeitpunkt der Messung kann, unabhängig vom Postprocessing, eine Reduktion des Messfehlers erreicht werden. Der Empfang dieser Signale ist jedoch aufgrund der geostationären Position der Satelliten im Bereich des Äquators nicht immer gewährleistet. Die Qualität der Empfänger und der externen Antennen wirkt sich erst im Postprocessing aus, wobei diese vor allem bei schlechten Umgebungsbedingungen zur Geltung kommt. Sofern eine Messung möglich ist, kann das Messergebnis bei allen Umgebungsbedingungen mit Postprocessing-Verfahren stark verbessert werden, jedoch spielt die Qualität der Korrekturdaten eine wesentliche Rolle. So sollten in Österreich nur qualitativ hochwertige Korrekturdaten (z. B. vom BEV) verwendet werden. In der Regel hängt die Qualität des Messergebnisses stark von den Abschattungsbedingungen ab. Vor allem bei schlechten Umgebungsbedingungen ist eine genaue Planung dringend zu empfehlen. So können bei extremen Umgebungsbedingungen Messungen teilweise nur bei gewissen Satellitenkonstellationen durchgeführt werden. Bei starker Bewaldung ist die Messung, falls möglich, eventuell in die blätterlose Vegetationsperiode zu verlegen, um genauere bzw. überhaupt Messergebnisse zu erhalten.

Im Vergleich zu vermessungstechnischen Verfahren bzw. dem Airborne Laser Scanning stellen GPS-Messungen eine Kosten, Zeit und Aufwand sparende Alternative dar. Wie bereits ausgeführt, ist ein Verständnis für die Grundlagen des GPS, eine auf die Anforderung zugeschnittene GPS-Ausrüstung, der Einsatz von geeigneter Software und Korrekturdaten, sowie nicht zuletzt eine gute Planung für genaue Messergebnisse notwendig. Ein wesentliches Entscheidungskriterium für ein System ist die Anforderung an die Messgenauigkeit. Beim Einsatz der jeweiligen Technologien ist dabei stets zu hinterfragen, ob die Wirtschaftlichkeit noch gegeben ist und ob es daher überhaupt notwendig ist, eine höhere Genauigkeit durch weiteren Aufwand bzw. Investitionen zu erhalten.

## Literatur

- BAUER, M. (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme. 5. Aufl. Heidelberg, Wichmann Verlag.
- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (2010): APOS. Austrian POsitioning Service. [http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV\\_PORTAL\\_CONTENT\\_ALLGEMEIN/0200\\_PRODUKTE/PDF/AUSTRIANPOSITIONINGSERVICE-FOLDER.PDF](http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0200_PRODUKTE/PDF/AUSTRIANPOSITIONINGSERVICE-FOLDER.PDF) (12.05.2010).
- BRAUN, M. (2007): Das GPS-System – Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten im Physikunterricht. <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/ZulaGPS.pdf> (07.04.2010).

- BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE. GEODÄTISCHES OBSERVATORIUM WETTZELL (2009): Mikrowellenbeobachtungen zu satellitengestützten Navigationssystemen. [http://www.fs.wettzell.de/GPS/gps\\_einl\\_de.htm](http://www.fs.wettzell.de/GPS/gps_einl_de.htm) (05.01.2011).
- BUWAL (1998): Begriffsdefinitionen zu den Themen: Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Eidg. Forstdirektion, Bern.
- DODEL, H. & HÄUPLER, D. (2004): Satellitennavigation. GALILEO, GPS, GLONASS, Integrierte Verfahren. Heidelberg, Hüthig-Verlag.
- DÖLLER, H., HÖGGERL, N., & AHRER, H. (1996): GPS – Grundnetz von Österreich. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII = Salzburger Geographische Materialien, Heft 24.
- EGLI, T. (1996): Hochwasserschutz und Raumplanung, ORL – Bericht 100/1996. vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- HAMBERGER, J. (2001): GPS als Mittel zum umweltschonenden Maschineneinsatz: Navigation von Forstmaschinen und Dokumentation ihrer Fahrbewegungen (Dissertation). [http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/PUBL/quednau/diss\\_hamberger.pdf](http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/PUBL/quednau/diss_hamberger.pdf) (05.01.2011).
- KÖHNE, A. & MICHAEL, W. (2009): Wie funktioniert GPS. Alles Wissenswerte. <http://www.kowoma.de/gps/> (07.04.2010).
- LANDAU, H., VOLLATH, U. & CHEN, X. (2002): Virtual Reference Station Systems. Journal of Global Positioning Systems, 1 (2), S. 137-143.
- LESER, H., HAAS, H., MEIER, S., MOSIMANN, T., PAESLER, R. & HUBER-FRÖHLI, J. (2005): Diercke Wörterbuch Allgemeine Geographie, 13. Aufl., Braunschweig.
- MANSFELD, W. (2010): Satellitenortung und Navigation. Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme (3. Ausg.). Wiesbaden, Vieweg+Teubner.
- RESNIK, B. & WILFRIED, K. (2005): Mobile Geodatenerfassung mit Handheld-GPS-Empfängern - Probleme und Lösungsansätze. In: CHESI, G. & WEINOLD, T. (Hrsg.): Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005. Heidelberg, Wichmann Verlag.
- WANNINGER, L. (2010): Code- und Phasenmessungen zu SBAS-Satelliten für die Positionsbestimmung. Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), S. 148-154.
- WANNINGER, L., FREVERT, V. & WILDT, S. (2000): Der Einfluß der Signalbeugung auf die präzise Positionierung mit GPS. Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 8-16.
- WEBER, J. (2009): GPS-Empfänger Handbuch. [http://gpshandbuch.gpswiki.de/GPS\\_Empfaenger\\_Handbuch.pdf](http://gpshandbuch.gpswiki.de/GPS_Empfaenger_Handbuch.pdf) (11.04.2010).
- WORMLEY, S. J. (2009): GPS Errors & Estimating Your Receiver's Accuracy. [http://www.edu-observatory.org/gps/gps\\_accuracy.html](http://www.edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html) (03.03.2010).
- ZOGG, J.-M. (2009): GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten. [http://www.zogg-jm.ch/Dateien/Update\\_Zogg\\_Deutsche\\_Version\\_Jan\\_09\\_Version\\_Z4x.pdf](http://www.zogg-jm.ch/Dateien/Update_Zogg_Deutsche_Version_Jan_09_Version_Z4x.pdf) (16.03.2010).