

# Mobile Datenerfassung mit GPS und ArcPad



Björn Feisel / Moritz Wurm  
iNovaGIS oHG, Kassel  
[www.inovagis.com](http://www.inovagis.com)

# Übersicht

## Mobile Datenerfassung mit GPS und ArcPad

### Teil 1

- Theoretische Grundlagen der GPS-Technik
- Wie entstehen Signalungenauigkeiten?
- Welche Möglichkeiten der Signalkorrektur gibt es?
- Was ist Mobiles GIS?
- Datenerfassung mit ArcPad

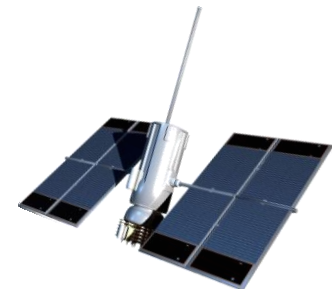
### Teil 2

- Praktischer Teil



# Systeme zur Positionsbestimmung mit Satelliten

- NAVSTAR GPS
  - betrieben durch das US-Verteidigungsministerium
  - derzeit 24 Satelliten im Einsatz
- GLONASS
  - betrieben durch die russische Föderation
  - derzeit 17 Satelliten im Einsatz
- GALILEO
  - betrieben durch die EU
  - derzeit noch im Aufbau, 1 Satellit im Orbit

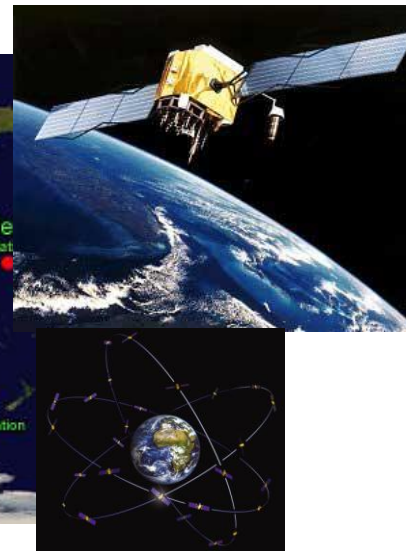


# Segmente des Gesamtsystems

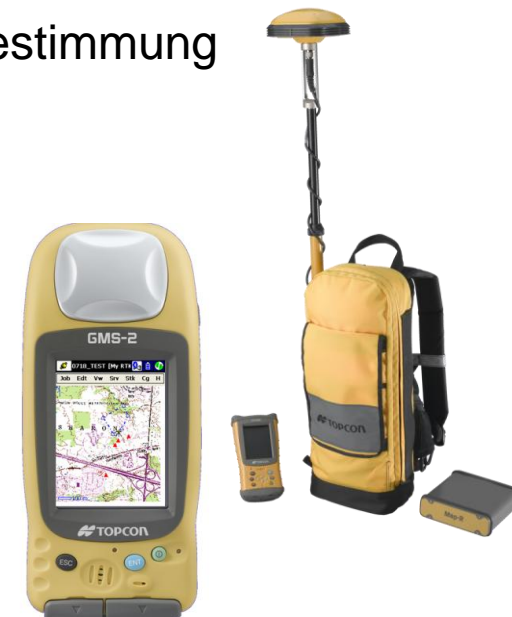
- Gesamtsystem zur Positionsbestimmung mit Satelliten wird in Segmente gegliedert
  - Weltraumsegment = Satelliten auf ihren Umlaufbahnen
  - Kontrollsegment = alle Einrichtungen, die der Überwachung und Steuerung des Gesamtsystems dienen
  - Nutzersegment = Empfangsgeräte zur Positionsbestimmung



Kontrollsegment NAVSTAR GPS



Weltraumsegment



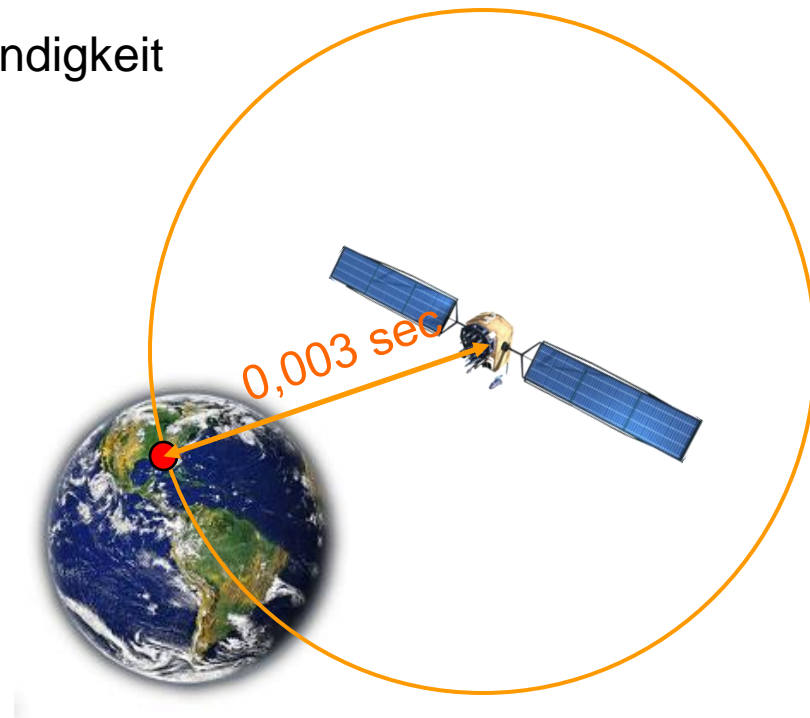
Nutzersegment

# Grundprinzipien

- Positionsbestimmung beruht darauf, dass die Entfernung zu Satelliten gemessen wird
- Aussendung von Funksignalen durch die Satelliten auf speziellen Frequenzen

Entfernung = Signallaufzeit \* Signalgeschwindigkeit

- Signalgeschwindigkeit  
→ Lichtgeschwindigkeit 300.000 km/sec
- Systeme zur Positionsbestimmung und Vermessung ermitteln die Dauer der Signallaufzeit vom Satelliten zum Ort des Empfängers
- Dies erfordert hochgenaue Zeitmesser im Satelliten





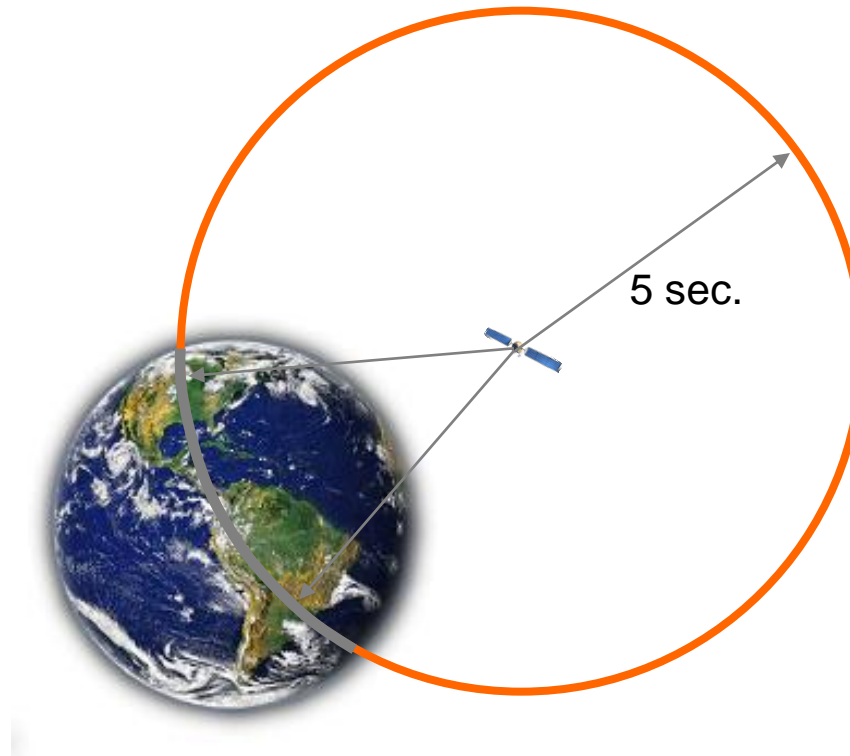
# Grundprinzipien

- Stark vereinfacht gesagt sendet jeder Satellit eine Nachricht der Art: "Ich bin Satellit Nr. X, meine Position ist gerade Y und diese Nachricht wurde zum Zeitpunkt Z versandt".



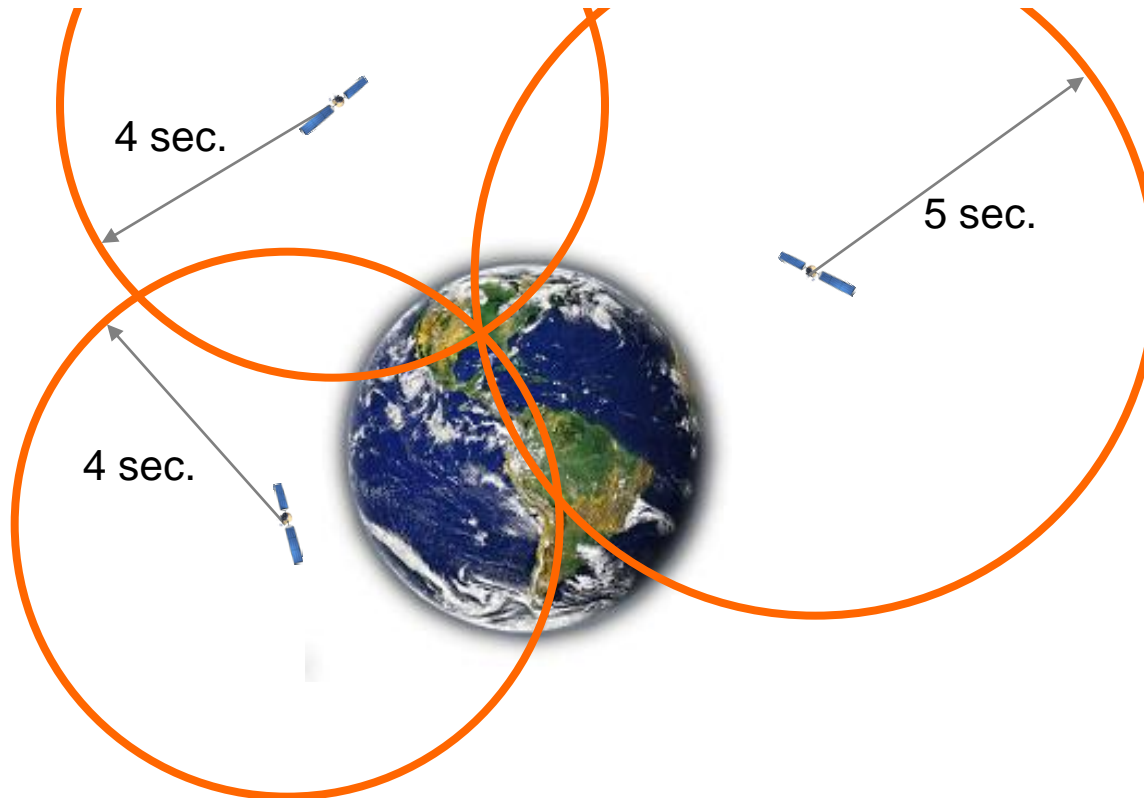
# Grundprinzipien

- Stark vereinfacht gesagt sendet jeder Satellit eine Nachricht der Art: "Ich bin Satellit Nr. X, meine Position ist gerade Y und diese Nachricht wurde zum Zeitpunkt Z versandt".



# Grundprinzipien

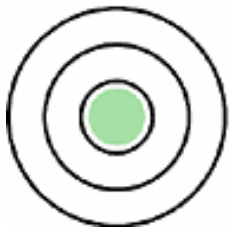
- Für eine Lagebestimmung (2D Position Fix) werden mindestens drei Satelliten benötigt
- Für eine Lage und Höhenbestimmung (3D Position Fix) werden mindestens vier Satelliten benötigt



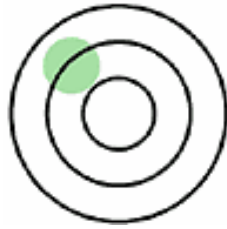


# Begriffe zur Genauigkeit

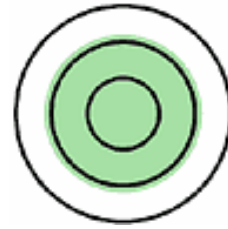
- Präzision (precision)  
Maß für die Übereinstimmung zwischen unabhängigen Messergebnissen unter festen Bedingungen (Streuung der Werte)
  - Richtigkeit (trueness, accuracy of the mean)  
Maß für die Übereinstimmung zwischen dem aus einem großen Datensatz erhaltenen Mittelwert und dem anerkannten Referenzwert (Lage der Werte)
- ➔ Genauigkeit (accuracy) = Maß für die Übereinstimmung zwischen dem (einzelnen) Messergebnis und dem wahren Wert der Messgröße
- ➔ hohe Genauigkeit = hohe Präzision + gute Richtigkeit



hohe Präzision  
+  
gute Richtigkeit



hohe Präzision  
+  
schlechte Richtigkeit



geringe Präzision  
+  
gute Richtigkeit



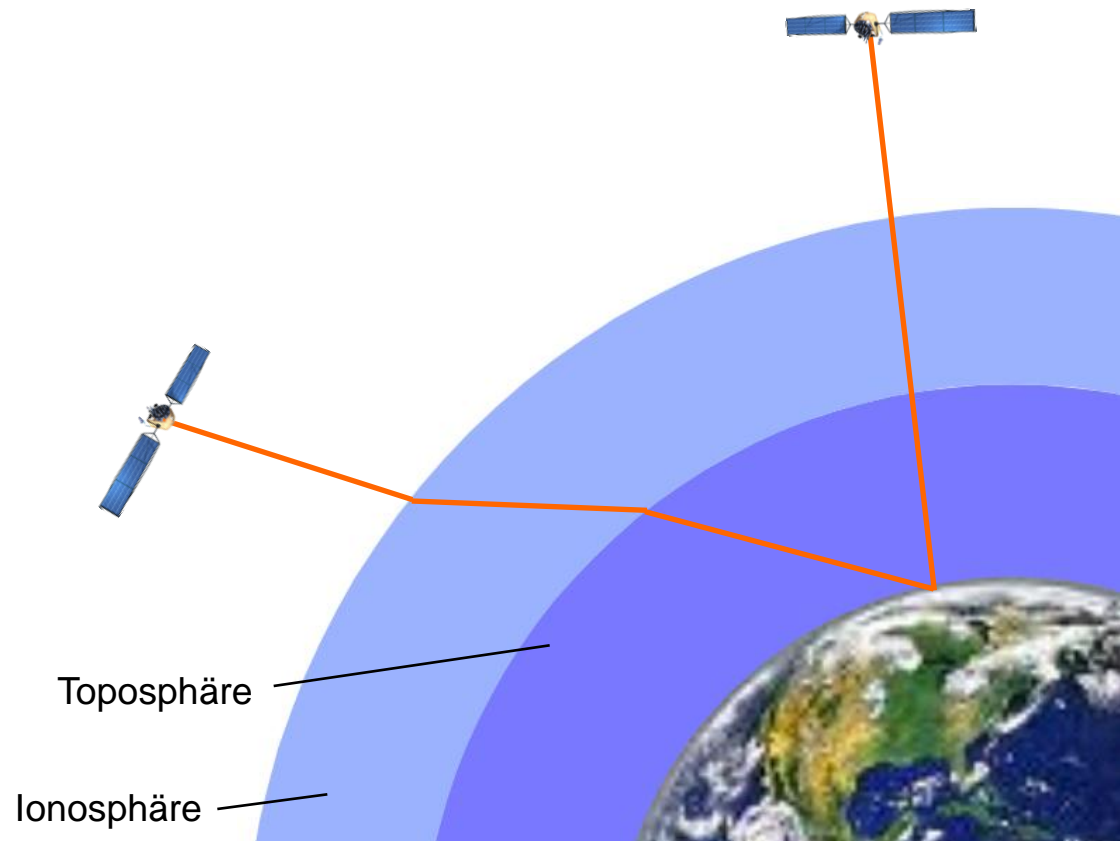
geringe Präzision  
+  
schlechte Richtigkeit

# Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung

- **Störungen durch die Ionosphäre ( $\pm 5$  Meter)** – ionosphärische Verzögerung der Frequenz
- **Störungen durch die Toposphäre ( $\pm 0,5$  Meter)** – z.B. Einflüsse durch Luftfeuchtigkeit
- **Schwankungen der Satellitenumlaufbahnen ( $\pm 2.5$  Meter)** – Durch Gravitationskräfte von Sonne, Mond und Erde können die Umlaufbahnen der Satelliten leicht verändert werden (wird geprüft und ausgeglichen)
- **Uhrenfehler der Satelliten ( $\pm 2$  Meter)** – Die Atomuhren in den Satelliten sind sehr genau, weichen allerdings minimal voneinander ab
- **Uhrenfehler der Empfänger ( $\pm 2$  Meter)** – Dieser Fehler kann rechnerisch weitestgehend eliminiert werden
- **Mehrwegeeffekt ( $\pm 1$  Meter)** – Reflexion von Signalen z.B. von Gebäuden, Vegetation; stark abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche; bei Bewegung kann das unreflektierte Signal leicht von den Falschen herausgefiltert werden
- **Rechnungs- und Rundungsfehler ( $\pm 1$  Meter)**
- **Selective Availability (SA nur bei NAVSTAR GPS) ( $\pm 50$  Meter)** – Verminderung der Signalqualität durch das US-Verteidigungsministerium

# Fehlerquelle: Atmosphärische Störungen

- Störungen durch die Ionosphäre ~ 5 Meter (ionosphärische Verzögerung der Frequenz)
- Störungen durch die Toposphäre ~ 0,5 Meter (z.B. Einflüsse durch Luftfeuchtigkeit)
- Je länger der Weg durch die Atmosphäre desto größer die Störungen
- Der Weg durch die Atmosphäre wird länger je tiefer der Satellit am Horizont steht
- Die Störungen sind am kleinsten, wenn der Satellit senkrecht steht



# Fehlerquelle: Uhrenungenauigkeit

- Ein Uhrenfehler von 1/100 Sekunde macht in der GPS-Navigation eine Fehlbestimmung der Position um ca. 3000 km aus.
- Um eine Positionsbestimmung auf 10 m genau zu erreichen muss die Laufzeit bis auf 0,00000003 Sekunden genau sein.
- In den Satelliten sind Atomuhren integriert. Diese sind hochgenau, allerdings weichen auch diese Uhren in kleinsten Einheiten voneinander ab (z.B. durch Gravitationskräfte).

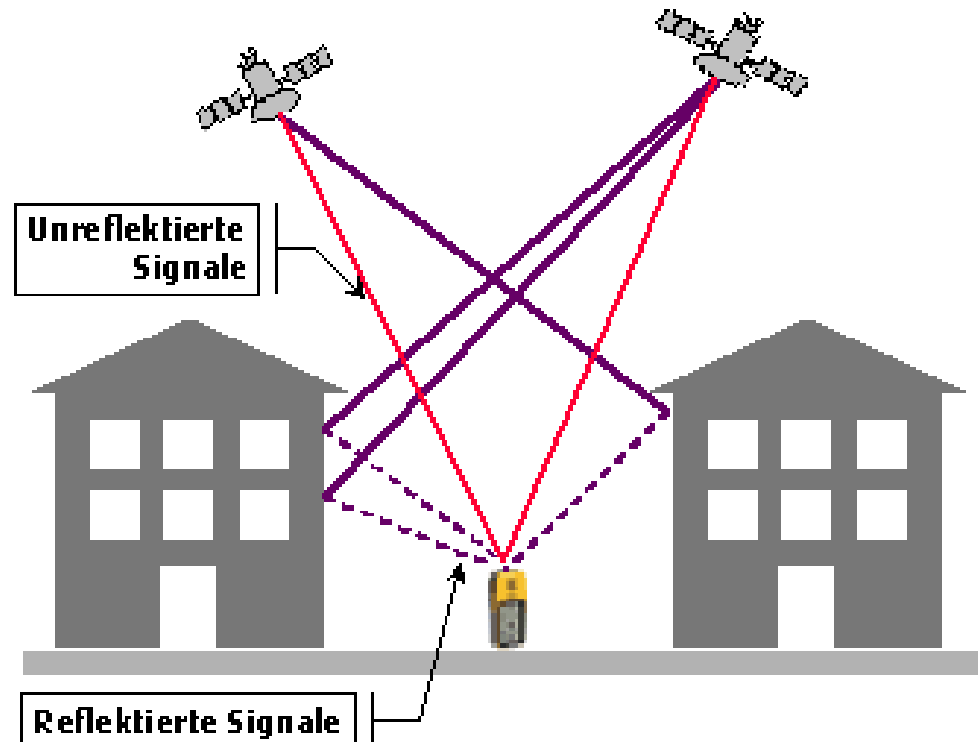


- In Empfängern sind keine Atomuhren integriert. Die Abweichung kann allerdings rechnerisch verringert werden werden.

# Fehlerquelle: Mehrwegeeffekt

Reflexion von Signalen z.B. von Gebäuden, Bergen, **Vegetation**. Der Effekt ist stark abhängig von der Beschaffenheit der Reflexionsoberfläche.

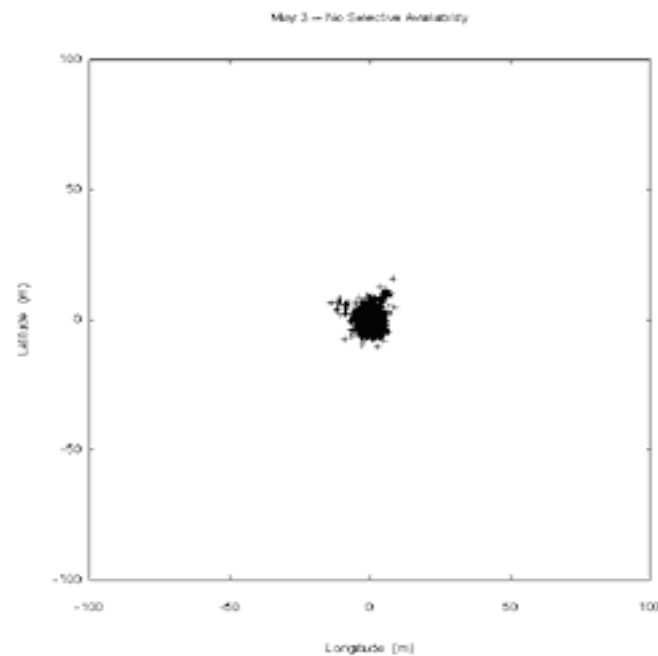
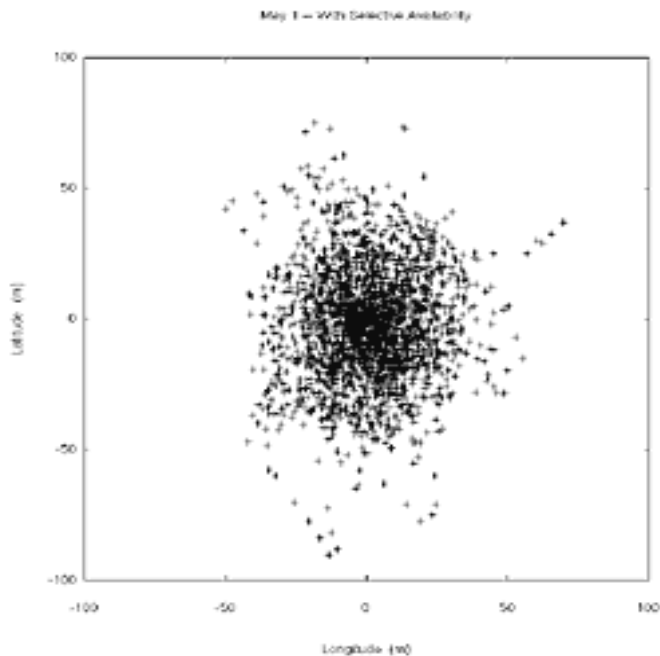
Starke Reflexionsflächen sind beispielsweise Wasseroberflächen oder Beton. Bei Bewegung des Empfängers kann das unreflektierte Signal leicht von den Falschen herausgefiltert werden.



# Fehlerquelle: SA

Selective Availability (nur bei NAVSTAR GPS)

Verminderung der Signalqualität durch das US-Verteidigungsministerium

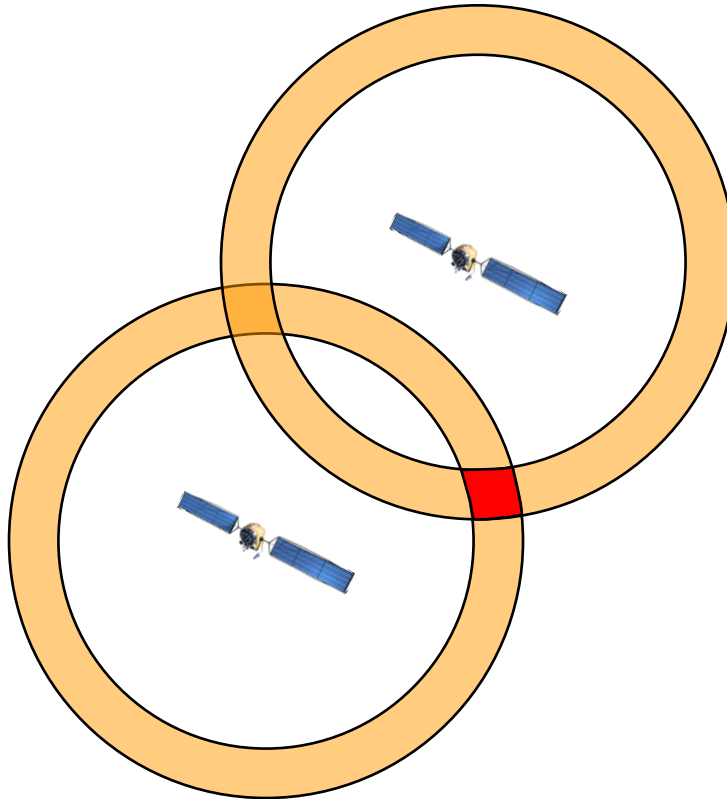


Streuung der Positionsbestimmung mit ein- und ausgeschalteter "Selective Availability"  
(Diagramme entnommen von <http://www.igeb.gov/sa/diagram.shtml> (Seite nicht mehr verfügbar))



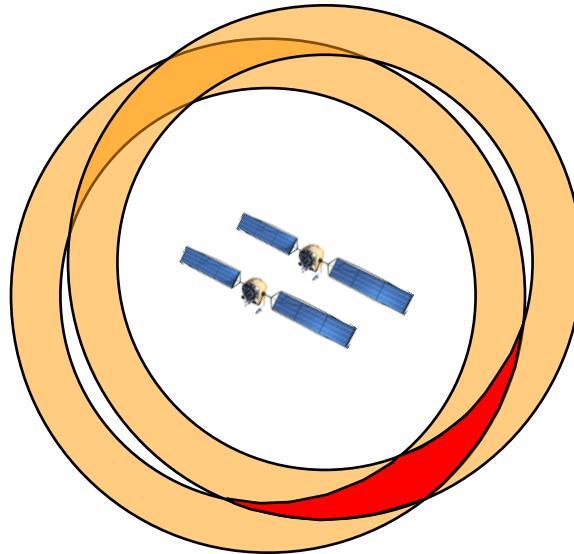
# Fehlerquelle: ungünstige Satellitengeometrie

- die zur Positionsbestimmung verwendeten Satelliten befinden sich zu tief über dem Horizont (langer Weg durch die Atmosphäre) oder
- nur in einem Sektor des Himmels



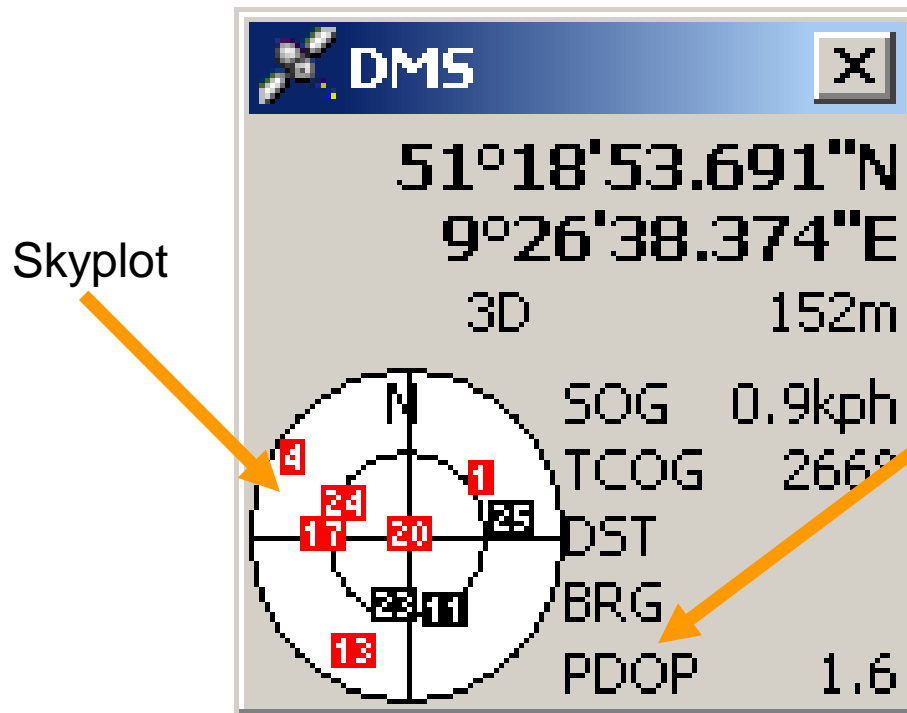
# Fehlerquelle: ungünstige Satellitengeometrie

- die zur Positionsbestimmung verwendeten Satelliten befinden sich zu tief über dem Horizont (langer Weg durch die Atmosphäre) oder
- nur in einem Sektor des Himmels



# Bewertung der Satellitengeometrie

- in vielen Systemen graphisch durch den sogenannten „Skyplot“  
→ vereinfachte Darstellung der Verteilung der Satelliten am Himmel
- DOP-Werte  
DOP = **D**ilution **o**f **P**recision, Verschlechterung der Präzision



Beispiel ArcPad

- ✓ PDOP (Position dilution of precision)
- HDOP (Horizontal dilution of precision)
- VDOP (Vertical dilution of precision)
- TDOP (Time dilution of precision)

# Bewertung der Satellitengeometrie

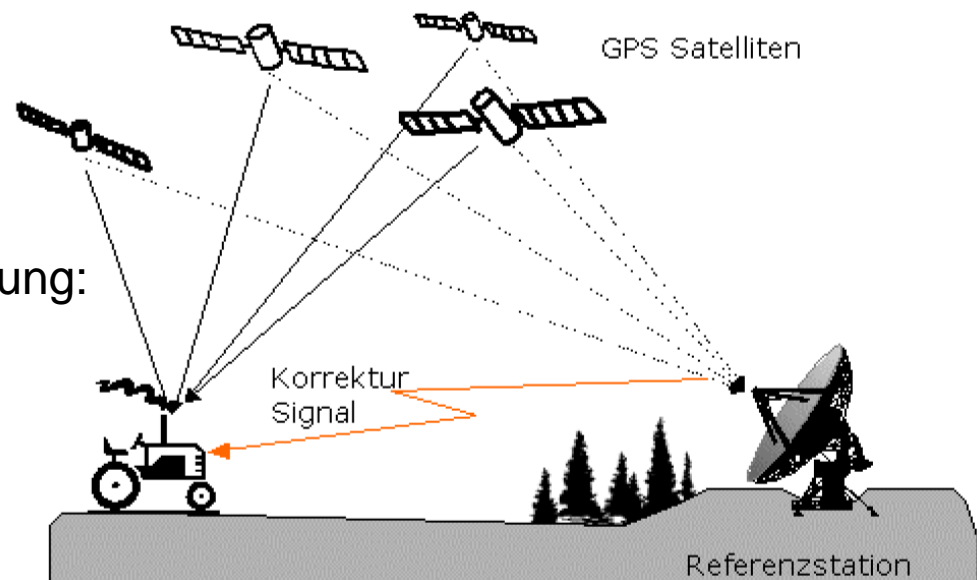
- in vielen Systemen graphisch durch den sogenannten „Skyplot“  
➔ vereinfachte Darstellung der Verteilung der Satelliten am Himmel
- DOP-Werte werden in verschiedener Form und Kombination von Systemherstellern verwendet
- Übliche Werte sind:
  - GDOP (Geometric Dilution Of Precision); Gesamtgenauigkeit; 3D-Koordinaten und Zeit
  - PDOP (Positional Dilution Of Precision) ; Positionsgenauigkeit; 3D-Koordinaten
  - HDOP (Horizontal Dilution Of Precision); Horizontalgenauigkeit; 2D-Koordinaten
  - VDOP (Vertical Dilution Of Precision); Vertikalgenauigkeit; Höhe
  - TDOP (Time Dilution Of Precision); Zeitgenauigkeit; Zeit

# Faustregeln für DOP-Werte

- Hoher DOP-Wert → starke Beeinträchtigung der Positionsbestimmung
- HDOP-Werte unter 4 sehr gut, über 8 jedoch schlecht  
HDOP Werte werden schlechter, wenn sich die empfangenen Satelliten hoch am Himmel befinden
- VDOP Werte hingegen sind eher schlechter, wenn sich die Satelliten sehr nahe am Horizont befinden
- PDOP Werte sind am besten, wenn sich ein Satelliten über Kopf und drei weitere gleichmäßig am Horizont verteilt befinden, sollte unter 8 liegen
- Für eine gute Bestimmung sollte der GDOP-Wert nicht unter 5 sein

# Verbesserung der Positionsbestimmung

- Nutzung von Korrekturdaten zur Verbesserung der Positionsbestimmung  
➔ Differentielles GPS, DGPS
- Zwei Möglichkeiten:
  - terrestrische Referenzstation sendet Korrektursignal
  - satellitengestützte Referenzstation (Geostationärer Satellit) sendet Korrektursignal
- Korrekturdaten werden in verschiedener Form von Korrekturdatendiensten zur Verfügung gestellt
- Korrektur zum Zeitpunkt der Messung:  
**Echtzeitkorrektur**
- Korrektur nach der Messung:  
**Postprocessing**





# Korrekturdatendienste

- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)  
via Satellit, Genauigkeit 1 - 3 Meter, Daten kostenfrei
- Beacon-Küstenfunk: MW-Funk, 1 - 3m, Empfänger nötig, Daten kostenfrei
- ascos: Mobilfunk GSM, 0,5 - 1m, Kosten für Verbindung und Daten
- sapos: Mobilfunk GSM, UKW, 0,5 - 3m, Kosten für Verbindung und Daten
- OmniStar: via Satellit, 0,1 – 1m, Empfänger nötig, Daten kostenpflichtig
- Internet-Dienste:
  - Zugriff auf IP-Adresse
  - NTRIP-Format (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)
  - Einwahl via Mobilfunk-Datenverbindung (GPRS)
  - keine Verbindungskosten, Abrechnung nach übertragener Datenmenge
  - Daten kostenpflichtig (Flat Rate)
- Anbieter:
  - Private wie ascos
  - Landesvermessungsämter (sapos)
  - SISNeT (EGNOS) Signal-In-Space through the Internet

# SBAS (Satellite Based Augmentation Systems, Satellitengestützte Erweiterungssysteme)

Satellitengestützte DGPS (Differenzial GPS)

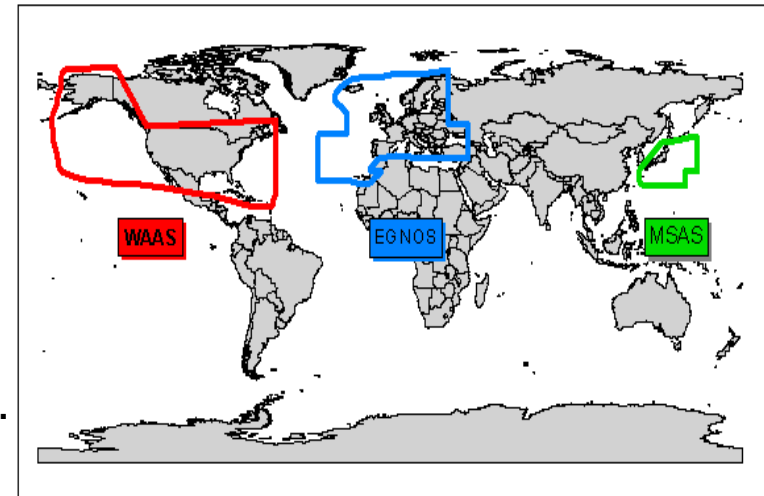
- **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay System)
  - Europäisches System
- **WAAS** (Wide Area Augmentation System)
  - Nordamerikanisches System
- **MSAS** (Multi-Functional Satellite Augmentation System)
  - Japanisches System

Es müssen keine zusätzlichen Sendestationen aufgebaut werden.

Es wird kein zusätzlicher Empfänger benötigt.

EGNOS, WAAS und MSAS sind kompatibel.

System korrigiert GPS, GLONASS und GALILEO.



# EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)

EGNOS stützt sich auf zwei Inmarsat-Satelliten über Westafrika und dem Westatlantik sowie den Forschungssatelliten Artemis (über Zentralafrika)

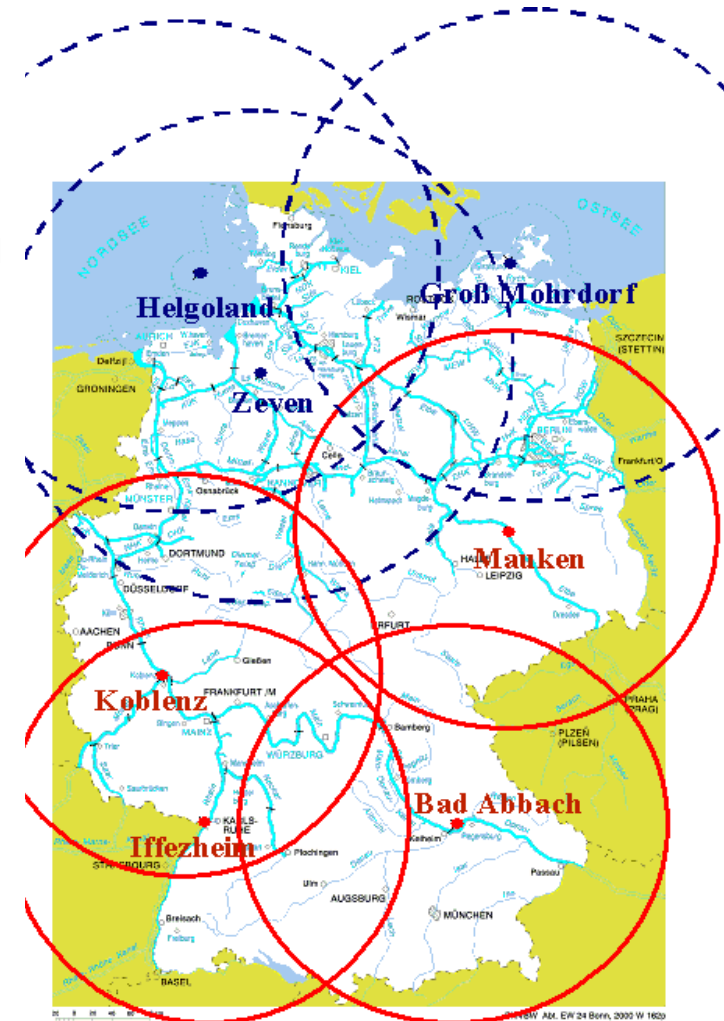


## Nachteil

Alle 3 Satelliten stehen für Europa sehr tief am Horizont. System wurde für die Flugsicherung aufgebaut. Dabei ist der Standort der Satelliten nicht wichtig. Für Messungen auf der Erde ist das allerdings anders.

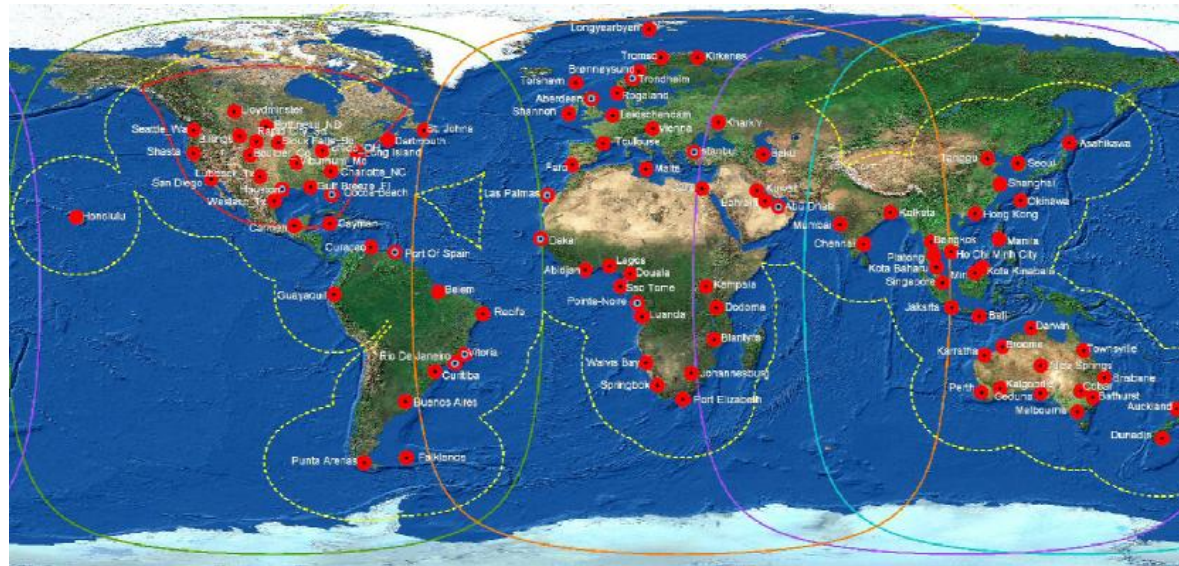
# Beacon-Küstenfunk

- Ursprünglich entwickelt für die Seeschifffahrt
- Im Laufe der Zeit entlang der großen Schifffahrtslinien ins Binnenland gerückt
- Heute ist das Korrektursignal deutschlandweit zu empfangen
- Korrekturdatenübertragung erfolgt im Mittelwellenbereich (283,5-315 kHz). Vorteil: die Korrekturdaten sind auch in enge Täler empfangbar und werden nicht durch Hindernisse abgeschattet
- Weltweit ca. 300 Stationen (Oftmals allerdings nur an Küstenstandorten)
- Beacon-Korrekturdaten stehen kostenfrei zur Verfügung
- Mittelwellenempfänger wird benötigt



# OmniStar

- Weltweit 100 Referenzstationen
- 6 Satelliten
- 2 Netzwerkkontrollzentren



## Funktionsprinzip:

Referenzstationen empfangen GNSS-Signal und rechnen den derzeitigen Fehler, für den entsprechenden Ort, aus. Da alle Stationen miteinander vernetzt sind, kann die Korrektur lokal sehr genau sein.

# OmniStar

**OmniStar (VBS / VRC)** – Virtual Base Station / Virtual Reference Cell

Genauigkeit liegt im Submeterbereich ( $<1\text{m}$ ) – L1 Frequenz

Die Referenzstationen berechnen die relativen Positionen mathematisch gewichtet. Das Ergebnis ist ein für die zu korrigierende Position optimierter Korrekturdatensatz.

VRC: Anstatt optimierte Korrekturen für eine dynamische Position zu berechnen, werden die Korrekturen hier auf eine feste (vom Anwender zu bestimmende) Position bezogen.

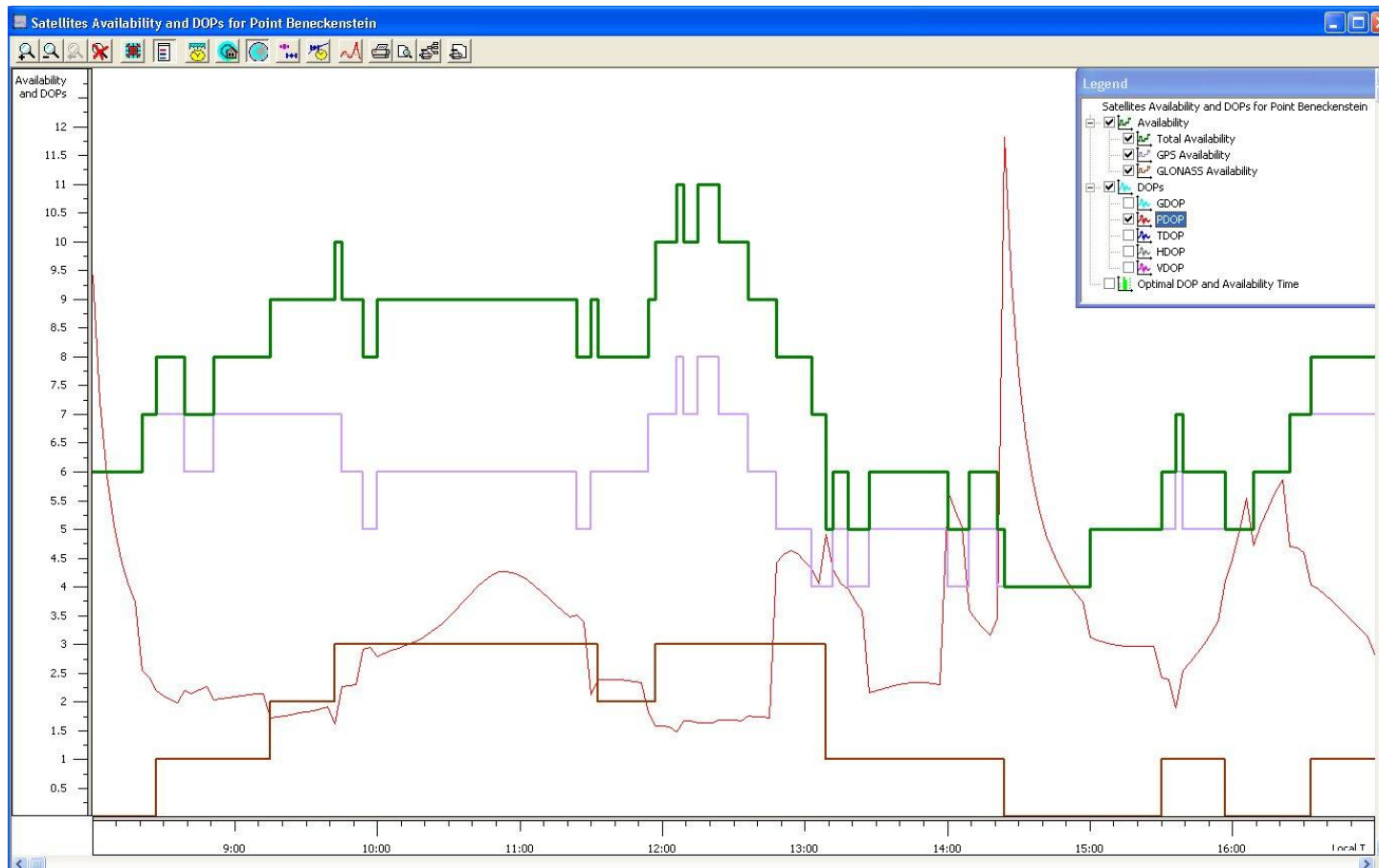
**OmniStar (HP)** – High Performance

Genauigkeit liegt im Dezimeterbereich – L1 und L2 Frequenz



# Verbesserung der Positionsbestimmung

- Nutzung von mehr Satelliten (GPS + GLONASS + GALILEO?) erhöht die Wahrscheinlichkeit einer besseren Satellitenkonstellation.



# Postprocessing

Im Gegensatz zu den „**Real Time**“ Korrekturdatendiensten, können Positionen auch im sog. **Postprocessing** korrigiert werden. Dabei werden im Gelände zunächst Rohdaten erfasst und später mit Korrekturdaten (RINEX-Daten - **R**eceiver **I**ndependent **E**xchange Format) verschnitten (spezielle Software erforderlich).

- Korrekturdaten sind kostenpflichtig
- Im Gelände keine genaue Positionierung möglich
- Genauigkeit ist sehr viel besser als bei einer Echtzeitkorrektur (Zentimeterbereich ist möglich)

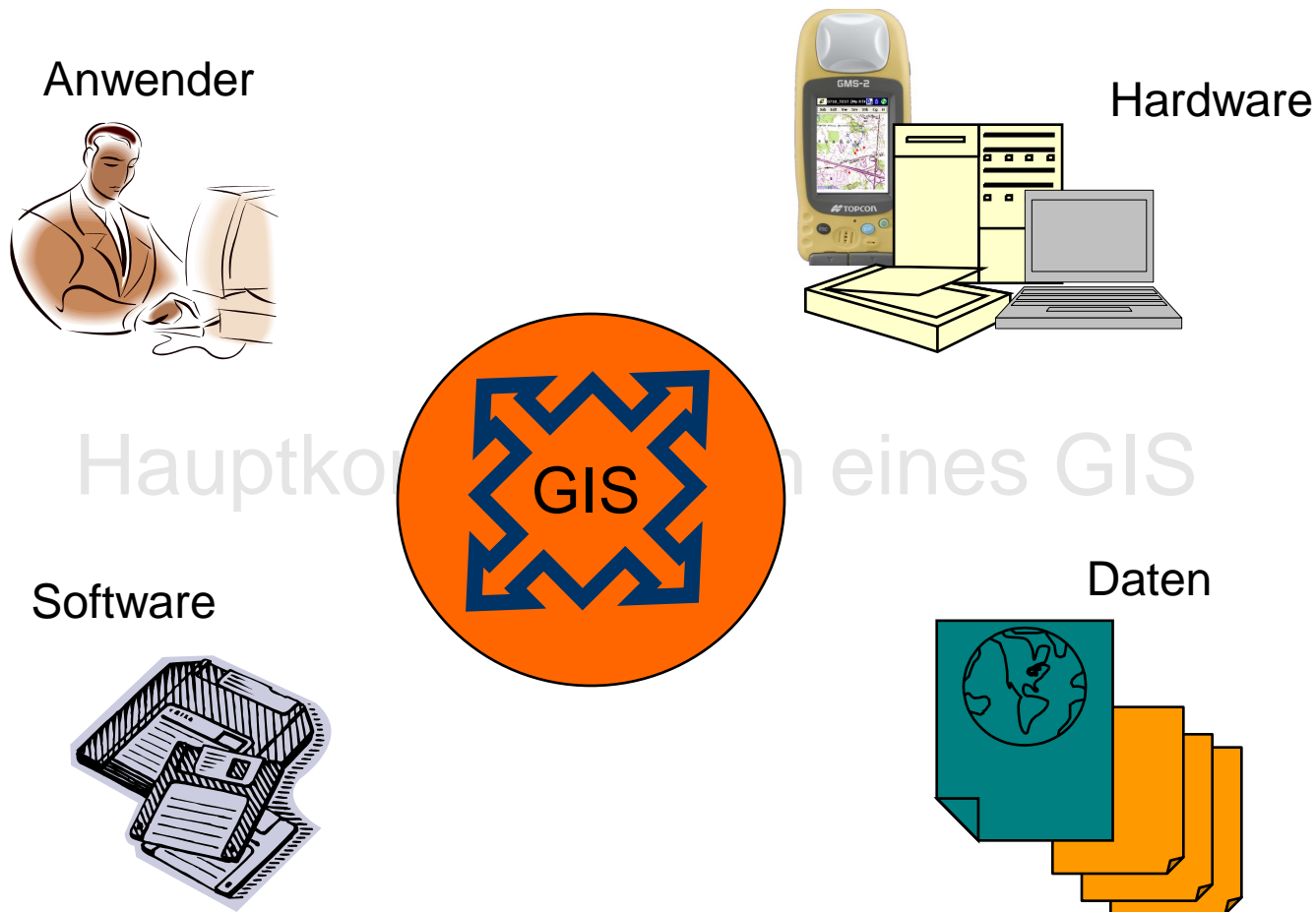
# Mobile GIS

- Durchgehender digitaler Datenfluss wird realisiert
  - Datenbearbeitung findet direkt im Gelände statt
  - Keine Reibungsverluste an der Schnittstelle Analog – Digital
  - Effizienzsteigerung
  - Durch die Kopplung GIS – GPS genaue Datenaufnahme möglich
- Arbeitsabläufe müssen allerdings gut vorbereitet werden
  - Datenauszüge (Raster- und Vektordaten)
  - Multiuserumgebung? - Sperrungen



# Effiziente Datenbearbeitung mit (mobilen) GIS ...

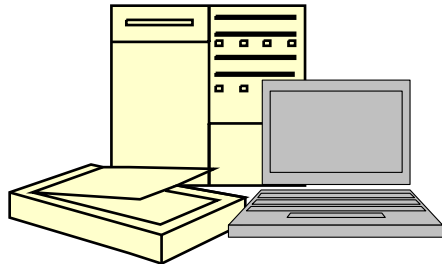
... fängt mit guter Vorbereitung an!



# Effiziente Datenbearbeitung mit (mobilen) GIS ...

... fängt mit guter Vorbereitung an!

## Hardware



- Robustheit
  - Einstrahlung, Erschütterung, Feuchtigkeit, Staub
- Bedienbarkeit
  - Display, Tastatur, Größe, Gewicht
- Ausdauer
  - Akkulaufzeiten, Ladezyklen, Ladedauer
- Schnittstellen
  - Datenaustausch, GPS
- Performance
  - Prozessor, RAM, Massenspeicher
- Genauigkeit
  - Positionsbestimmung

# Effiziente Datenbearbeitung mit (mobilen) GIS ...

... fängt mit guter Vorbereitung an!

Software

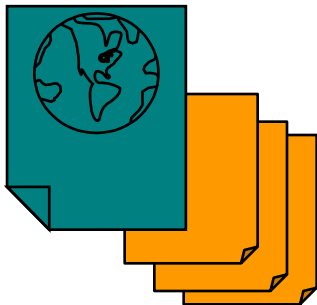
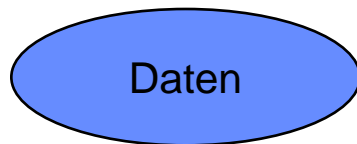


- Bedienbarkeit
  - Dialoge, Menüführung, Kontrast
- Funktionalität
  - Sachdaten, Raumbezogene Daten, Verbindung beider Datenarten
- Customizing
  - Technisch und inhaltlich, Aufwand, Möglichkeiten
- Schnittstellen
  - Datenaustausch, GPS
- Datenformate
  - Standard, proprietär



# Effiziente Datenbearbeitung mit (mobilen) GIS ...

... fängt mit guter Vorbereitung an!



- Datenmodell
  - Abhängigkeiten von Sach- und Geometriedaten, Vereinfachungen, Redundanzen vermeiden
- Datenvolumen
  - Raster-, Vektordaten, Sachdaten, Datenauszüge
- Zugriff auf Daten
  - Multiuserumgebung, Daten sperren
- Bearbeitung
  - Arbeitsablauf, geforderte Tätigkeiten, Ziele
- Darstellung
  - Ausgabemedium, Darstellungsmodelle, Legenden

# Effiziente Datenbearbeitung mit (mobilen) GIS ...

... fängt mit guter Vorbereitung an!

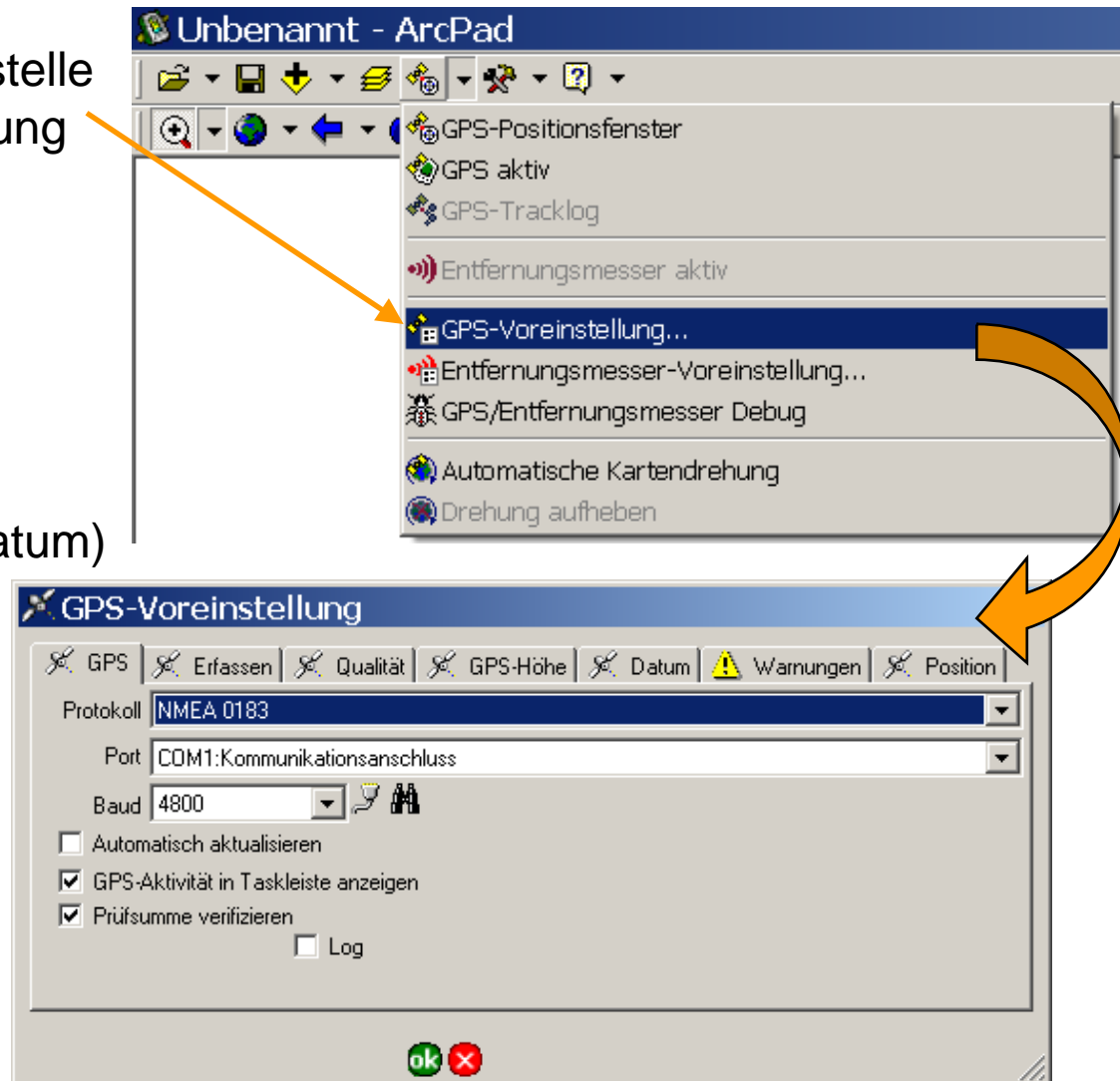
Anwender



- Know How
  - Umgang mit Hard- und Software (Schulung) und den Daten, Einführungsphasen einkalkulieren
- Akzeptanz
  - Vorteile müssen deutlich werden - ansonsten Rückfall in alte Verhaltensmuster (Arbeitsweisen)
- Ziele
  - klare Definitionen helfen, Arbeitsabläufe planen, Diagramme
- Mitarbeiterereinsatz
  - Projektbeteiligte, Kommunikation

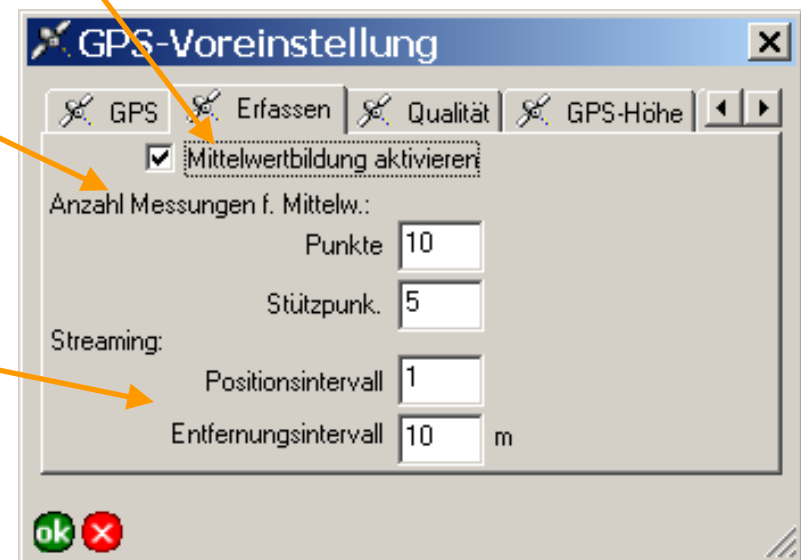
# GPS-Anbindung in ArcPad

- Einstellung der GPS-Schnittstelle über Dialog GPS-Voreinstellung
- Registerkarten zu:
  - Schnittstelle
  - Datenerfassung
  - Signalqualität
  - GPS-Höhe
  - Kartenbezugssystem (Datum)
  - Warnungen
  - GPS-Position



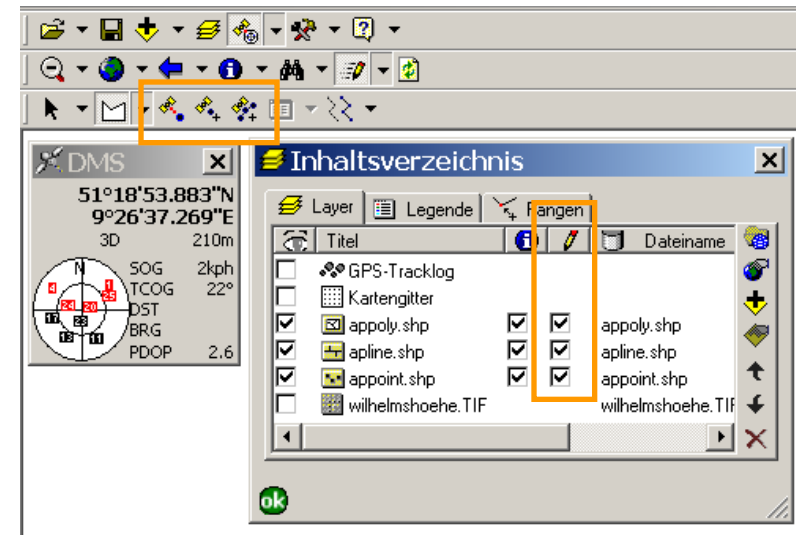
# Einstellungen für die Erfassung

- Mittelwertbildung ein- bzw. ausschalten
- Parameter für die Mittelwertbildung setzen:  
Angegebene Anzahl von Messungen wird zu einem Messpunkt gemittelt
- Einstellungen für das Streaming im kinematischen Modus:  
Steuerung der „Dichte“ von Messpunkten




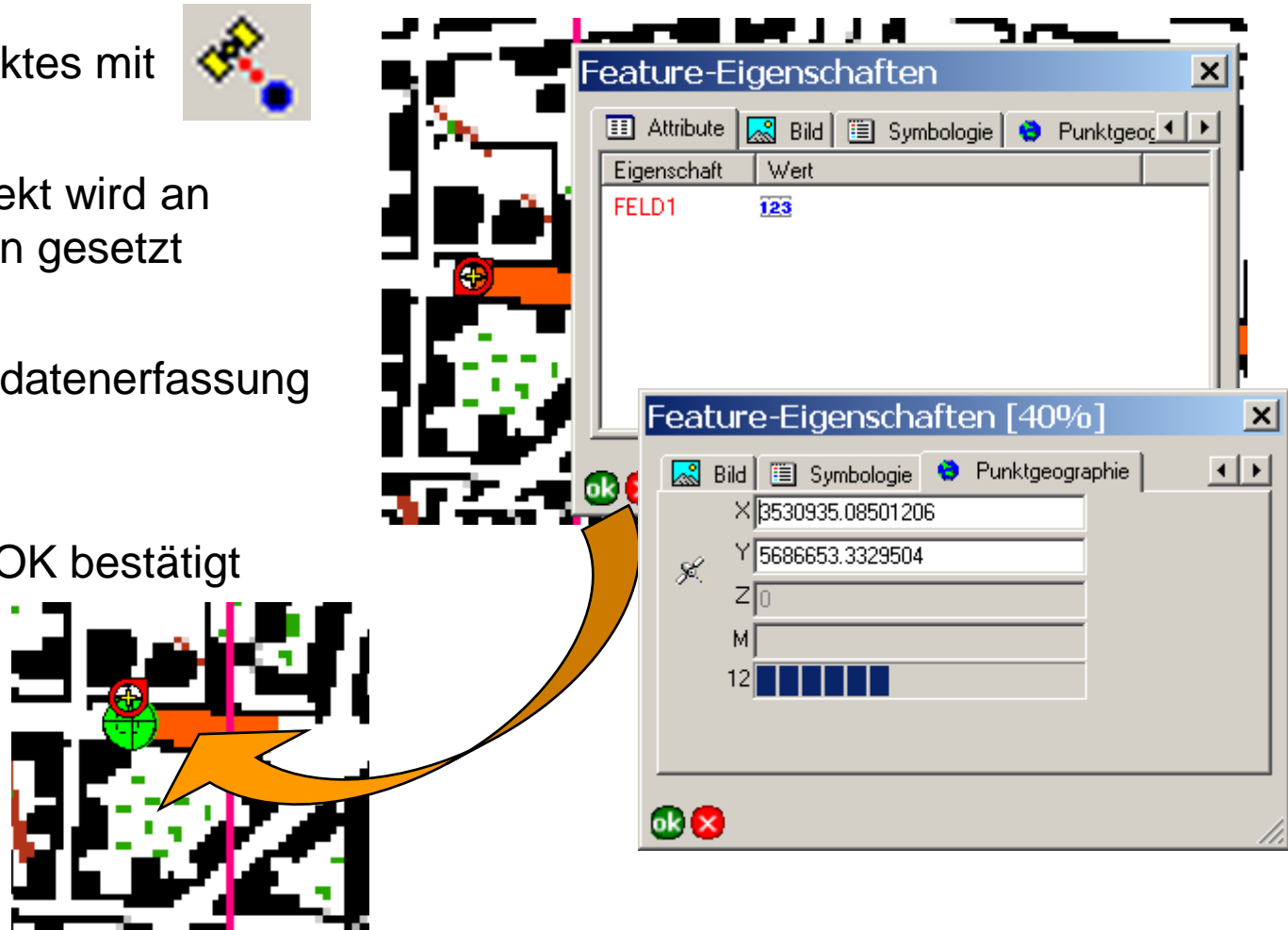
# Datenerfassung mit GPS

- Voraussetzungen (Beispiel ArcPad)
  - Kartenbezugssystem ist korrekt eingestellt
  - GPS ist aktiv und empfängt Signal in der gewünschten Qualität
  - GPS-Einstellungen, z. B. Mittelwertbildung ist korrekt eingestellt
  - Bearbeiten-Werkzeugleiste ist aktiv
  - die gewünschten Layer sind zum Bearbeiten freigegeben
- GPS Datenerfassungsfunktionen
  - Punkterfassung in Punktlayer
  - Einzel-Stützpunkterfassung in Linien- oder Polygonlayer
  - Stützpunkte für Linien- oder Polygonlayer kontinuierlich erfassen



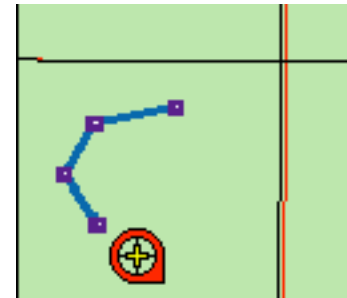
# Punkterfassung mit GPS

- Setzen des Punktes mit 
- neues Punktojekt wird an aktueller Position gesetzt
- Dialog zur Sachdatenerfassung wird geöffnet
- Objekt wird mit OK bestätigt



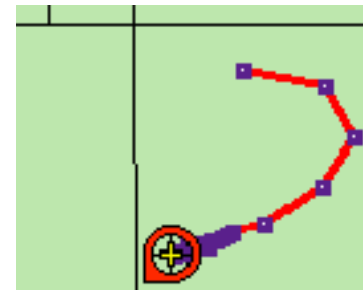
# Stützpunkterfassung mit GPS

- Objekterfassung starten für Polygon oder Linie
- Einzelstützpunkte setzen



Stützpunkt	
X	3530943.96699461
Y	5686625.79415461
Z	196.022464605069
M	
7/20	■■■■
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Abbrechen"/>	

- Im kinematischen Modus

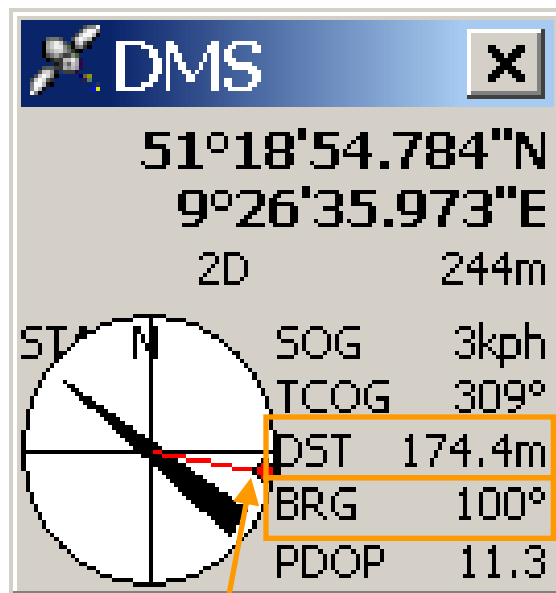
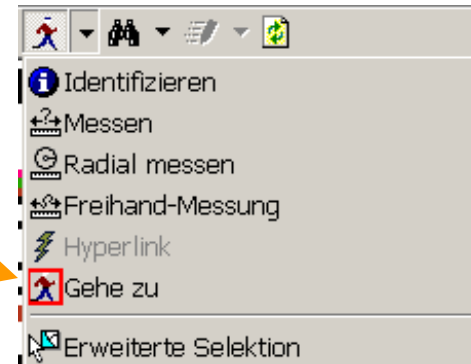


- Fertigstellung des Objektes über die Command-Bar und abschließende Sachdateneingabe

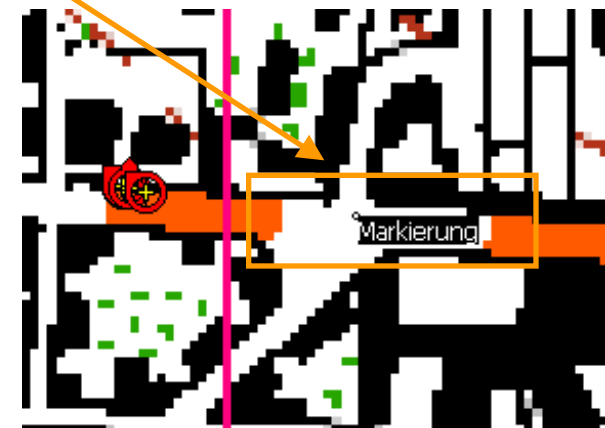


# Navigationsmodus

- „Gehe zu“ Funktion starten
- Markierung des Zielpunktes setzen
- Positionsfenster auf Navigation umschalten



Entfernung zum Ziel  
Kurswinkel zum Ziel



Anzeige der Richtung des Zielpunktes



# Praktischer Teil

- Hardware
  - TOPCON GMS-2
  - TOPCON GMS-110
- Software
  - ArcPad
  - TopPAD
- Daten
  - Rasterdaten: GoogleEarth Luftbilder
  - Vektordaten: unterschiedliche Shapedateien für Logistik im Wald

# GPS-Empfänger: TOPCON GMS 110

GPS-Rucksacklösung	
Hersteller	Topcon
Kanäle	40
Empfänger	L1
SBAS WAAS/EGNOS Support	<input checked="" type="checkbox"/>
Beacon Support	<input checked="" type="checkbox"/>
OmniSTAR VBS Support	<input checked="" type="checkbox"/>
Postprocessing	<input checked="" type="checkbox"/>
Externe Antenne	<input checked="" type="checkbox"/>
SD-Speicherkarte	<input checked="" type="checkbox"/>
Bluetooth-Schnittstelle	<input checked="" type="checkbox"/>
Serielle-Schnittstelle	<input checked="" type="checkbox"/>
Batterie-Laufzeit	15hrs GPS+Bcn+OmniSTAR
Interner Speicher	128MB On-board Flash
Betriebstemperatur	-30C to +55C
Lagerungstemperatur	-20C to +35C
Wasserfestigkeit	IP66
Vibration	IP66
Stossfestigkeit	IP66



# GPS-Empfänger: TOPCON GMS-2

GPS-Rucksacklösung	
Hersteller	Topcon
Kanäle	50
Empfänger	L1
Integrierte Digitale Kamera	
GLONASS	<input checked="" type="checkbox"/>
SBAS WAAS/EGNOS Support	<input checked="" type="checkbox"/>
Beacon Support	<input checked="" type="checkbox"/> Optional
ascos/sapos	<input checked="" type="checkbox"/>
Postprocessing	<input checked="" type="checkbox"/>
Externe Antenne	<input checked="" type="checkbox"/> Optional
SD-Speicherkarte	<input checked="" type="checkbox"/>
Bluetooth-Schnittstelle	<input checked="" type="checkbox"/>
Serielle-Schnittstelle	<input checked="" type="checkbox"/>
Batterie-Laufzeit	7,5hrs GPS+
Interner Speicher	256MB On-board Flash
Betriebstemperatur	-20 to +50C
Lagerungstemperatur	-30° to +60° C
Wasserfestigkeit	IP66
Vibration	IP66
Stossfestigkeit	IP66



Weitere Informationen zu den Thematiken (mobile)  
GIS und GPS finden Sie unter

[www.inovagis.com](http://www.inovagis.com)