

**GRUNDSÄTZE ZUM  
EINSATZ VON SATELLITENGEODÄTISCHEN VERFAHREN  
IM BERGBAU**

Erarbeitet von einem Autorenteam aus Bergverwaltung,  
Bergbauunternehmen und bergbaulichen Dienstleistern

Redaktion:

Dipl.-Ing. Norbert Korritke (†), DMT

Stand: 6. Juni 2000

## Gliederung

- 1 Allgemeines
  - 1.1 Vorschriften
  - 1.2 Einsatzbereiche
  - 1.3 Satellitengeodätische Verfahren
  - 1.4 Bezugssysteme
  
- 2 Satellitengestützte Messung
  - 2.1 Allgemeines
    - 2.1.1 Satellitenkonstellation
    - 2.1.2 Referenzstation, SAPOS, RTK
    - 2.1.3 Messverfahren
  - 2.2 Planung der satellitengestützten Messung
  - 2.3 Durchführung der satellitengestützten Messung
  - 2.4 Messungsdaten
  
- 3 Auswertung statischer Messungen
  - 3.1 Überblick
  - 3.2 Datenaufbereitung
  - 3.3 Ausgleichung
  - 3.4 Transformation in die Bezugssysteme der Landesvermessung
  
- 4 Dokumentation
  - 4.1 Allgemeines
  - 4.2 Messungsniederschriften
  - 4.3 Berechnungsniederschriften

## **Grundsätze zum Einsatz von satellitengeodätischen Verfahren im Bergbau**

### **1 ALLGEMEINES**

#### **1.1 Vorschriften**

- (1) Für markscheiderische und sonstige vermessungstechnische Arbeiten im Zusammenhang mit Tätigkeiten und Einrichtungen nach § 2 Bundesberggesetz (BBergG) sowie für Messungen zur Erfassung von Bodenbewegungen nach § 125 BBergG können satellitengeodätische Verfahren eingesetzt werden.
- (2) Satellitengeodätische Verfahren sind keine Sonderverfahren nach § 7 Abs. 1 der Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche (Markscheider-Bergverordnung - MarkschBergV).
- (3) Zur Umsetzung der Vorschriften der MarkschBergV bei satellitengeodätischen Verfahren werden die folgenden Grundsätze herausgegeben, die den derzeitigen Stand der Technik berücksichtigen<sup>1</sup>. Die Einhaltung der Forderungen der MarkschBergV hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit von Messungen wird vermutet, soweit die Grundsätze beachtet werden.

#### **1.2 Einsatzbereiche**

Satellitengeodätische Verfahren können allein oder in Kombination mit anderen Messverfahren für alle Messungen über Tage eingesetzt werden, sofern die in der MarkschBergV geforderten Genauigkeiten eingehalten werden.

#### **1.3 Satellitengeodätische Verfahren**

- (1) Zur Einhaltung der erforderlichen Genauigkeit nach MarkschBergV kommen nur differenzielle satellitengeodätische Verfahren zum Einsatz, die mindestens zwei Empfänger benötigen, um Satellitensignale simultan empfangen, aufzeichnen und auswerten zu können.
- (2) Die Ergebnisse der satellitengeodätischen Vermessung (Messung und Auswertung) können im Felde direkt zur Verfügung stehen (Real-Time) oder erst nach Auswertung (Postprocessing).
- (3) Beim Einsatz differenzieller satellitengeodätischer Verfahren ist der primär dreidimensionale Charakter der satellitengestützten Messung zu berücksichtigen (s. 1.4 (2), 2.3 (2), 3.4).

---

<sup>1</sup> Bei Bedarf sind diese Grundsätze an den jeweiligen Stand der Technik anzupassen.

## 1.4 Bezugssysteme

- (1) Als Ergebnisse von satellitengestützten Messungen liegen in der Regel zunächst dreidimensionale Koordinaten im World Geodetic System 1984 (WGS 84) vor. Das WGS 84 stimmt mit dem im europäischen Raum einheitlich eingeführten Bezugssystem European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89) im Rahmen seiner Systemgenauigkeit ( $\pm 1$  bis 2 m) überein.
- (2) Die Überführung in die Bezugssysteme der Landesvermessung ist über eine ausreichende Anzahl von identischen Punkten in beiden Systemen zu gewährleisten (s. 3.4 (1)).

## 2 SATELLITENGESTÜTZTE MESSUNG

### 2.1 Allgemeines

#### 2.1.1 Satellitenkonstellation

- (1) Die Satellitenkonstellation (Anzahl und Verteilung der zur Verfügung stehenden Satelliten und PDOP<sup>2</sup>- bzw. GDOP<sup>3</sup>-Werte) kann vorab für die gesamte Beobachtungszeit untersucht werden. Eine gute Konstellation drückt sich durch kleine PDOP- bzw. GDOP-Werte aus.
- (2) Die zur Planung notwendigen genäherten Satellitenbahndaten (Almanachdaten) müssen einen aktuellen Stand haben.

#### 2.1.2 Referenzstation, SAPOS, RTK

- (1) Einen Satellitenempfänger, dessen Antenne auf einem Referenzpunkt betrieben wird, bezeichnet man als Referenzstation. Dabei wird unterschieden zwischen
  - „permanenten Referenzstationen“, wie sie z.B. im amtlichen Positionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS) verwendet werden, und
  - „temporären Referenzstationen“, die projektbezogen eingesetzt werden.
- (2) SAPOS stellt mit einem Netz von permanenten Referenzstationen auf verschiedenen Übertragungswegen Daten für Echtzeitvermessungen sowie für Auswertungen im Postprocessing zur Verfügung. Es arbeitet mit firmenunabhängigen Standards. Für die Punktbestimmung mit geodätischer Genauigkeit dienen folgende Servicebereiche von SAPOS:

---

<sup>2</sup> PDOP = Position Dilution of Precision

<sup>3</sup> GDOP = Geometrical Dilution of Precision

1. Im Hochpräzisen Echtzeit-Positionierungs-Service (HEPS) werden in Echtzeit Korrekturdaten übertragen. Sie ermöglichen eine polare Punktbestimmung mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  cm bis 5 cm (entfernungsabhängig) bis ca. 20 km Abstand von der permanenten Referenzstation. Die Korrekturdaten werden an der Nutzerschnittstelle im RTCM-Format<sup>4</sup> bereitgestellt.
  2. Im Geodätischen Präzisen Positionierungs-Service (GPPS) mit 1cm-Genauigkeit werden Trägerphasenmessungen im empfängerunabhängigen RINEX-Format<sup>5</sup> bereitgestellt. Sie werden u.a. über Telekommunikationseinrichtungen abgegeben. Damit ist eine nachträgliche Berechnung (Postprocessing) möglich. Die dabei erreichbare Genauigkeit ist u.a. abhängig von der Beobachtungszeit und der Entfernung zu der/den permanenten Referenzstation/en.
- (3) Als Real-Time-Kinematic-Systeme (RTK-Systeme) werden Vermessungssysteme bezeichnet, die mit systemeigenen Referenzstationen Echtzeitvermessungen ermöglichen. Sie bestehen z.B. aus
- einem Satellitenempfänger als Referenzstation mit Datenübertragungseinrichtung und
  - einem Satellitenempfänger als Mobilstation mit Datenempfangseinrichtung und Software.

Die Systeme verwenden in der Regel firmenspezifische Datenformate, lassen nur ausgewählte Hard- und Softwarekomponenten zu und ermöglichen in ihrem durch die gewählte Funkübertragung begrenzten Aktionsradius von einigen Kilometern Messungen in Zentimetergenauigkeit.

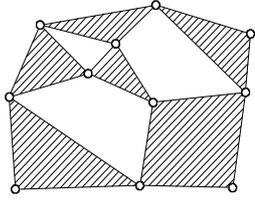
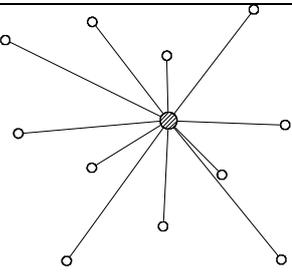
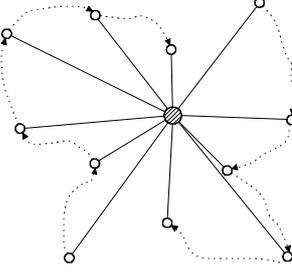
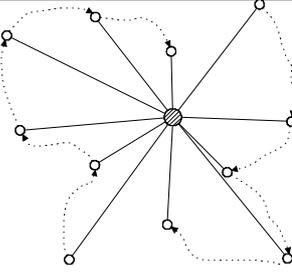
---

<sup>4</sup> Radio Technical Commission for Maritime Services

<sup>5</sup> Receiver INdependent data EXchange format

### 2.1.3 Messverfahren

- (1) Bei satellitengeodätischen Anwendungen sind grundsätzlich folgende Messverfahren einsetzbar:

TYP	BEZEICHNUNG	MESSUNGSANORDNUNG	BESCHREIBUNG
<b>A</b>	Statische Aufstellungs-Gruppen		Ein mit n Satellitenempfängern besetztes n-Eck wird als Session beobachtet, wenn die Empfänger auf den Punkten gleichzeitig Daten registrieren. Mehrere Sessions werden zu einer flächenhaften Netzanlage verknüpft (Multisession).
<b>B1</b>	Statisches Polarverfahren, Sternverfahren		Ein Satellitenempfänger dient als Referenzstation. Beliebig viele mobile Empfänger (Rover) besetzen unabhängig voneinander die anderen Punkte für eine bestimmte Zeit ohne gegenseitige zeitliche Abstimmung.
<b>B2</b>	Kinematisches Polarverfahren, Sternverfahren		Wie bei Typ B1, mit dem Unterschied, dass die mobilen Empfänger beim Wechsel der Standpunkte die zu Anfang aufgebaute Verbindung zu den Satelliten und die Mehrdeutigkeitslösung beibehalten. Jeder Punkt braucht nur für wenige Sekunden/Minuten besetzt zu werden. Bei Unterbrechung des Satellitenempfangs muss eine neue Mehrdeutigkeitslösung berechnet werden.
<b>C</b>	Real-Time kinematisches (RTK) Polarverfahren		Wie bei Typ B2, mit dem Unterschied, dass statt im Post-processing in „Real-Time“ (Echtzeit) ausgewertet wird. Für die real-time Anwendungen werden von der Referenzstation aus Korrekturdaten an den/die mobilen Satellitenempfänger übertragen und mit den Messungsdaten der mobilen Empfänger in Echtzeit verarbeitet. Als Ergebnisse werden Koordinaten im Felde ermittelt.

- (2) Die Auswahl des geeigneten Verfahrens ist unter Berücksichtigung aller Randbedingungen zu treffen. Die aktuelle Leistungsfähigkeit der eingesetzten Satellitenempfänger (Hard- und Software), die örtlichen Gegebenheiten und die Zielsetzung sind zu berücksichtigen.

- (3) Die Vorschriften für die Messgenauigkeiten gemäß MarkschBergV gelten bei satellitengeodätischen Verfahren für die abgeleiteten Messelemente. Zum Beispiel gilt als einfacher Messweg bzw. Messstrecke im Sinne der Anlage 1 MarkschBergV die Entfernung zwischen dem einzumessenden Punkt und dem Anschlusspunkt.
- (4) Soweit die Messgenauigkeit es erlaubt, können bei diesen Messverfahren auch permanente Referenzstationen, z. B. Permanentstationen des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS) mit verwendet werden (s. § 8 MarkschBergV).

## **2.2 Planung der satellitengestützten Messung**

- (1) Zur Anbindung der satellitengestützten Messungen an das amtliche Festpunktfeld sind mindestens drei Festpunkte anzuschließen, die möglichst gleichmäßig um die Neupunkte verteilt liegen.
- (2) Die Satellitensichtbarkeit ist für jeden Standpunkt zu gewährleisten.

## **2.3 Durchführung der satellitengestützten Messung**

- (1) Vor dem erstmaligen Einsatz eines Satellitenvermessungssystems muss die Überprüfung in einem geeigneten Testnetz erfolgen. Die fortlaufende Funktionskontrolle ergibt sich im Rahmen der Arbeiten in den jeweiligen Projekten durch die Einbindung geeigneter Punkte.
- (2) Aufgrund des dreidimensionalen Charakters des satellitengeodätischen Verfahrens sind die Zentrierung und die Höhenbestimmung der Antennen mit besonderer Sorgfalt durchzuführen. Die Antennenhöhenbestimmung ist unabhängig zu kontrollieren.
- (3) Zur Einhaltung der erforderlichen Genauigkeit ist eine angemessene Beobachtungsdauer in Abhängigkeit von
  - dem Messverfahren,
  - der Länge der zu bestimmenden Basislinien,
  - der Satellitenkonstellation,
  - der Qualität der eingesetzten Antennen und Empfänger und
  - den örtlichen Bedingungenzu wählen.
- (4) Beim Einsatz von RTK-Systemen ist zum Erreichen der Genauigkeit eine ständige Qualitätskontrolle der Satellitenkonstellation erforderlich.

## 2.4 Messungsdaten

- (1) Die satellitengestützte Messung ist in einem Messungsprotokoll zu dokumentieren.
- (2) Im Messungsprotokoll sind nachzuweisen:
  1. die Punktbezeichnung,
  2. der jeweilige Referenzpunkt, die benutzte Referenzstation bei Anwendung der Messverfahren des Typs B und C, der Betreiber der Referenzstation,
  3. Anzahl der empfangenen Satelliten, PDOP- bzw. GDOP-Werte,
  4. die Kontrolle der Antennenausrichtung bei statischen Messungen,
  5. die Antennenhöhenbestimmung und bei statischen Messungen zusätzlich deren Kontrolle,
  6. Ort, Datum, Name des Ausführenden, Zweck, Anfang und Ende der Datenaufzeichnung, Typen- und Programmbezeichnung, Registrierungsrate, Empfänger- und Antennennummern,
  7. Transformationsparameter, Bezugsellipsoid, Projektionsart bei Anwendung des Messverfahrens des Typs C.
- (3) Bei Postprocessing-Verfahren werden die bei der Messung anfallenden Bahndaten sowie Codephasen und Trägermischphasen (Rohdaten) im Empfänger oder Feldcomputer gespeichert.
- (4) Als gemessene Werte (s. Anlage 2 Nr. 2.1.1.5 MarkschBergV) (Reindaten) sind anzusehen:
  - die erst nach Auswertung der Rohdaten zur Verfügung stehenden Raumvektoren und ihre Varianz-/Kovarianzkomponenten,
  - die beim Einsatz von RTK-Systemen direkt im Felde ermittelten Koordinaten.

## 3 AUSWERTUNG STATISCHER MESSUNGEN

### 3.1 Überblick

- (1) Die Weiterverarbeitung von Satelliten-Reindaten muss so angelegt sein, dass die Berechnungen nachprüfbar sind.
- (2) Die Auswertung von satellitengestützten Messungen gliedert sich in folgende Schritte:
  1. Übertragung der Rohdaten von den Empfängern auf den Auswerterechner,
  2. Auswertung der Rohdaten zur Berechnung der Reindaten,
  3. Ausgleichung,
  4. Berechnung der Koordinaten und Höhen im Landessystem.

### **3.2 Datenaufbereitung**

- (1) Für die Auswertung der Rohdaten stehen verschiedene Programme zur Verfügung. Sie weisen unterschiedliche Ansätze und Leistungen auf und berechnen die Ergebnisse auf unterschiedlichen Wegen. Für die Auswahl und Anwendung der Programme ist der Benutzer verantwortlich.
- (2) Das Ergebnis der Rohdaten-Auswertung sind Basislinien (Raumvektoren) in Form von dreidimensionalen Koordinatenunterschieden  $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$  mit Angaben zur Varianz/Kovarianz.

### **3.3 Ausgleichung**

- (1) Bei simultanem Einsatz von mehr als zwei Empfängern pro Session des Messverfahrens vom Typ A oder beim Einsatz von zwei oder mehr Referenzstationen bei Anwendung des Messverfahrens vom Typ B ergeben sich Überbestimmungen in Form von zusätzlichen Basislinien.
- (2) Zur Überprüfung der inneren Genauigkeit der satellitengestützten Messungen kann eine 3D-Netzausgleichung durchgeführt werden. In der Ausgleichung werden die Einzelsessionen zu einem Gesamtnetz zusammengefasst (Multisessionslösung).

### **3.4 Transformation in die Bezugssysteme der Landesvermessung**

- (1) Für die Berechnung von Lagekoordinaten und Höhen in den Bezugssystemen der Landesvermessung kann eine 7-Parameter-Transformation über eine ausreichende Anzahl von Anschlusspunkten durchgeführt werden. Die Anschlusspunkte sollen gleichmäßig um das Messgebiet verteilt sein.
- (2) Die Restklaffungen an den Anschlusspunkten sind aufzuzeigen. Bei Wiederholungsmessungen ermöglichen sowohl die Restklaffungen an den Anschlusspunkten als auch die Lage- und Höhendifferenzen an stabil gebliebenen Punkten Aussagen über die Güte und Genauigkeit der satellitengestützten Messungen.

## **4 DOKUMENTATION**

### **4.1 Allgemeines**

Bezüglich der Form der Messungs- und Berechnungsniederschriften wird auf Anlage 2 Nr. 1 MarkschBergV verwiesen. Anlage 2 Nr. 2.4 MarkschBergV findet Anwendung. Darüber hinaus sind Besonderheiten zu vermerken.

### **4.2 Messungsniederschriften**

Die Protokollierung der im Kapitel 2.4 Absätze 2 und 4 aufgelisteten Messungsdaten ist als Messungsniederschrift gemäß Anlage 2 Nr. 2.1 MarkschBergV anzusehen.

### **4.3 Berechnungsniederschriften**

Die einzelnen Schritte der Auswertung sind zu dokumentieren. Für die Dokumentation der Auswertung satellitengestützter Messungen gilt Anlage 2 Nr. 2.2 MarkschBergV entsprechend.