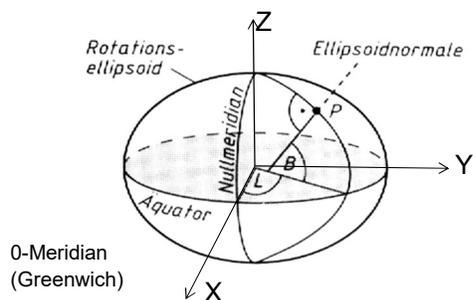
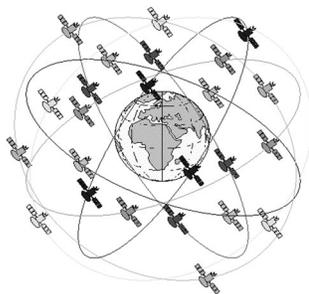


Satellitensysteme

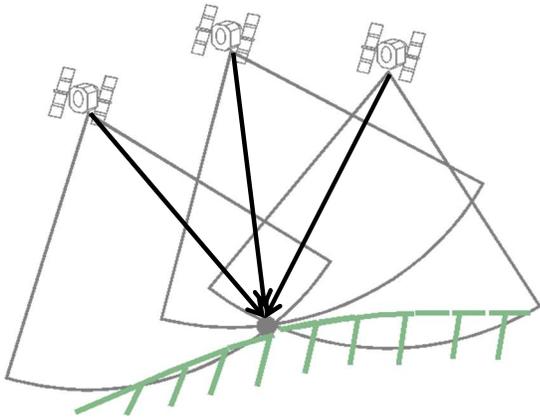


- ◆ in der Summe > 100 Satelliten
 - ◆ 32 NAVSTAR-GPS (Amerika)
 - ◆ 24 GLONASS (Russland)
 - ◆ 30 GALILEO (Europa)
 - ◆ > 20 BEIDOU (BDS, ehemals COMPASS) (China)

- ◆ auf bekannten Bahnen mit jederzeit bekannter Position ...

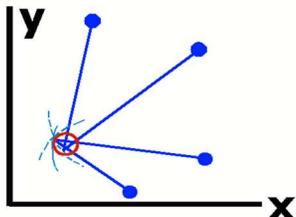
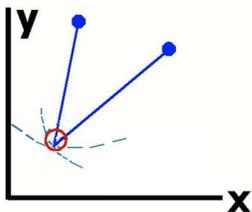
- ◆ ... bezogen auf das globale Koordinatensystem eines „Rotationsellipsoids“ (WGS84)

Die Positionsbestimmung



- ◆ Der GNSS-Empfänger berechnet die **Distanzen** (besser: *pseudoranges*, da fehlerbehaftet) zu den einzelnen Satelliten mittels Signal-Laufzeit- und Phasenmessungen
- ◆ Die Positionsbestimmung erfolgt nach dem Prinzip „Kugelschnitt“ entsprechend des Bogenschnitts zweier Kreise in 2D
- ◆ Zu den 3 Variablen im Raum kommt die Zeit als 4. Variable dazu, da die Uhren in Satellit und Empfänger nicht synchronisiert sind

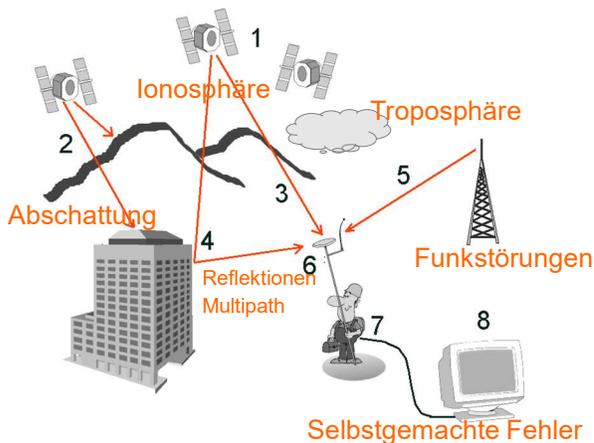
Was braucht man für eine „gute“ Positionsbestimmung?



- ◆ ausreichend Anzahl an sichtbaren Satelliten (Theorie: 4, Praxis >> 6)
- ◆ wenig / kontrollierbare Störeinflüsse



- ◆ freier Blick „nach oben“
- ◆ gleichmäßige Verteilung der Satelliten



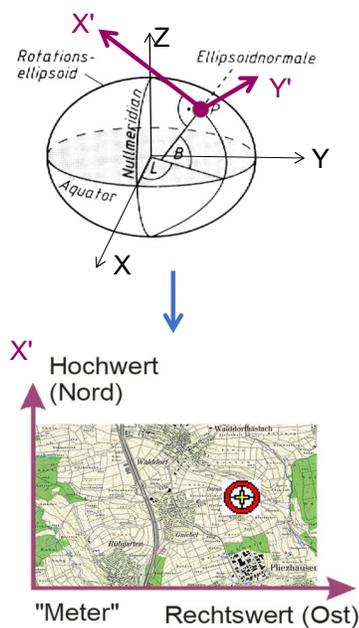
05.07.2020

schulung_gps_ultrakurz_2020

3

DR. BERTGES
VERMESSUNGSTECHNIK

Der Weg von geodätischen Koordinaten zur Ebene



◆ Geographische „GPS“-Koordinaten

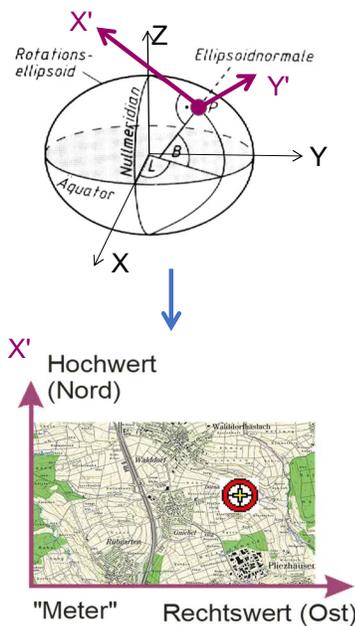
- ◆ Bezug: WGS84 Rotationsellipsoid
- ◆ Breite (Grad vom Äquator)
- ◆ Länge (Grad vom Nullmeridian)
- ◆ Höhenbezug: Ellipsoid (ellipsoidische Höhe)

◆ Mathematische Operation

◆ Ebene Kartenkoordinaten

- ◆ Rechtswert (Meter von einem zentralen Meridian)
- ◆ Hochwert (Meter vom Äquator)
- ◆ Höhe (Meter über Meereshöhe)

Der Weg von geodätischen Koordinaten zur Ebene



◆ Geographische „GPS“-Koordinaten

- ◆ Bezug: WGS84 Rotationsellipsoid
- ◆ Breite (Grad vom Äquator)
- ◆ Länge (Grad vom Nullmeridian)
- ◆ Höhenbezug: Ellipsoid (ellipsoidische Höhe)

◆ Mathematische Operation

- ◆ Transformation der Lage
 - Globale oder regionale Anpassung des Bezugsellipsoids mit Abweichungen vom WGS84 hinsichtl. Schwerpunkt, Abmessungen, Ausrichtung
- ◆ Projektion (Abbildung)
 - Projektion der gekrümmten Oberfläche auf Ebene („Karte“). Die mathematische Vorschrift hierzu gewährleistet, dass auf der Karte abgelesene Entfernungen der Realität möglichst nahekommen.
- ◆ Anpassung der Höhe auf „Meereshöhe“
 - Höhenbezugsfläche ist das unregelmäßig geformte **Geoid**

◆ Ebene Kartenkoordinaten

- ◆ Rechtswert (Meter von einem zentralen Meridian)
- ◆ Hochwert (Meter vom Äquator)
- ◆ Höhe (Meter über Meereshöhe)

05.07.2020

schulung_gps_ultrakurz_2020

5



Generell wird üblicherweise die mathematische Behandlung der Lage auf der Bezugsfläche von der Höhe getrennt. Transformation und Projektion sind exakte mathematische Vorschriften, die – im üblichen geodätischen Gebrauch – nur wenige Parameter benötigen.

Wenn die Parameter und die Rechenvorschriften bekannt sind, sind Umrechnung von Koordinaten von einem System in das andere auf den mm genau möglich.

Bekannt sein müssen für den Schritt der Transformation:

Die 2 Kenngrößen des WGS84-Ellipsoids

Exkurs: Eine Kugel benötigt 1 Kenngröße, z.B. Radius. Ein Rotationsellipsoid benötigt 2: Beide Halbachsen oder – im Falle der Erde – die lange Halbachse (Radius Erdmittelpunkt zum Äquator) und ein Faktor, der die Abplattung zu den Polen hin charakterisiert

Die 2 Kenngrößen des regionalen Bezugssystems (Bezugs-Rotationsellipsoid)

Ein Parametersatz, der die Änderung der „Lagerung“ des regionalen Bezugssystems im Vergleich zum Koordinatensystem des WGS84 beschreibt. Hierzu wird i.d.R. eine Matrixoperation eingesetzt, in der eine Verschiebung (dX , dY , dZ), eine Rotation um die Achsen und ein Maßstabsfaktor eingeht (7-Parameter-Transformation nach Helmert)

Ein Bezugssystem mit seinen Kenngrößen wird als geodätisches Datum bezeichnet. Der Wechsel = Umrechnung in ein anderes System ist der „Datumswechsel“

Beispiel: WGS84 => DHDN

Für den Schritt der Projektion müssen bekannt sein:

Die Kenngrößen des aktuellen Bezugssystems (s.o.)

Die Formeln für die Projektionsvorschrift. Diese Projektionsvorschriften sind oft landestypisch und spiegeln historische Gegebenheiten und geografische Gegebenheiten wider.

Beispiel: Gauß-Krüger-Projektion

Die Höhe wird separat umgerechnet

Die reale Bezugsfläche ist die Meeresoberfläche. Diese schmiegt sich an das Geoid (Erdschwerefeld) an. Das Geoid gehorcht keiner mathematisch beschreibbaren Form, sondern wird in Tabellenform dargestellt (Lookup-Tabelle in Abhängigkeit der horizontalen Lage).

Beispiele UTM und Gauß-Krüger

Separate Folien

Exkurs: der in der Transformation eingesetzte Maßstab hat NICHTS mit dem „UTM-Maßstabsfaktor“
0.9996 zu tun!

Was heißt „genau“?

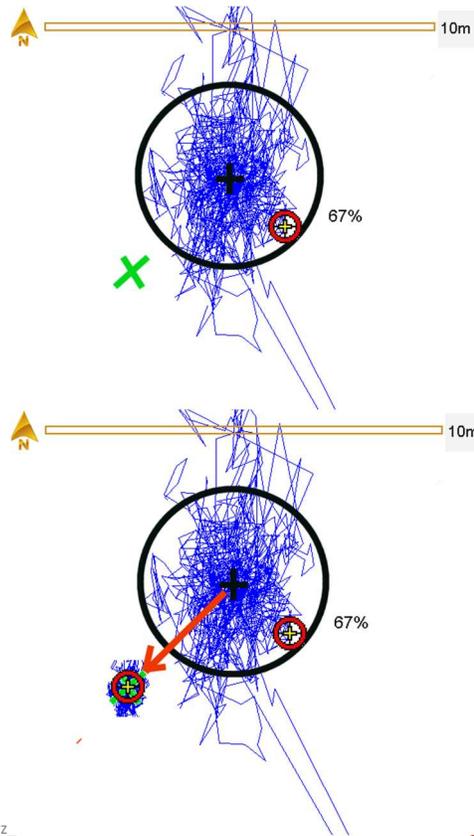


◆ Realität einer „autonomen“ GNSS-Position

- ◆ Streuung 2-5m
- ◆ Mittelwert nach 1-2 Tagen liegt immer noch „daneben“

◆ Ziel

- ◆ Verminderung des Rauschens (Präzision)
- ◆ Korrektur der Position (Richtigkeit)



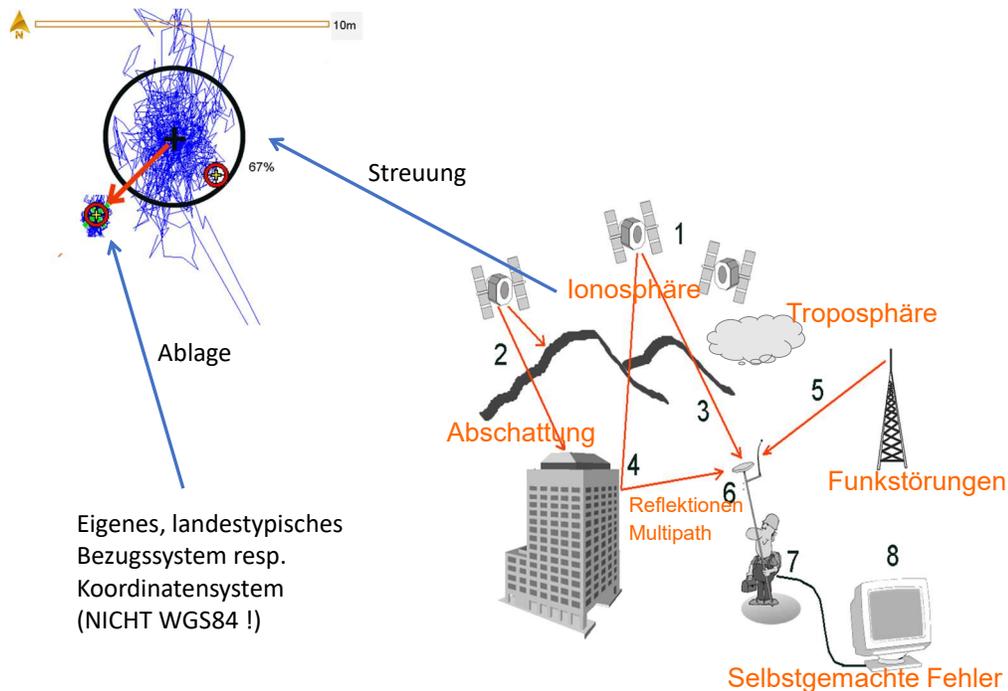
05.07.2020

schulung_gps_ultrakurz_

ERTGES
VERMESSUNGSTECHNIK

Der Betrachter sieht: Die Position eines sich in Ruhe befindlichen GNSS-Empfängers wandert um einen Schwerpunkt. Sprünge und Ausreißer sind eher selten. Selbst nach mehreren Stunden ist die Statistik noch nicht erfüllt.

Rückblick Fehlerhaushalt – Einfluss der Ionosphäre



05.07.2020

schulung_gps_ultrakurz_2020

9

DR. BERTGES
VERMESSUNGSTECHNIK

Exkurs:

Mitteln der Position über 2 Tage und Ermitteln des Schwerpunkts der Streuung führt zu recht guten Koordinaten im „WGS84“-System.

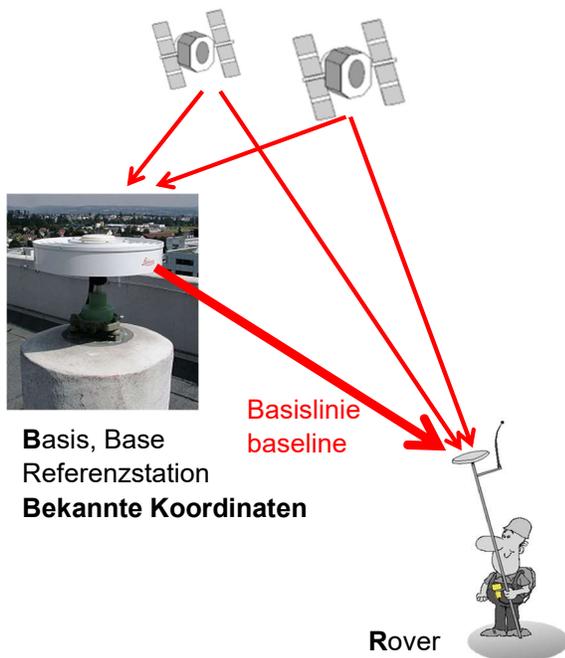
Ein Vergleich mit z.B. exakt bestimmten Koordinaten von der Landesvermessung führt zu einem Fehler von ca. 70cm (Verschiebung nach NO)

Ursache ist, dass das europäische Bezugssystem (ETRS89) sich zwar auf das GRS80-Ellipsoid bezieht, das bekanntlich ziemlich identisch zum WGS84 ist,

ABER

das Bezugssystem auf der europäischen Kontinentalplatte verankert ist, die kontinuierlich nach NO (?) abdriftet.

Verbesserung der Positionierung durch Base-Rover-Konzept



- ◆ Störungen der Signale führen zu einer scheinbaren Bewegung des Empfängers
- ◆ Wird die Position des Empfängers B festgehalten, können die Abweichungen quantifiziert werden
- ◆ Ein Empfänger R in unmittelbarer Nähe wird ähnlich gestört
- ◆ Der quantifizierte Fehlerhaushalt von Empfänger B wird zu Empfänger R übertragen und dort verrechnet
- ◆ Werden die Korrekturdaten der Base in Echtzeit übertragen, spricht man von RTK.

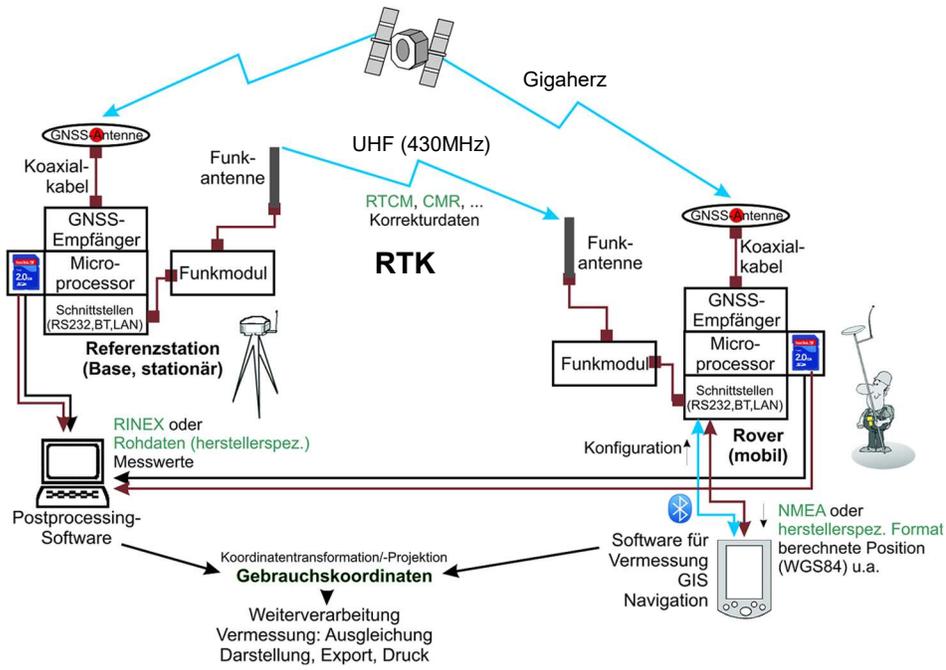
Zusammenführung von Base- und Roverdaten

- ◆ **Echtzeit** (RTK = Real Time Kinematik) – Übertragung der Korrekturdaten der Base in **Echtzeit** (Funk, Mobilfunk) auf den Rover
 - ◆ Vorteile
 - Schnell, sofortige Kontrolle des Messergebnisses
 - Kostengünstig, wenn Korrekturdaten aus öffentlichen Referenznetzen via Internet (NTRIP) bezogen werden (nur 1 Empfänger erforderlich!)
 - ◆ Nachteil: Probleme bei Funkstörungen oder beim Fehlen eines Mobilfunknetzes (NTRIP)

- ◆ **Postprocessing** – Zusammenführung der Rohdaten von Base und Rover **NACH** der Datenaufnahme, spezielle Software erforderlich
 - ◆ Herstellerspezifisches Datenformat mit Messergebnissen (Rohdaten)
 - ◆ Austauschdatenformat „RINEX“
 - ◆ Vorteile
 - Unabhängig von Datenübertragung in Echtzeit (Funkstörungen...)
 - Referenzstationsdaten aus öffentlichen Referenznetzwerken verfügbar
 - Hohe Genauigkeit erreichbar bis in „mm“-Bereich
 - Kontrollier- und wiederholbar
 - ◆ Nachteil: Fehler bei Datenaufnahme nicht reparierbar, längere Aufnahmezeiten, umständliche Prozedur

Die Begrifflichkeiten (DGPS, RTK, PPP, Postprocessing)... haben mit den Jahren Änderungen im Sinngehalt erfahren. Auch gibt es Mischformen der unterschiedlichen Arten der Positionsberechnungen.

Schaltbild



05.07.2020

schulung_gps_ultrakurz_2020

12



Vor 20 Jahren und immer noch aktuell