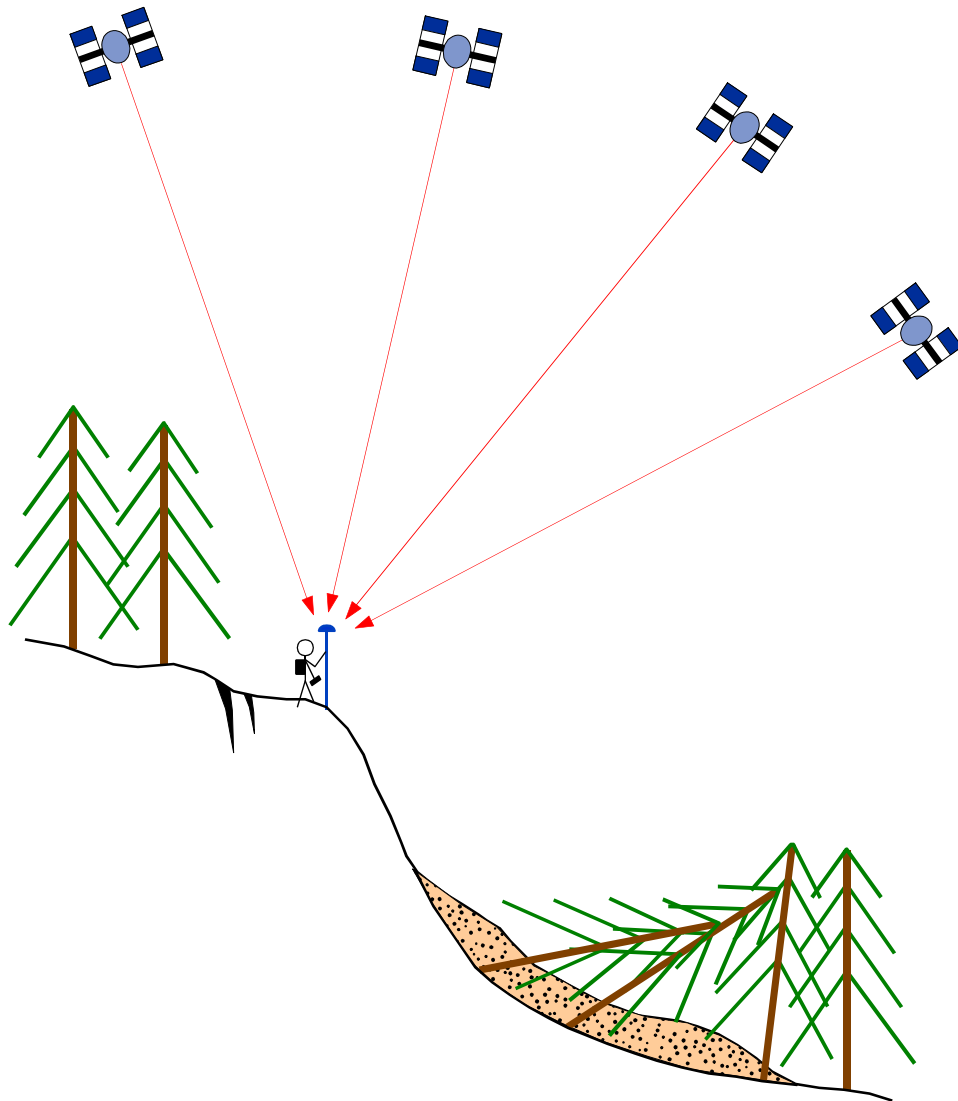


ETH Zürich
Forstliches Ingenieurwesen

Dr. E. Burlet

Global Positioning System

Grundlagen und
Anwendungsmöglichkeiten
im Forstwesen



Zürich, 15. Oktober 2001

Inhaltsverzeichnis

1. Das GPS-System

2. Literatur

3. Das Grundprinzip der GPS-Positionsbestimmung

4. Aufbau des GPS- Systems

4.1 Das Raumsegment

4.2 Das Kontrollsegment

4.3 Das Nutzersegment

5. Verfahren der GPS-Positionsbestimmung

5.1 Das absolute Messverfahren

5.2 Das differentielle Messverfahren (DGPS, Differential GPS)

6. GPS-Positionsbestimmung unter erschwerten Messbedingungen

7. GPS-Vermessung im Forstwesen

8. Absolute und differentielle Positionsbestimmung vor und nach dem 1. Mai 2000

8.1 Absolute Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

8.2 Absolute und differentielle Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

8.3 Differentielle Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

8.4 Absolute Positionsbestimmung, Messung nach 1. Mai 2000

8.5 Differentielle Positionsbestimmung, Messung nach 1. Mai 2000

9. Untersuchungen zur Genauigkeit von zwei Trimble GPS-Empfänger

9.1 Allgemeine Angaben zu den Untersuchungen

9.2 Resultate im offenen Gelände

9.21 GeoExplorer 3, Messreihen à 30 Positionen

9.22 Pathfinder Pro XR, Messreihen à 30 Positionen

9.23 Genauigkeit der untersuchten Empfänger im offenen Gelände für PDOP < 6 und SNR > 6

9.3 Resultate im Wald

9.31 GeoExplorer 3, Messreihen à 30 Positionen, PDOP < 15, SNR > 3, Hohenstein

9.32 Pathfinder Pro XR, Messreihen à 30 Positionen, PDOP < 15, SNR > 3, Hohenstein

9.33 Gemessene Positionen im Wald in Abhängigkeit von PDOP und SNR

9.34 Genauigkeit im Wald in Abhängigkeit von PDOP und SNR

9.35 Genauigkeit der untersuchten Empfänger im Wald für PDOP < 15 und SNR > 3

9.4 Anzeige "Horizontal Precision" auf dem Datacollector des Pathfinder Pro XR

10. Anwendungsbeispiele

10.1 Waldreservat Urmiberg (Kt. SZ)

10.2 Lawinenverbauung Schnürelai, Männlichen (Kt. Bern)

10.3 Rutschung Berglibach, Gemeinde Reichenburg (Kt. SZ)

10.4 Rutschungentwässerung Bärrikti Langrain, Gemeinde Vorderthal (Kt. SZ)

10.5 Strassen am Uetliberg, PDOP < 6, SNR > 6

10.6 Strassen am Uetliberg, PDOP < 12, SNR > 2

10.7 Strassen am Uetliberg, GPS und GIS

1. Das GPS-System

GPS (Global Positioning System):

- Satellitengestütztes Ortungs- und Vermessungssystem
- Ziel der satellitengestützten Ortung und Vermessung: Bestimmung der dreidimensionalen Position, der Geschwindigkeit sowie der Zeit von Punkten auf oder nahe der Erde (Ortung: Bestimmung der Koordinaten von beweglichen Punkten, Vermessung: Bestimmung der Koordinaten von fest mit der Erdoberfläche verbundenen Punkten)

Entwicklung: Streitkräfte der USA (US Department of Defence = DoD) für militärische Zwecke, heute auch für zivile Anwender nutzbar

1974 Konzept, Pflichtenheft

1978 erste GPS Satelliten im Umlauf

1993 GPS vollständig betriebsbereit

Zivile Anwendungen:

- Navigation und Ortung in der Luft, auf dem Wasser und an Land
- Erdmessung (Grossform der Erde, Dimensionen eines mittleren Erdellipsoides, Verbindung nationaler Bezugssysteme usw.)
- Geodynamik (Krustenbewegungen, Polbewegungen usw.)
- Landesvermessung (Triangulationen 1. - 3. Ordnung)
- Grundbuchvermessung (Triangulation 4. Ordnung, Parzellarvermessung)
- Ingenieurvermessung
- Kartographie

Bezugssystem von GPS: World Geodetic System (WGS 84)

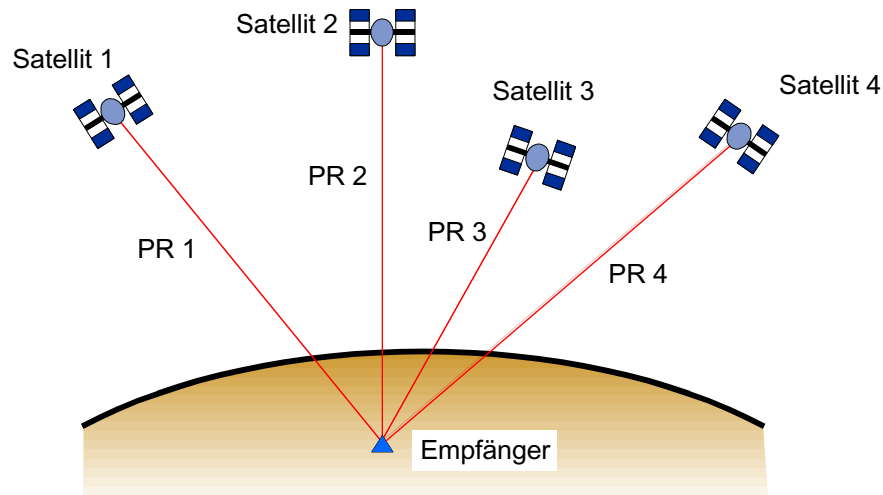
WGS 84: Globales terrestrisches Koordinatensystem mit kartesischen bzw. ellipsoidischen Koordinaten (Koordinatenursprung: Geozentrum = Mittelpunkt eines mittleren Erdellipsoides)

2. Literatur

- | | |
|--|--|
| Bauer, M. : | Vermessung und Ortung mit Satelliten.
Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1997. |
| Hofmann-Wellenhof, B. :
Lichtenegger, H.; Collins, J. | GPS in der Praxis. Springer Verlag Wien New York, 1994. |
| Seeber, G. : | Satellitengeodäsie. Walter de Gruyter á Berlin á New York, 1989. |
| Seeber, G. : | Satelliten geodesy. Walter de Gruyter á Berlin á New York, 1993. |

3. Das Grundprinzip der GPS-Positionsbestimmung

Prinzip: Ermittlung der Position (WGS 84 Koordinaten) des Empfängers durch die simultane Messung der Entfernung zwischen dem Empfänger und mindestens 4 Satelliten mit bekannten Koordinaten (gemessene Grösse: Laufzeit ΔT des abgestrahlten Satellitensignals vom Satelliten zum Empfänger)



$$PR = c \cdot \Delta T = c(t-T)$$

PR : Pseudoentfernung
(Uhrfehler, Signalgeschwindigkeit $\neq c$ im Vakuum -----> gemessene Distanz \neq wirkliche Distanz)
c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 ΔT : Signallaufzeit
t : Empfangszeit
T : Sendezeit

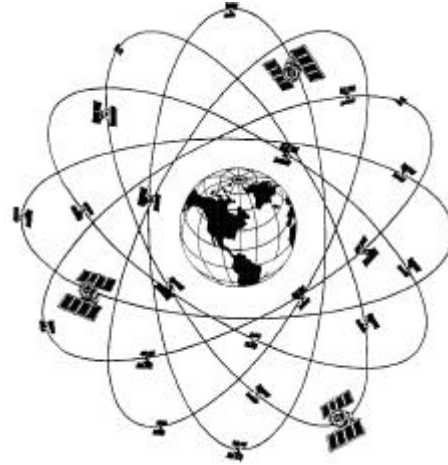
4. Aufbau des GPS- Systems

- Drei Segmente:**
- **Raumsegment** mit den aktiven Satelliten zur Signalübertragung
 - **Kontrollsegment** zur System- und Zeitkontrolle sowie zur Bahnüberwachung und -vorhersage
 - **Nutzersegment** mit anwendungsbezogenen Empfängereinheiten

4.1 Das Raumsegment

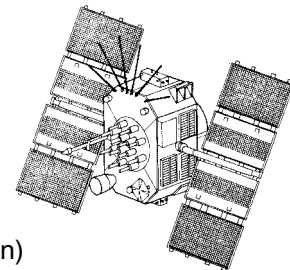
Satellitenkonfiguration (Dingetschweiler, 1993)

- 24 GPS-Satelliten in 6 Bahnebenen
- Neigung der Bahnebenen 55° gegenüber der Äquatorebene
- Höhe der Satelliten: ca. 20'000 km über Meer
- Umlaufzeit: ca. 12 Stunden



Merkmale und Ausstattung der Satelliten (Seeber 1989)

- Lebensdauer: 7.5 Jahre
- Gewicht: 845 kg
- Ausstattung:
 - zwei Sonnenkollektorplatten
 - Antriebssystem zur Lagestabilisierung und Erhaltung der Bahnposition
 - Antenne, Sender, Empfänger
 - Hochpräzisionsoszillatoren (Cäsium- und Rubidiumuhren)

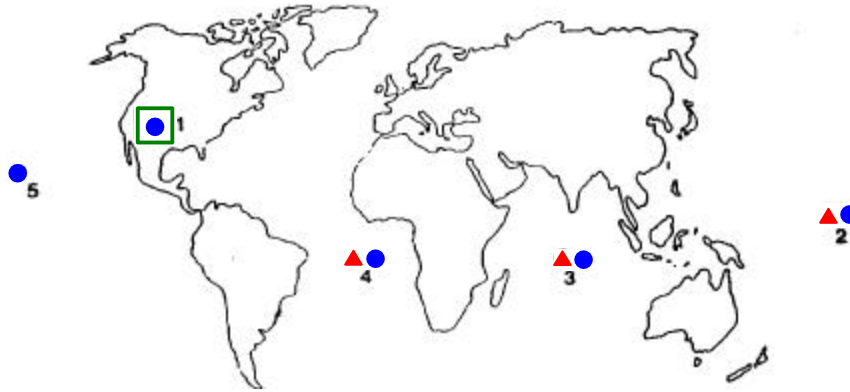


Signale der Satelliten

- Grundfrequenz der Signale: $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$
- Signale auf zwei Frequenzen:
 - L1-Signal : $f_1 = 1'575.42 \text{ MHz}$ ($154 f_0$), $\lambda = 0.19 \text{ m}$ (Trägerwellen)
 - L2-Signal : $f_2 = 1'227.60 \text{ MHz}$ ($120 f_0$), $\lambda = 0.24 \text{ m}$
- Kodierung der Signale: Auf die Trägerwellen (L1-Signal + L2-Signal) sind Codes für die Laufzeitmessung und die Navigationsnachricht aufmoduliert.
 - Laufzeitmessung:
 - C/A-Code (Clear/Acquisition) auf L1-Signal: allgemein zugänglicher Code bei eingeschränkter Genauigkeit, $f_{C/A} = 1.023 \text{ MHz}$ ($f_0/10$), $\lambda = 293.1 \text{ m}$
 - P-Code (Precise) auf L1- und L2-Signal: beschränktem Benutzerkreis zugänglicher Code bei höherer Genauigkeit, $f_P = 10.23 \text{ MHz}$ (f_0), $\lambda = 29.31 \text{ m}$
 - Navigationsnachricht: D-Code (Daten-Code, Message): Dieser Code enthält u.a. hochgenaue Zeitinformationen sowie den jeweiligen Satellitenstandort im WGS 84 - Koordinatensystem

4.2 Das Kontrollsegment

Beobachtungsstationen (Bauer1992)



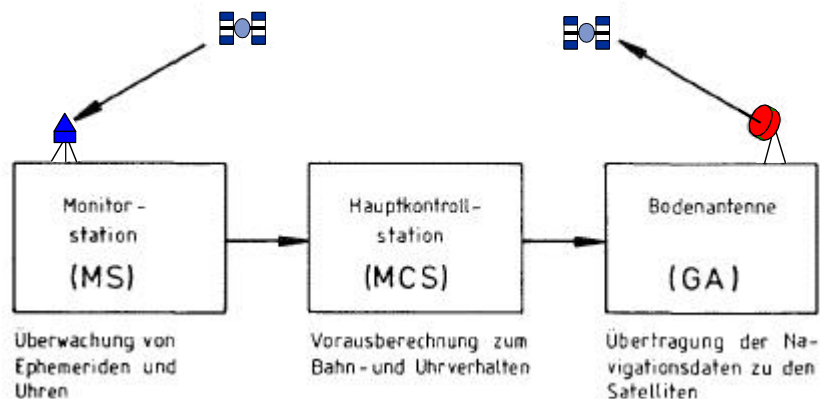
- | | | |
|-------------------|-------------|----------------|
| 1 Colorado Spring | 2 Kwajalein | 3 Diego Garcia |
| 4 Ascension | 5 Hawaii | |

- Hauptkontrollstation (Master Control Station)
- Monitorstation (Monitor Station)
- ▲ Bodenantenne (Ground Antenna)

Aufgaben des Kontrollsegments (Seeber 1989)

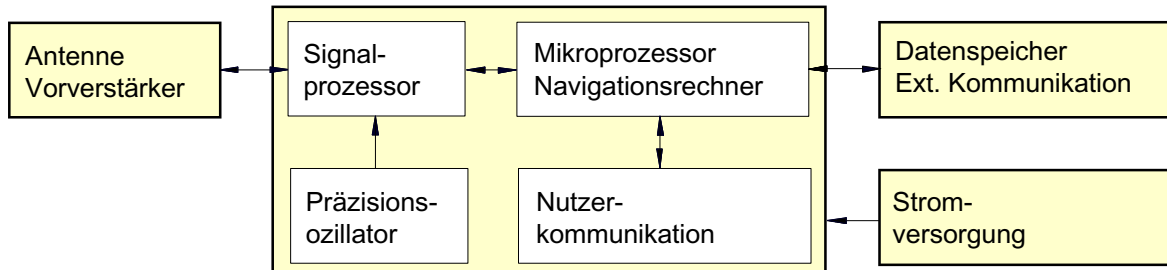
- Kontrolle des Satellitensystems
- Bestimmung der GPS Systemzeit
- Vorausberechnung der Satellitenbahnen und des Satellitenuhrverhaltens
- Einspeisen der Satelliten-Navigationsdaten in den Datenspeicher jedes Satelliten

Grundprinzip (Seeber 1989)



4.3 Das Nutzersegment

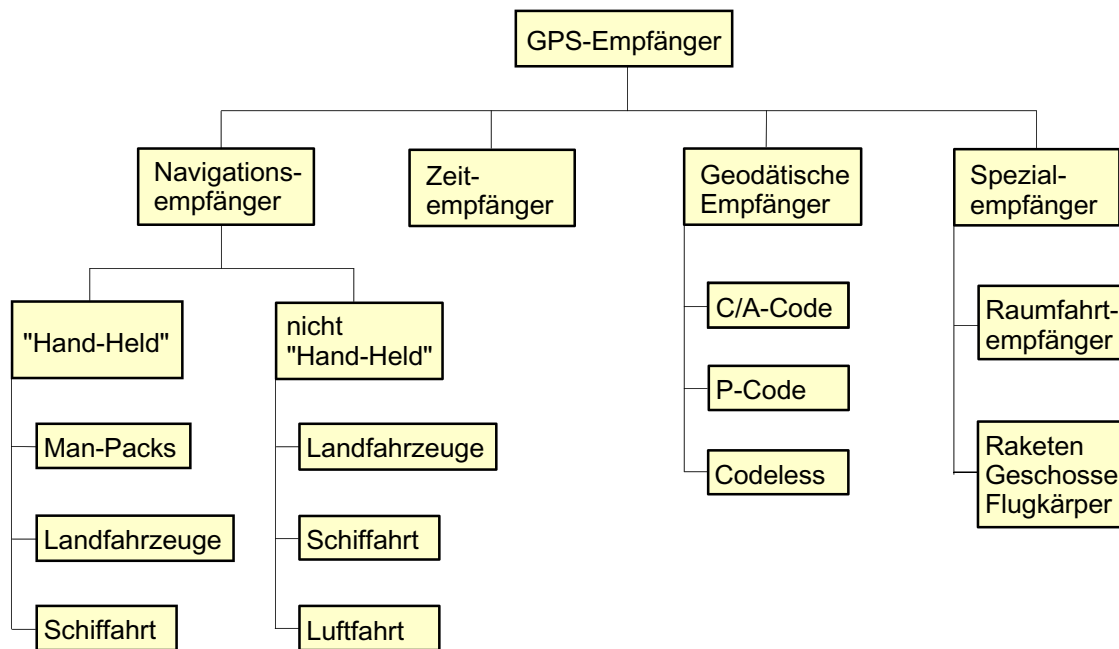
Aufbau eines GPS - Empfängers (Seeber1989)



Komponente eines Empfängers:

- Antenne mit Vorverstärker
- Signalprozessor: Hochfrequenzteil für die Signalidentifizierung und Signalverarbeitung
- Mikroprozessor: Empfängerkontrolle, Datenerfassung und Navigationslösung
- Nutzerkommunikation: Bedienungs- und Anzeigefeld
- Datenspeicher
- Präzisionsoszillator
- Stromversorgung

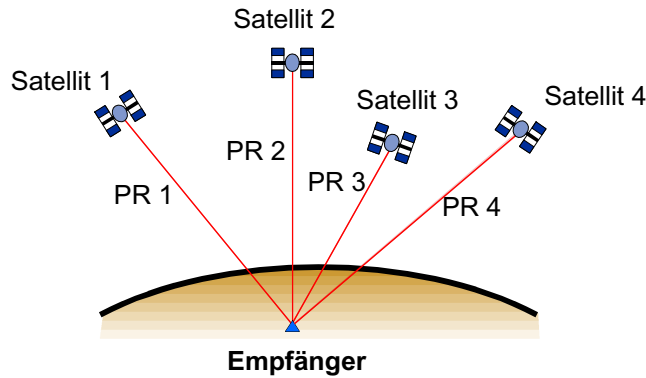
Unterteilung der GPS-Empfänger nach dem Anwenderkreis (Eissfeller 1993)



5. Verfahren der GPS-Positionsbestimmung

5.1 Das absolute Messverfahren

Prinzip: Bestimmung der Position des Empfängers in einem globalen Referenzsystem durch die simultane Messung der Pseudoentfernungen des Empfängers zu mindestens vier Satelliten



Merkmale:

- Messverfahren benötigt einen GPS-Empfänger
- Messresultate sofort verfügbar (Koordinaten in Echtzeit)

Fehlereinflüsse bei der absoluten Positionsbestimmung

Systemfehler

Satelliten: Bahnfehler Uhrfehler	Signalausbreitung: Ionosphäre Troposphäre Mehrwegausbreitung	Empfänger: Rauschen Phasenzentrum Temperatureffekte
--	---	--

Fehler infolge der Sicherungspolitik der USA

Selective Availability (SA): - Verfälschung der Satellitenbahn- und Uhrendaten
- Verrauschen der Satellitensignale

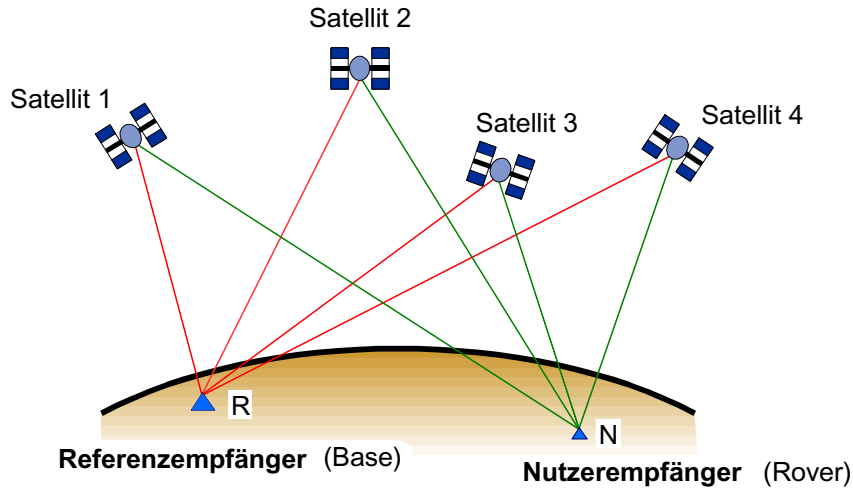
Anti-Spoofing (A-S): - Umwandlung des P-Codes in einen geheimen Y-Codes

Genauigkeit der absoluten Positionsbestimmung

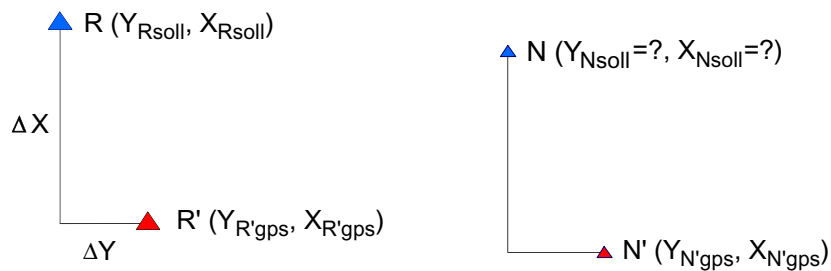
Betriebsmodus		Genauigkeit	
SA	A-S	CA-Code	P-Code
Aus	Aus	5 - 10 m	1 - 5 m
Aus	Ein	5 - 10 m	-
Ein	Aus	100 m	90 m
Ein	Ein	100 m	-

5.2 Das differentielle Messverfahren (DGPS, Differential GPS)

Prinzip: Bestimmung der Position des Empfängers in Relation zu derjenigen eines Referenzempfängers mit bekannten Koordinaten durch die simultane Messung der Pseudodistanzen der Empfänger zu mindestens vier gleichen Satelliten und durch nachfolgende Positionskorrekturen



Differentielle Korrektur



- ▲ Sollposition des Referenzempfängers (bekannt)
- ▲ Sollposition des Nutzerempfängers (unbekannt)
- ▲ GPS-Position des Referenzempfängers
- ▲ GPS-Position des Nutzerempfängers

Fehler in den GPS-Koordinaten bei benachbarten Empfängern sind von ähnlicher Größenordnung :

$$\begin{aligned} Y_{Rsoll} - Y_{R'gps} = \Delta Y & \quad \text{-----} \rightarrow & Y_{Nsoll} \approx Y_{N'gps} + \Delta Y \\ X_{Rsoll} - X_{R'gps} = \Delta X & \quad \text{-----} \rightarrow & X_{Nsoll} \approx X_{N'gps} + \Delta X \end{aligned}$$

Merkmale:

- Messverfahren benötigt mindestens 2 GPS-Empfänger
- Referenzempfänger auf einem Punkt mit bekannten Koordinaten
- Messresultate nur bei Funkverbindung zwischen den Empfängern in Echtzeit verfügbar

4.2 Das differentielle Messverfahren (DGPS, Differential GPS)

Betriebsformen beim Differential GPS

Empfänger ohne Funkeinrichtung (DGPS):

Die Messdaten werden von Referenz- und Nutzerempfänger simultan aufgenommen. Anschließend werden sie zur Auswertung auf einen PC übertragen. Die differentiell korrigierten Positionen sind somit nur Post-Processing (nicht in Echtzeit) verfügbar.

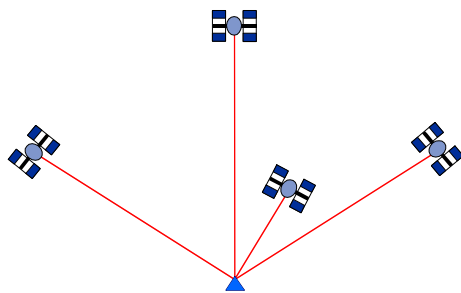
Empfänger mit Funkeinrichtung (RDGPS, RDS-DGPS):

Die Messdaten werden von Referenz- und Nutzerempfänger simultan aufgenommen. Die in dem Referenzempfänger ermittelten Korrekturwerte werden über Funk dem Nutzerempfänger in Echtzeit übermittelt. Der Nutzerempfänger errechnet aus den Korrekturwerten die differentiell korrigierten Positionen, die damit in Echtzeit (Real-Time) verfügbar sind.

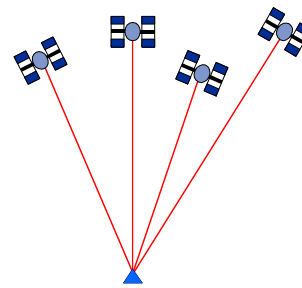
Fehlereinflüsse bei der differentiellen Positionsbestimmung

Eliminierte oder stark reduzierte Fehler: Verfälschung durch SA, Uhrfehler, Bahnfehler, Ionosphäre, Troposphäre u. a.

Massgebende Fehlereinflüsse: - Messrauschen des Empfängers (zufälliger Fehler)
- Satellitengeometrie



Gute Geometrie



Schlechte Geometrie

Mass für die Satellitengeometrie: PDOP (Position Dilution of Precision)	
PDOP-Werte	Satellitengeometrie
< 4	sehr gut
4 - 6	gut
6 - 8	mittelmässig
8 - 12	schlecht
> 12	sehr schlecht

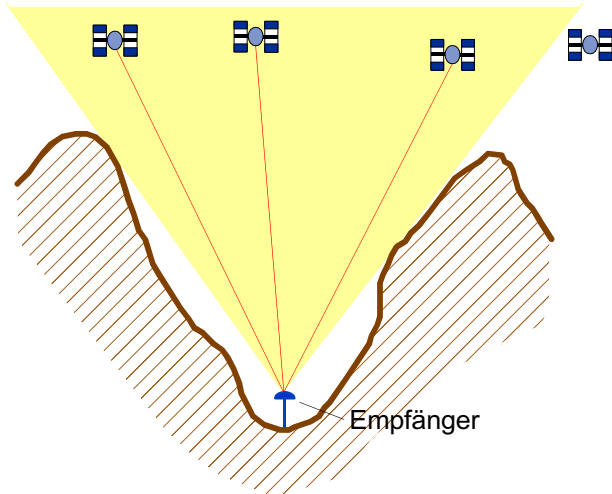
Genauigkeit der differentiellen Positionsbestimmung

Messmethode	Genauigkeit
Code- Messung	0.5 - 5 m
Träger-Phasenmessung	0.001 - 0.1 m

6. GPS-Positionsbestimmung unter erschwerten Messbedingungen

Topographische Verhältnisse

Abschattung in einem engen Tal



Auswirkungen der Topographie:

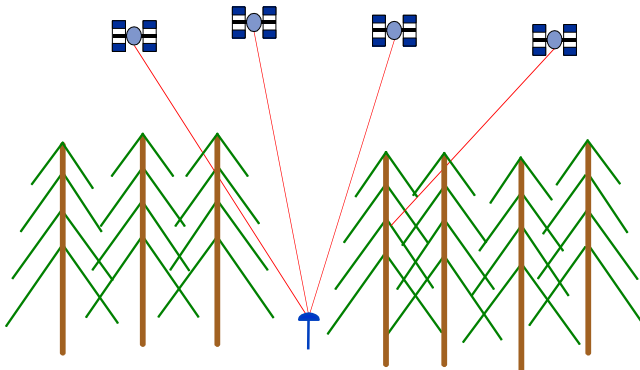
- Sichtverbindung zu mindestens vier Satelliten nicht immer gewährleistet
—> Reduktion der verfügbaren Messzeit
- minimale Anforderung an die Satellitengeometrie nicht erfüllt
—> Reduktion der verfügbaren Messzeit oder (Verminderung der Genauigkeit)

Beispiele (PDOP 6, 3D-Modus):

- Ebene: verfügbare Messzeit ca. 23.5 h
- Fuss einer südexponierten Felswand (Neigung 80°): verfügbare Messzeit ca. 8.5 h
- Fuss einer nordexponierten Felswand (Neigung 80°): verfügbare Messzeit ca. 6.0 h

Wald

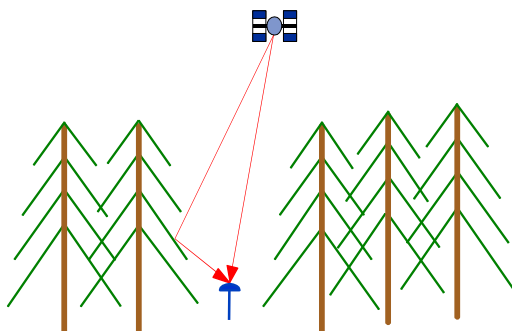
Abschattung



Auswirkungen des Waldbestandes:

- Sichtverbindung zu mindestens vier Satelliten nicht immer gewährleistet
—> Reduktion der verfügbaren Messzeit
- minimale Anforderung an die Satellitengeometrie nicht erfüllt
—> Reduktion der verfügbaren Messzeit oder (Verminderung der Genauigkeit)
- Verschlechterung des Signal-Rauschverhältnisses beim Durchdringen des Kronendaches
—> Verminderung der Genauigkeit
- Verschlechterung der Signalqualität bei Feuchtigkeit auf den Blättern und Nadeln durch Absorption eines Teils des Satellitensignals
—> Verminderung der Genauigkeit
- Mehrwegausbreitung der Signale durch Reflexion der Signale an der Oberfläche der Bäume in der Nähe des Empfängers
—> Verminderung der Genauigkeit

Mehrwegausbreitung der Signale



7. GPS-Vermessung im Forstwesen

Geeignester Empfängertyp: Navigationsempfänger mit einer Messgenauigkeit besser als **1 m** im offenen Land bzw. besser als **5 m** im Wald, Messresultate auf GIS übertragbar

Haupteinsatzgebiet: Topographische Vermessung (Kartierung) für Karten mit einem Massstab von 1 : 5'000 und kleiner (Fehler auf der Karte 1.0 mm bei einem Massstab von 1 : 5'000)

Konkrete Einsatzmöglichkeiten:

Walderschliessung:

- Aufnahme von bestehenden Wald- und Güterstrassen sowie von den dazugehörigen Anlagen, wie Kunstbauten, Entwässerungsanlagen (Durchlässe, Schächte, Längsdrainagen), Ausweichstellen, Kehrplätze, Lagerplätze
- Aufnahme von Maschinenwegen und Rückegassen
- Aufnahme der generellen Linienführung von geplanten Erschliessungsnetzen
- Längenprofilaufnahme bei Seillinien !!

Naturgefahren

- Kartierung von Rutschungsflächen, Lawinenausläufflächen, Ueberschwemmungs- bzw Ueber-saarungsflächen, Erosionsflächen
- Aufnahme von Verbauungen, wie Lawinen-, Hang- und Wildbachverbauungen
- Aufnahme von Entwässerungsanlagen
- Längenprofilaufnahme bei Wildbächen, Rutschungsflächen, Lawinensturzbahnen u. ä. !!!

Waldinventur, Natur- und Landschaftsschutz

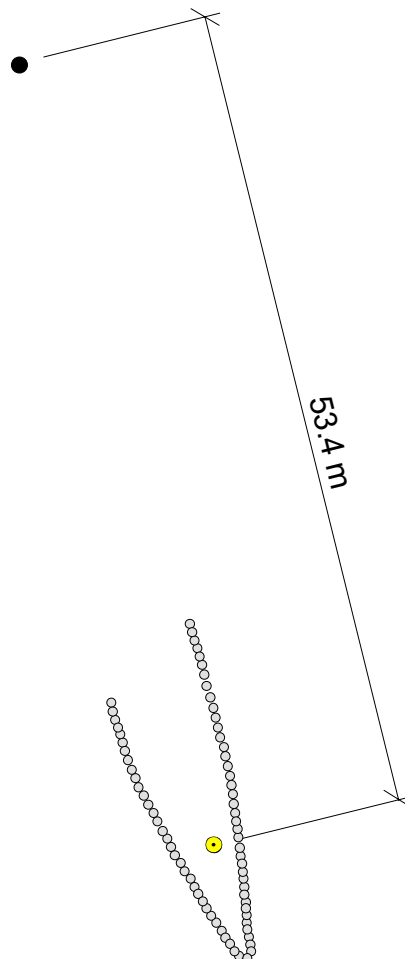
- Kartierung von Waldflächen, wie Schadenflächen, Verjüngungsflächen, Waldreservate, Versuchsflächen
- Kartierung von Biotopen, Naturdenkmälern, Quellgebieten, markanten Bäumen u. ä.
- Festlegen und Aufsuchen von Stichproben !!!

8. Absolute und differentielle Positionsbestimmung vor und nach dem 1. Mai 2000

8.1 Absolute Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

Standort: ETH-Zentrum, Punkt WW
Empfänger: Pathfinder ProXL
Messung: WW04013
Messverfahren: Absolut-GPS
Messdauer: 180 Sekunden
Messintervall: 1 Sekunde

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position der Messreihe

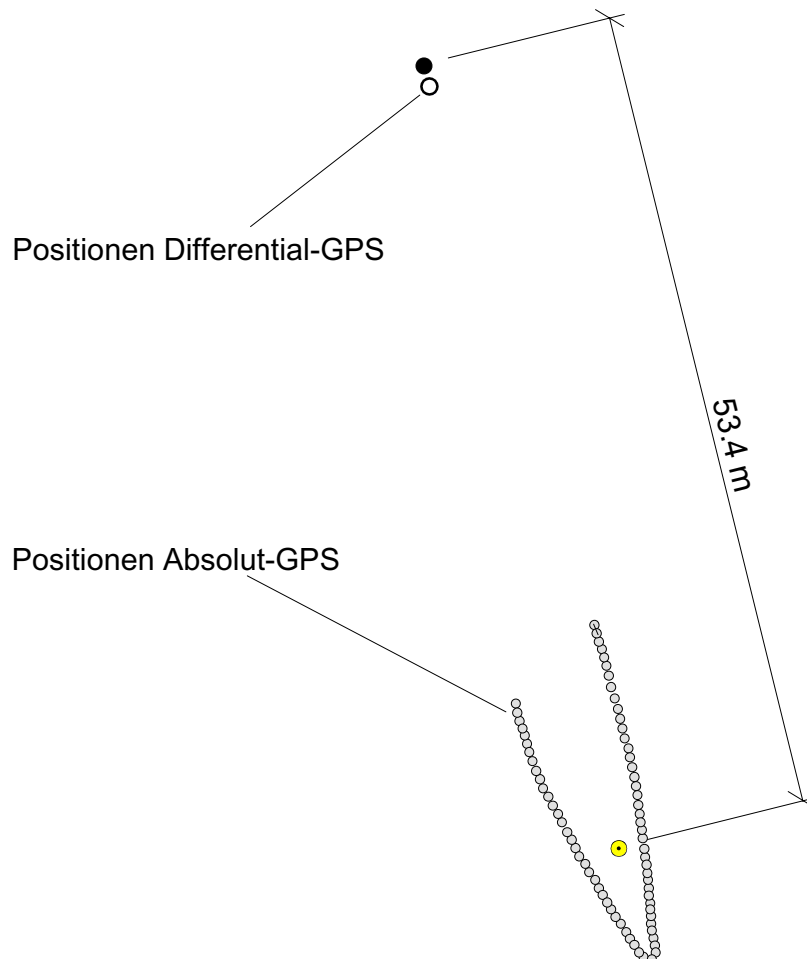


Massstab: 1 : 500

8.2 Absolute und differentielle Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

Standort: ETH-Zentrum, Punkt WW
Empfänger: Pathfinder ProXL
Messung: WW04013
Messdauer: 180 Sekunden
Messintervall: 1 Sekunde

- Position des Punktes gemäss Vermessung

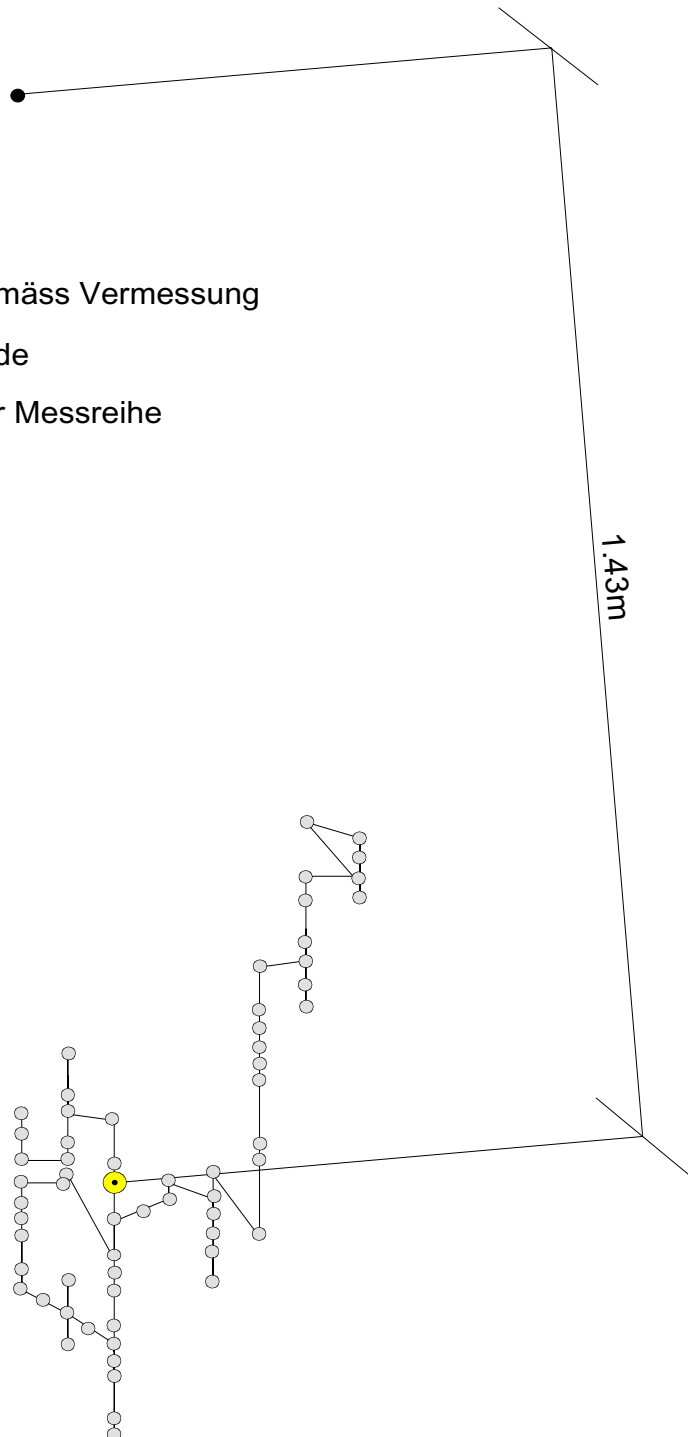


Masstab: 1 : 500

8.3 Differentielle Positionsbestimmung, Messung vor 1. Mai 2000

Standort: ETH-Zentrum, Punkt WW
Empfänger: Pathfinder ProXL
Messung: WW04013
Messverfahren: Differential-GPS
Messdauer: 180 Sekunden
Messintervall: 1 Sekunde

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position der Messreihe

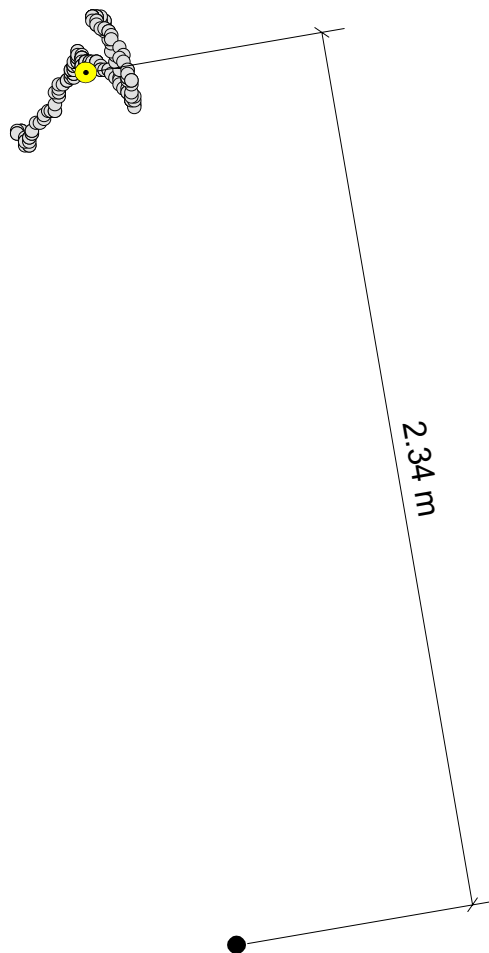


Masstab: 1 : 10

8.4 Absolute Positionsbestimmung, Messung nach 1. Mai 2000

Standort: ETH-Zentrum, Punkt W
Empfänger: Pathfinder ProXL
Messung: W0765
Messverfahren: Absolut-GPS
Messdauer: 180 Sekunden
Messintervall: 1 Sekunde

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position der Messreihe

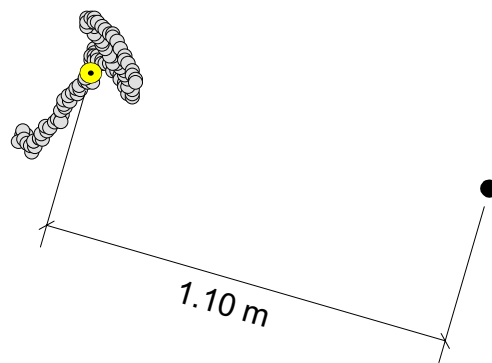


Massstab: 1 : 20

8.5 Differentielle Positionsbestimmung, Messung nach 1. Mai 2000

Standort: ETH-Zentrum, Punkt W
Empfänger: Pathfinder ProXL
Messung: W0765
Messverfahren: Differential-GPS
Messdauer: 180 Sekunden
Messintervall: 1 Sekunde

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position der Messreihe



Massstab: 1 : 20

9. Untersuchungen zur Genauigkeit von zwei Trimble GPS-Empfänger

9.1 Allgemeine Angaben zu den Untersuchungen

Untersuchte GPS-Empfänger:

- GeoExplorer 3: - Hand-GPS zur einfachen Erfassung und Nachführung von GIS-Daten
- 12-Kanal-GPS-Empfänger
- L1/CA-Codemessung und Phasenmessung
- Integrierte GPS-Antenne oder Aussenantenne
- Genauigkeit gemäss Hersteller: **1 m** nach Differentialkorrektur (Codemessung)
- Pathfinder Pro XR: - Leistungsfähiger und präziser GPS-Empfänger zur Echtzeit-GPS-Kartierung und GIS-Datenerfassung
- 12-Kanal-GPS-Empfänger
- L1/CA-Codemessung mit Trägerphasen gefilterten Messungen und Phasenmessung
- Aussenantenne
- Genauigkeit gemäss Hersteller (RMS): **0.5 m** nach Differentialkorrektur (Codemessung)

Messstandorte:

- ETH-Zentrum: - Punkt W (auf dem Dach des Hauptgebäude)
- Koordinaten: 683726.425, 247850.975, 480.522
- offenes Gelände (keine Abschattung)
- Hohenstein: - Punkt 367
- Koordinaten: 679251.952, 246232.295, 717.587
- Wald (Deckungsgrad zwischen 80 und 90%)
- Topographie: erhöhter Punkt auf der Krete des Uetlibergs, Geländeneigung unterhalb des Punktes: 70-80%
- Waldegg: - Punkt AR 682
- Koordinaten: 677944.045, 246502.614, 633.43
- Wald (Deckungsgrad zwischen 60 und 70%)
- Topographie: schwach gegen Norden geneigter Hang, Geländeneigung: 5-10%

Versuchsordnung:

- Messung: Codemessung
Differentielle Korrektur: Post-Processing
Korrekturdaten: allnav
Empfängereinstellungen: Elevation: 13°

PDOP	SNR
6	6
9	6
12	6
15	6

PDOP	SNR
6	3
9	3
12	3
15	3

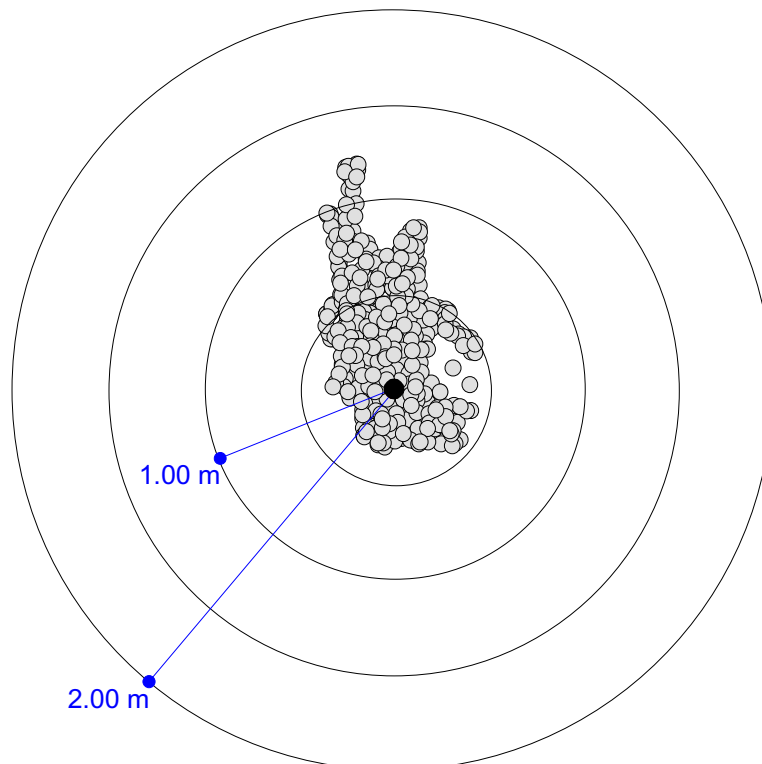
- Messdauer pro Empfängereinstellung: 4 Stunden (14'400 Sekunden)
Messintervall: 1 Sekunde
Anzahl mögliche Positionen: 14'400

9.22 Pathfinder Pro XR, Messreihen à 30 Positionen

Standort: ETH-Zentrum, Punkt W, keine Abschattung

Empfänger:	Pathfinder Pro XR
Messverfahren:	Differential GPS
Anzahl Messreihen:	939
Positionen pro Messreihe:	30
PDOP:	< 6
SNR:	> 6

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- Mittlere GPS-Position pro Messreihe



Masstab: 1 : 40

9.23 Genauigkeit der untersuchten Empfänger im offenen Gelände für PDOP < 6 und SNR > 6

Empfänger: GeoExplorer 3 mit Aussenantenne
Pathfinder Pro XR

PDOP: < 6

SNR: > 6

Messverfahren: Differential GPS

Messdauer: 4 Stunden

Mögliche Positionen: 14'400 (100%)

Gemessene Positionen:

- GeoExplorer 3 mit Aussenantenne: 14'400 (100%)
- Pathfinder Pro XR: 14'100 (98%)

Positionen pro Messreihe	Genauigkeit in Metern bei 95%-Quantil	
	GeoExplorer 3	Pathfinder Pro XR
1	1.70	0.77
30	1.67	0.77
60	1.60	0.77
90	1.54	0.76
120	1.50	0.76
180	1.46	0.76
300	1.36	0.75

Positionen pro Messreihe	Genauigkeit in Metern bei 100%-Quantil*	
	GeoExplorer 3	Pathfinder Pro XR
1	3.41	1.21
30	3.37	1.18
60	3.30	1.17
90	3.17	1.16
120	3.06	1.16
180	2.70	1.15
300	2.18	1.08

* Messreihe mit der grössten Abweichung vom Vermessungspunkt

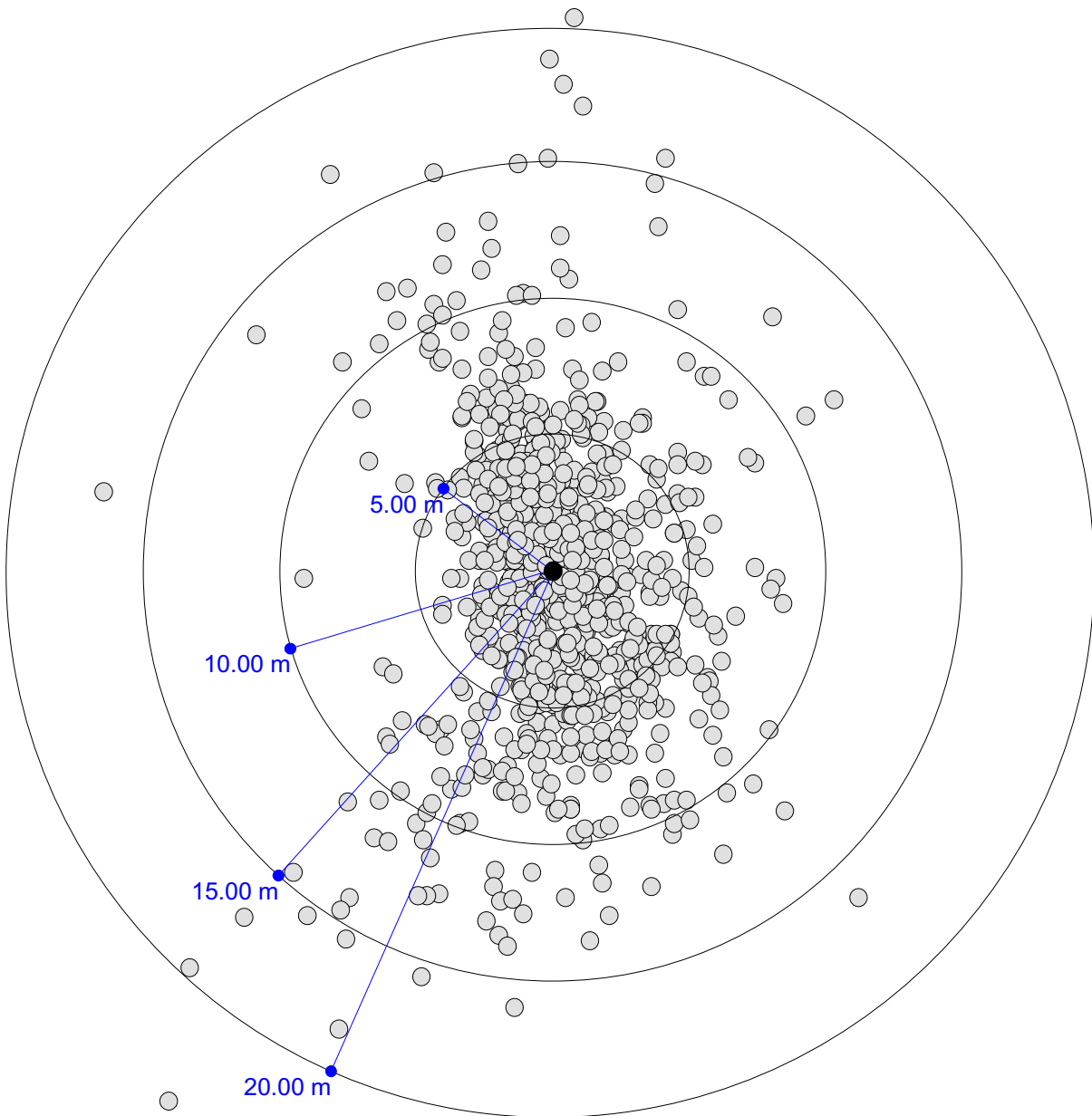
9.3 Resultate im Wald

9.31 GeoExplorer 3, Messreihen à 30 Positionen, PDOP < 15, SNR > 3, Hohenstein

Standort: Hohenstein, Punkt 367, Wald, Deckungsgrad 80-90%

Empfänger: Geoexplorer 3 mit Aussenantenne
Messverfahren: Differential GPS
Anzahl Messreihen: 929
Positionen pro Messreihe: 30
PDOP: < 15
SNR: > 3

- Position des Punktes gemäss Vermessung
- Mittlere GPS-Position pro Messreihe



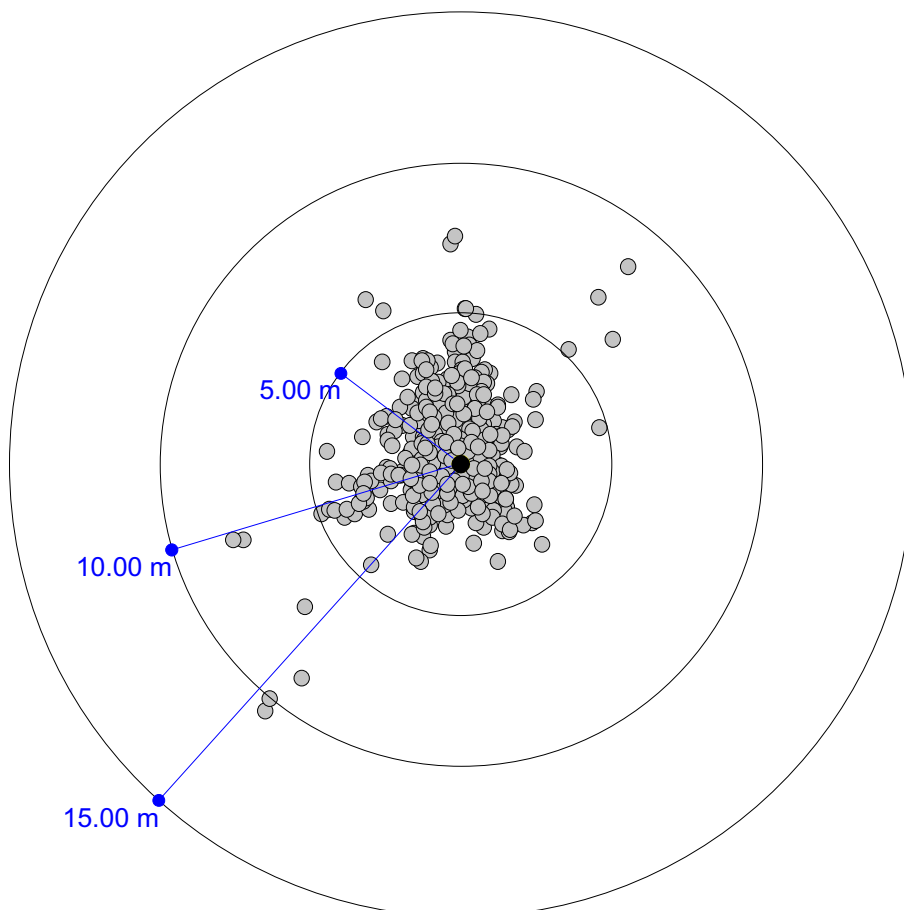
Masstab: 1 : 250

9.32 Pathfinder Pro XR, Messreihen à 30 Positionen, PDOP < 15, SNR > 3, Hohenstein

Standort: Hohenstein, Punkt 367, Wald, Deckungsgrad 80-90%

Empfänger:	Pathfinder Pro XR
Messverfahren:	Differential GPS
Anzahl Messreihen:	931
Positionen pro Messreihe:	30
PDOP:	< 15
SNR:	> 3

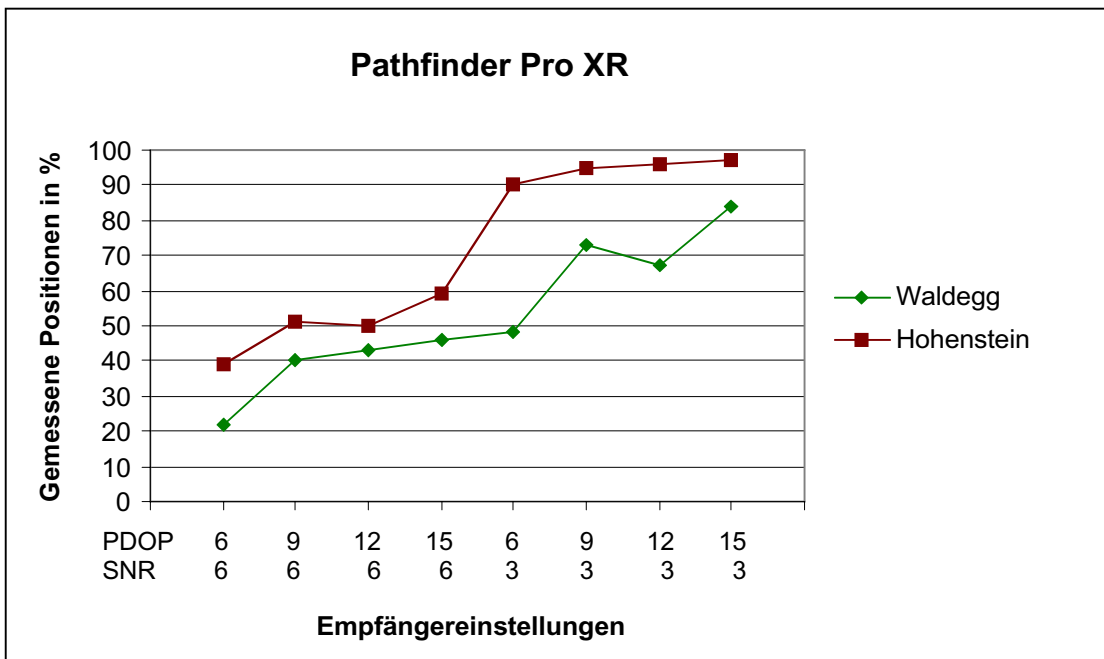
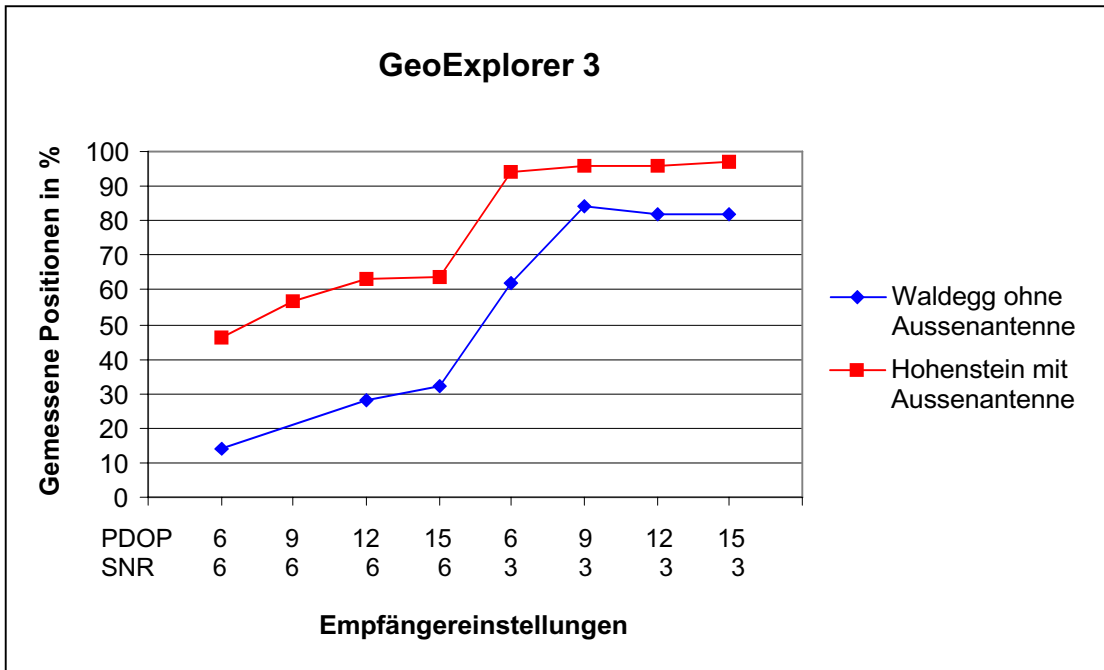
- Position des Punktes gemäss Vermessung
- Mittlere GPS-Position pro Messreihe



Massstab: 1 : 250

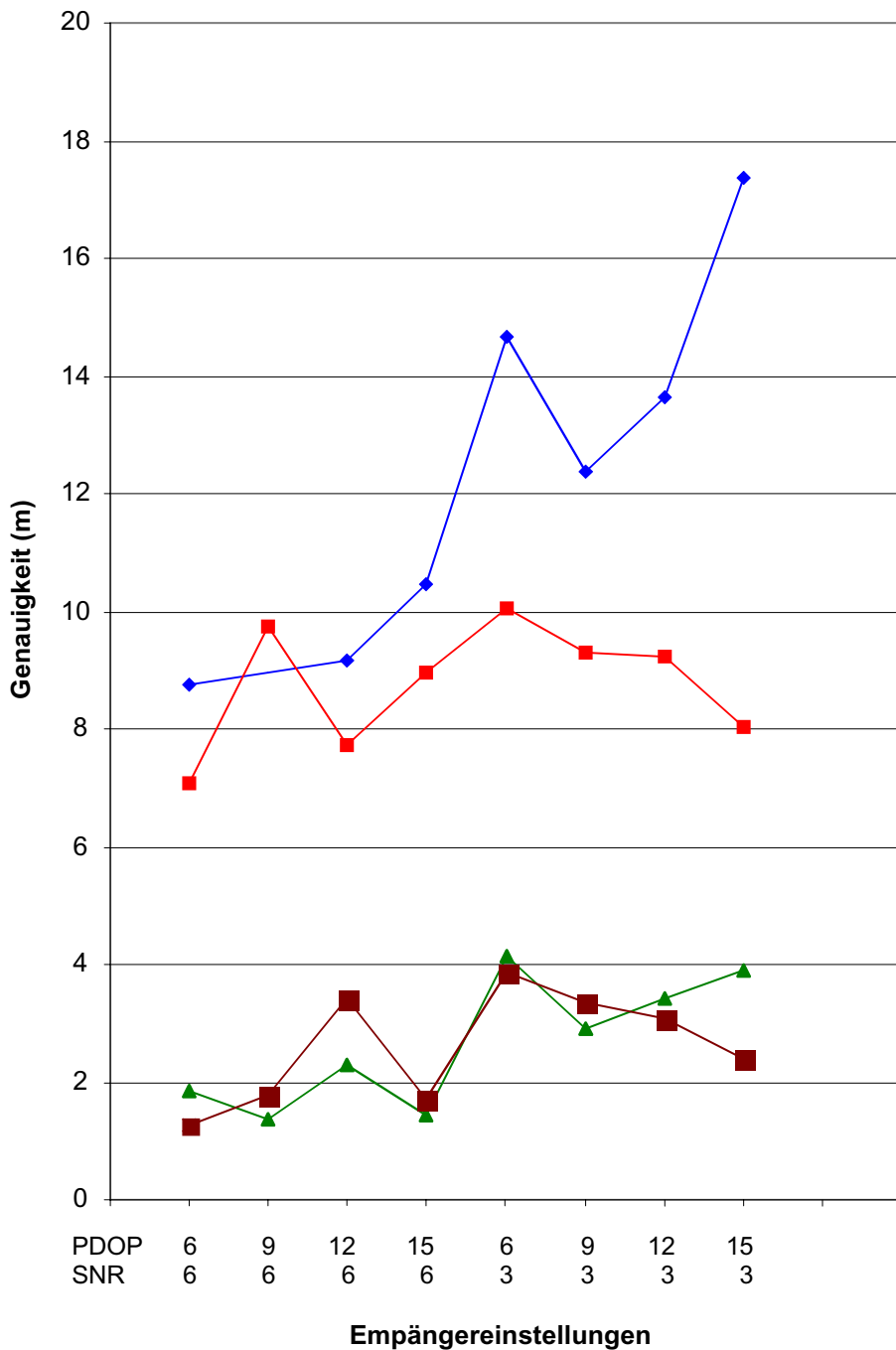
9.33 Gemessene Positionen im Wald in Abhängigkeit von PDOP und SNR

Messdauer: 4 Stunden
Mögliche Positionen: 14'400 = 100.0%



9.34 Genauigkeit im Wald in Abhängigkeit von PDOP und SNR

Genauigkeit der Messreihen à 180 Positionen bei 95% Quantil



GeoExplorer 3
—◆— Waldegg ohne Aussenantenne
—■— Hohenstein mit Aussenantenne
Pathfinder Pro XL
—▲— Waldegg
—■— Hohenstein

9.35 Genauigkeit der untersuchten Empfänger im Wald für PDOP < 15 und SNR > 3

Empfänger: GeoExplorer 3 ohne und mit Aussenantenne
 Pathfinder Pro XR

Messverfahren: Differential GPS

Messdauer: 4 Stunden

Standorte: Waldegg (GeoExplorer 3 ohne Aussenantenne)
 Hohenstein (GeoExplorer 3 mit Aussenantenne)

Positionen pro Messreihe	Genauigkeit in Metern bei 95%-Quantil			
	GeoExplorer 3		Pathfinder Pro XR	
	Waldegg	Hohenstein	Waldegg	Hohenstein
1	39.76	15.13	7.95	4.42
30	29.30	11.84	6.49	3.51
60	23.12	10.13	5.38	3.25
90	21.70	9.42	4.84	3.05
120	19.39	8.73	4.21	2.84
180	17.37	8.03	3.91	2.38
300	13.86	7.58	3.41	2.06

Positionen pro Messreihe	Genauigkeit in Metern bei 100%-Quantil*			
	GeoExplorer 3		Pathfinder Pro XR	
	Waldegg	Hohenstein	Waldegg	Hohenstein
1	153.69	78.91	51.54	17.49
30	74.53	23.77	15.33	10.46
60	48.95	17.79	9.26	9.45
90	36.25	16.10	7.84	7.58
120	30.31	14.63	7.15	6.49
180	25.96	12.51	6.12	4.31
300	18.70	8.82	4.67	2.87

* Messreihe mit der grössten Abweichung vom Vermessungspunkt

9.4 Anzeige "Horizontal Precision" auf dem Datacollector des Pathfinder Pro XR

Standort: Hohenstein, Punkt 367
Koordinaten: 679251.95, 246232.30

Empfänger: Pathfinder Pro XR
 Messung: hoc153
 Messdauer: 4 Stunden
 PDOP: < 15
 SNR: > 3

Ausschnitt der Messung hoc153

Nr.	Datum*	Zeit*	Y-Koordinate*	X-Koordinate*	PDOP*	Horizontal Precision* (m)	Effektive Messgenauigkeit (m)
30	17.08.00	12:09:51	679250.83	246232.03	6.0	1.19	1.34
31	17.08.00	12:09:52	679250.94	246231.94	6.0	1.19	1.20
32	17.08.00	12:09:53	679251.04	246231.86	6.0	1.19	1.07
33	17.08.00	12:09:54	679251.15	246231.79	6.0	1.19	0.94
34	17.08.00	12:09:55	679251.25	246231.72	6.0	1.19	0.82
35	17.08.00	12:09:56	679251.30	246231.70	6.0	1.19	0.76
36	17.08.00	12:09:57	679251.36	246231.67	6.0	1.19	0.70
37	17.08.00	12:09:58	679257.15	246230.52	2.1	0.34	5.26
38	17.08.00	12:09:59	679257.16	246230.53	2.1	0.34	5.27
39	17.08.00	12:10:00	679257.12	246230.53	2.1	0.34	5.23
40	17.08.00	12:10:01	679257.12	246230.54	2.1	0.34	5.23
41	17.08.00	12:10:02	679257.12	246230.54	2.1	0.34	5.23
42	17.08.00	12:10:03	679257.09	246230.58	2.1	0.34	5.19
43	17.08.00	12:10:04	679257.08	246230.58	2.1	0.34	5.18
44	17.08.00	12:10:05	679257.05	246230.59	2.1	0.34	5.15
45	17.08.00	12:10:06	679257.01	246230.61	2.1	0.34	5.11

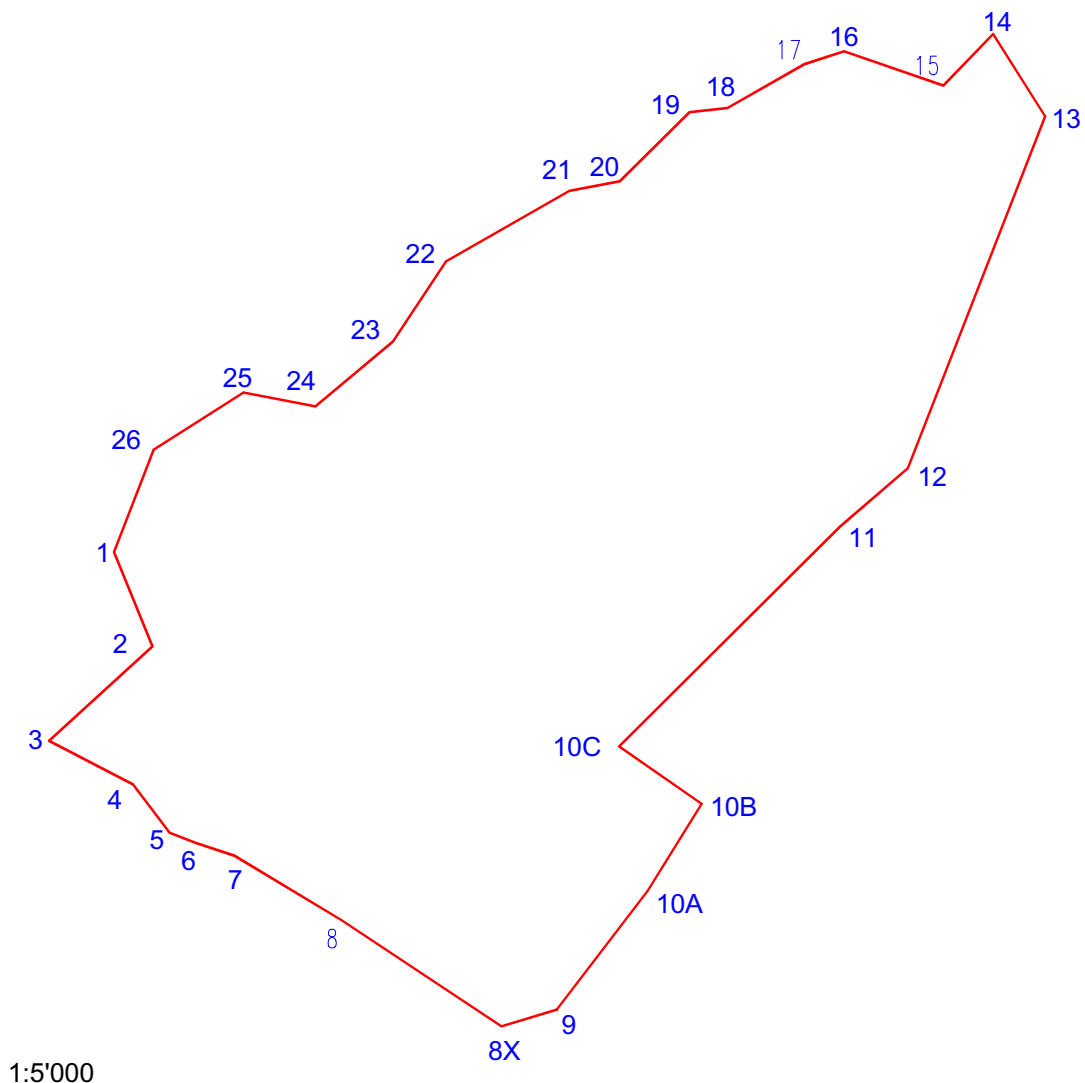
* Anzeige auf dem Datacollector

10. Anwendungsbeispiele

10.1 Waldreservat Urmiberg (Kt. SZ)

Ort: Östlichster Ausläufer der Rigi (oberhalb Brunnen)
Höchster Punkt: ca. 1050 m ü. M. (Punkt 25)
Tiefster Punkt: ca. 705 m ü. M. (Punkt 10A)
Geländeneigung: 70 - 90 %
Bestockung: Föhrenwald mit einzelnen Laubbäumen
Grösste Länge: ca. 750 m
Grösste Breite: ca. 450 m
Fläche: ca. 23 ha
Aufnahmedatum: 24.09.1996

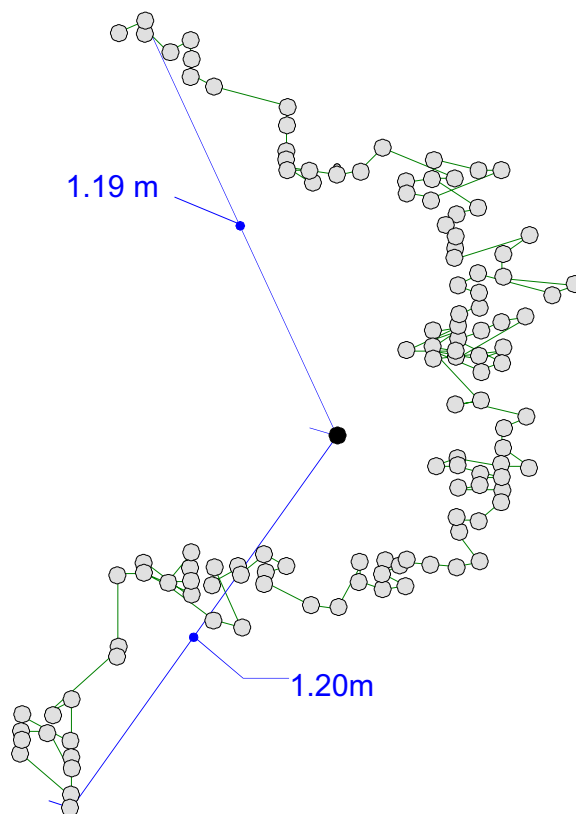
Empfänger: Pathfinder Pro XL
Empfängereinstellungen: PDOP: 6 SNR: 6 (10 Punkte)
PDOP: 10 SNR: 3 (19 Punkte)
Positionen pro Punkt: 180
Zeitaufwand: 5 Stunden



10.11 Waldreservat Urmiberg, Postionsbestimmung beim Punkt 25

Messverfahren: Differential-GPS
Gemessene Positionen: 180
PDOP: 3.9

- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position für den Pkt. 25

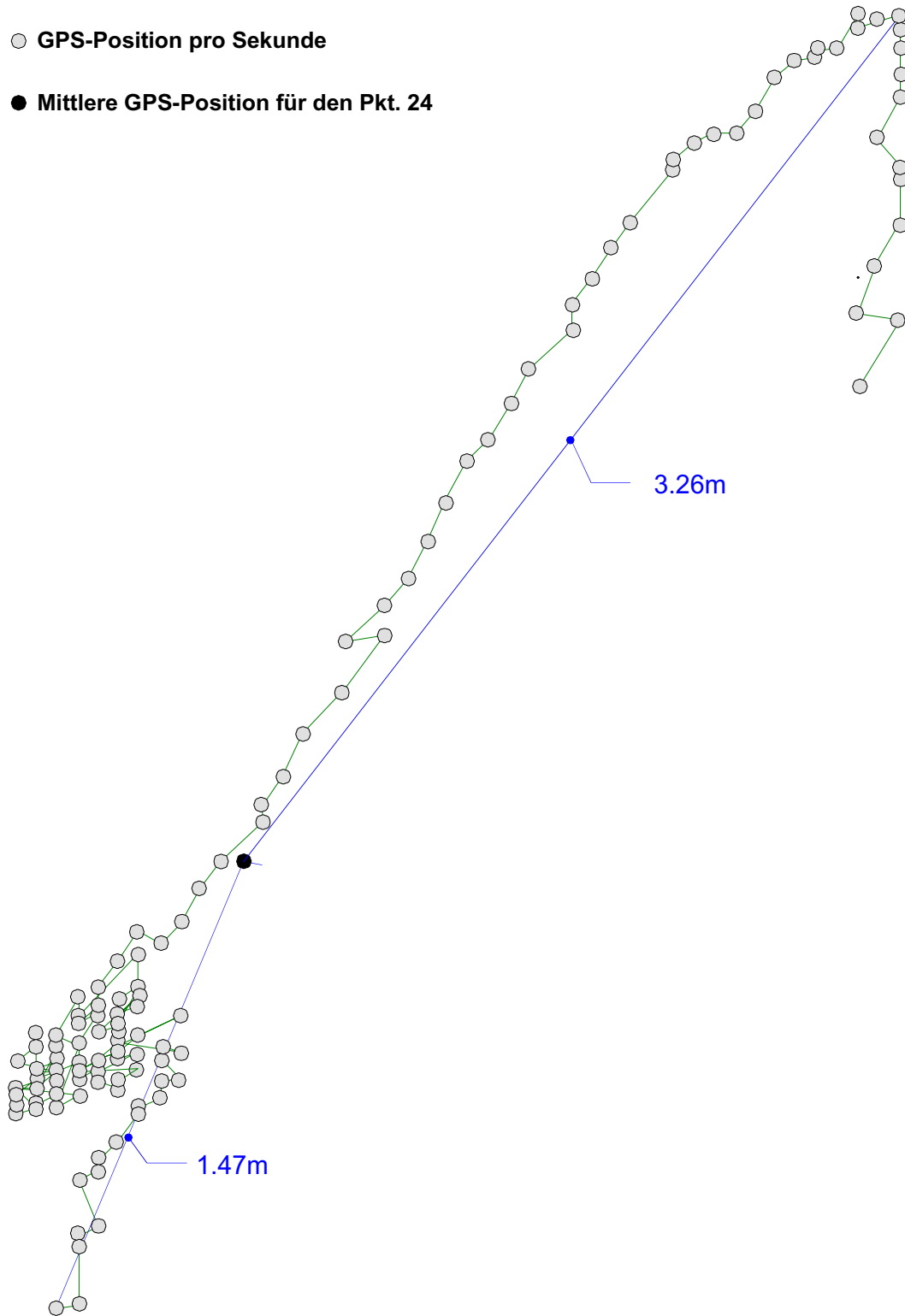


1:20

10.12 Waldreservat Urmiberg, Postionsbestimmung beim Punkt 24

Messverfahren: Differential-GPS
Gemessene Positionen: 180
PDOP: 5.2

- GPS-Position pro Sekunde
- Mittlere GPS-Position für den Pkt. 24

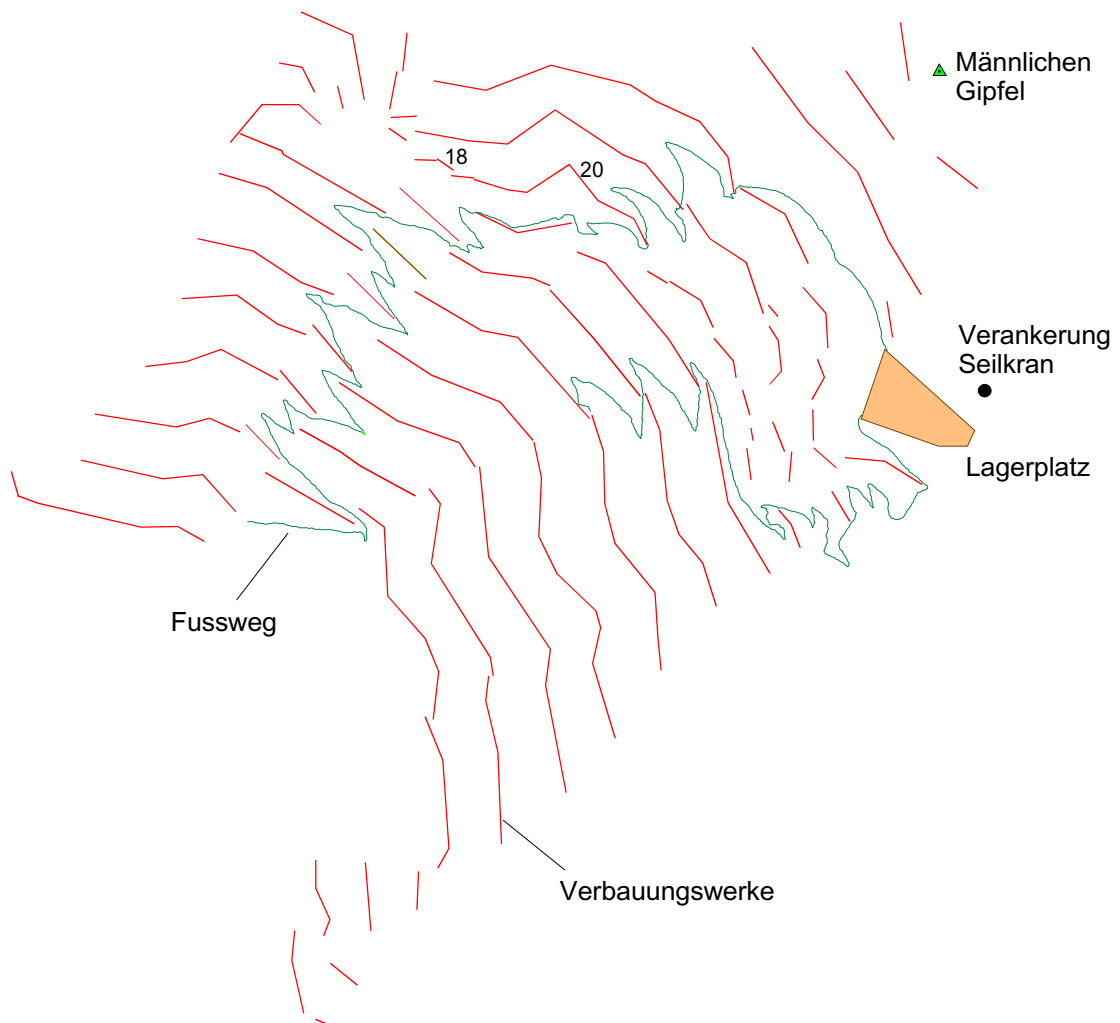


1:20

10.2 Lawinenverbauung Schnürlauri, Männlichen (Kt. BE)

Ort: SW-Hang des Männlichen (oberhalb Wengen)
Höchster Punkt: 2342.58 mü.M. Gipfel des Männlichen
Tiefster Punkt: ca. 2100 mü.M.
Geländeneigung: 80 - 150 %
Aufnahmedatum: 25.10.1996

Empfänger: Pathfinder Pro XL
Empfängereinstellungen: PDOP: 6 SNR: 6
Positionen pro Punkt: 60
Zeitaufwand: 10 Stunden



Masstab: 1 : 2500

10.21 Lawinenverbauung Schnürlaufi, Postionsbestimmung beim Punkt 20F, Werk 20

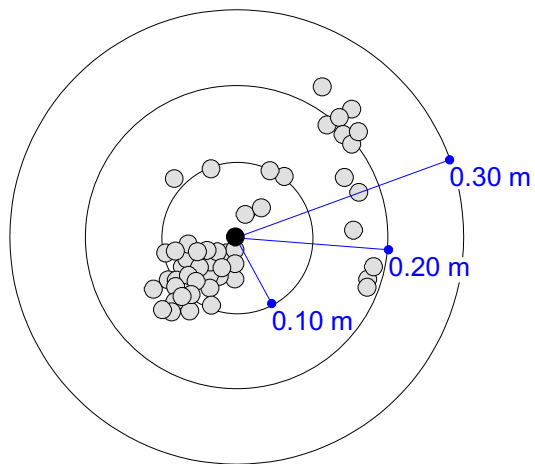
Messverfahren: Differential GPS

Gemessene Positionen: 60

PDOP: 2.9

○ GPS- Position pro Sekunde

● Mittlere GPS-Position des Punktes 20F



Massstab: 1 : 10

10.22 Lawinenverbauung Schnürlaui, Postionsbestimmung beim Punkt 18B, Werk 18

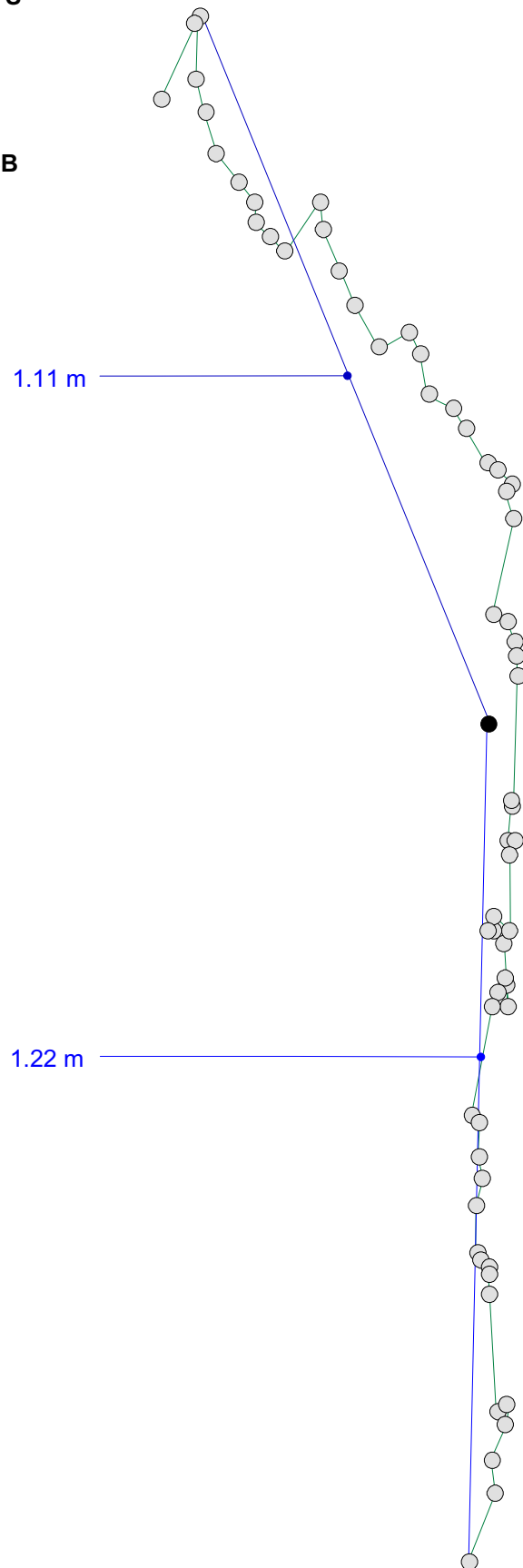
Messverfahren: Differential GPS

Gemessene Positionen: 60

PDOP: 4.6

○ GPS- Position pro Sekunde

● Mittlere GPS-Position des Punktes 18B











Massstab: 1 : 10

10.3 Rutschung Berglibach, Gemeinde Reichenburg (Kt. SZ)

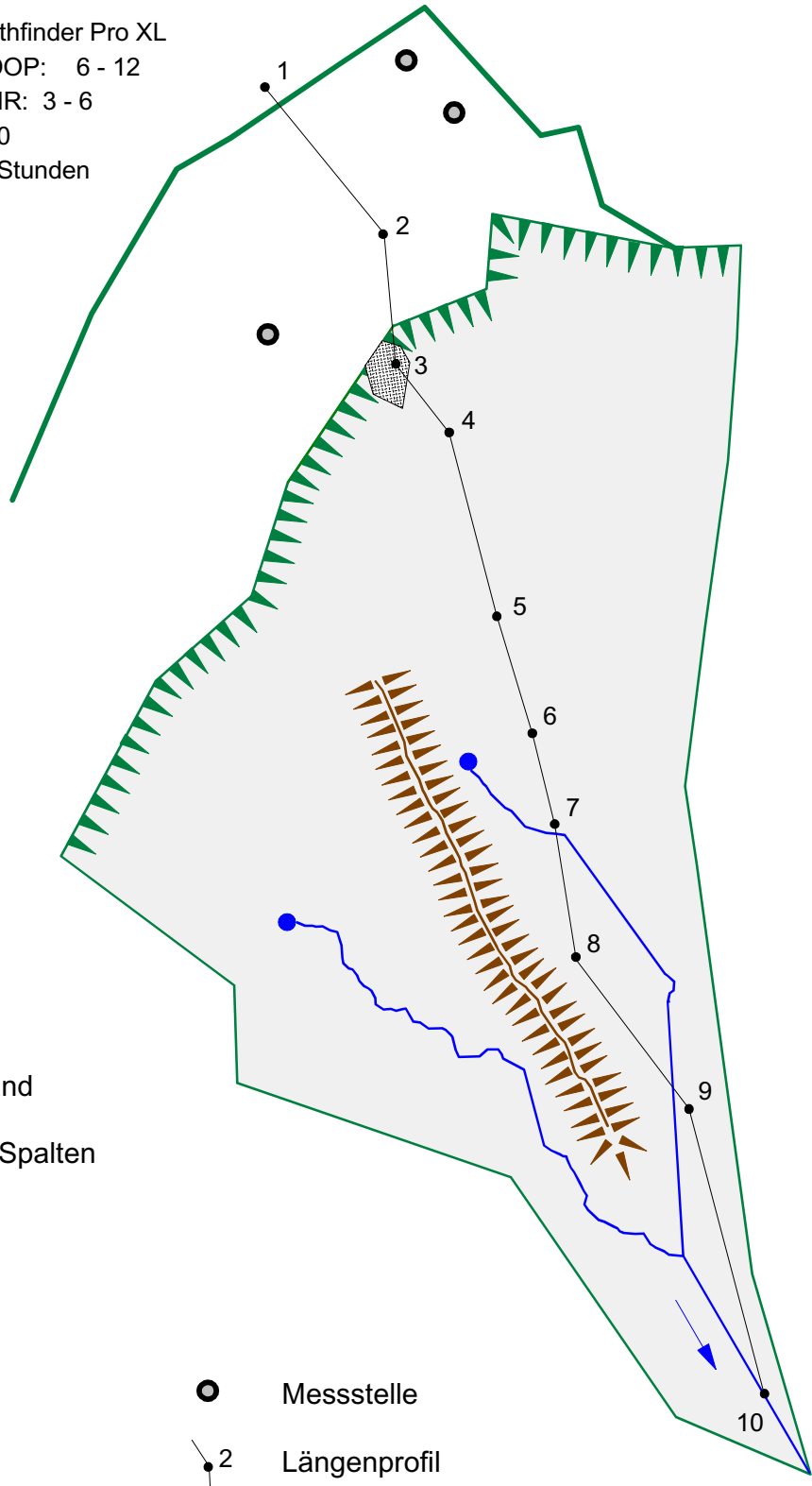
Ort: NO-Hang des Austocks (oberhalb Reichenburg)
Geländeneigung: siehe Längenprofil (S. 31)
Bestockung: Blösse (Wald abgerutscht)
Fläche: ca. 2450 m²
Aufnahmedatum: 02.09.1997
Empfänger: Pathfinder Pro XL
Empfängereinstellungen: PDOP: 6 - 12
SNR: 3 - 6
Positionen pro Punkt: 120
Zeitaufwand: 6 Stunden

Legende

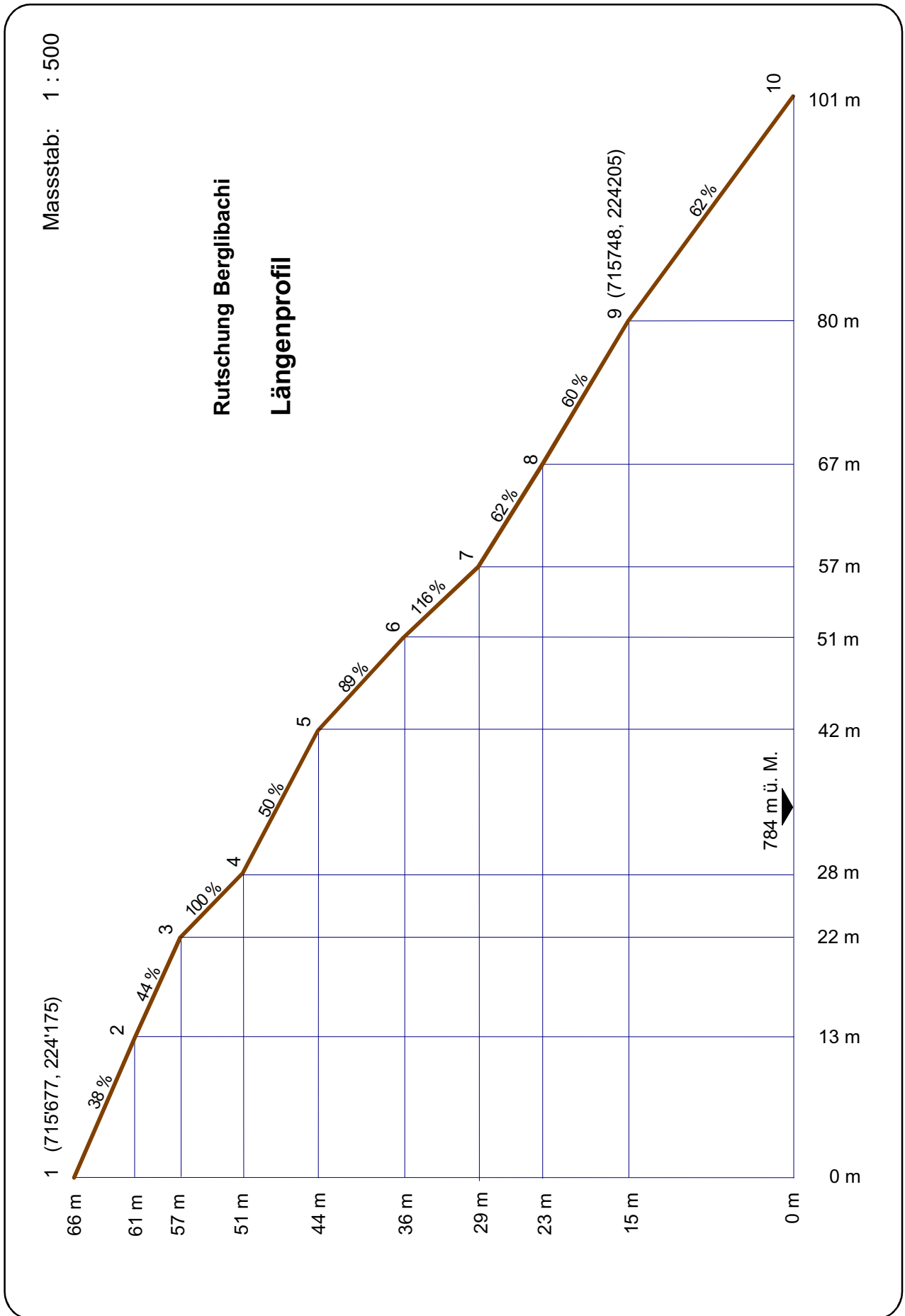
-  Oberer Abrissrand
-  Anrisse, offene Spalten
-  Rippe
-  Quelle
-  Gerinne
-  Felsblock

-  Messstelle
-  Längenprofil

Masstab: 1 : 500





10.31 Längenprofil, Rutschung Berglibach, Gemeinde Reichenburg (Kt. SZ)

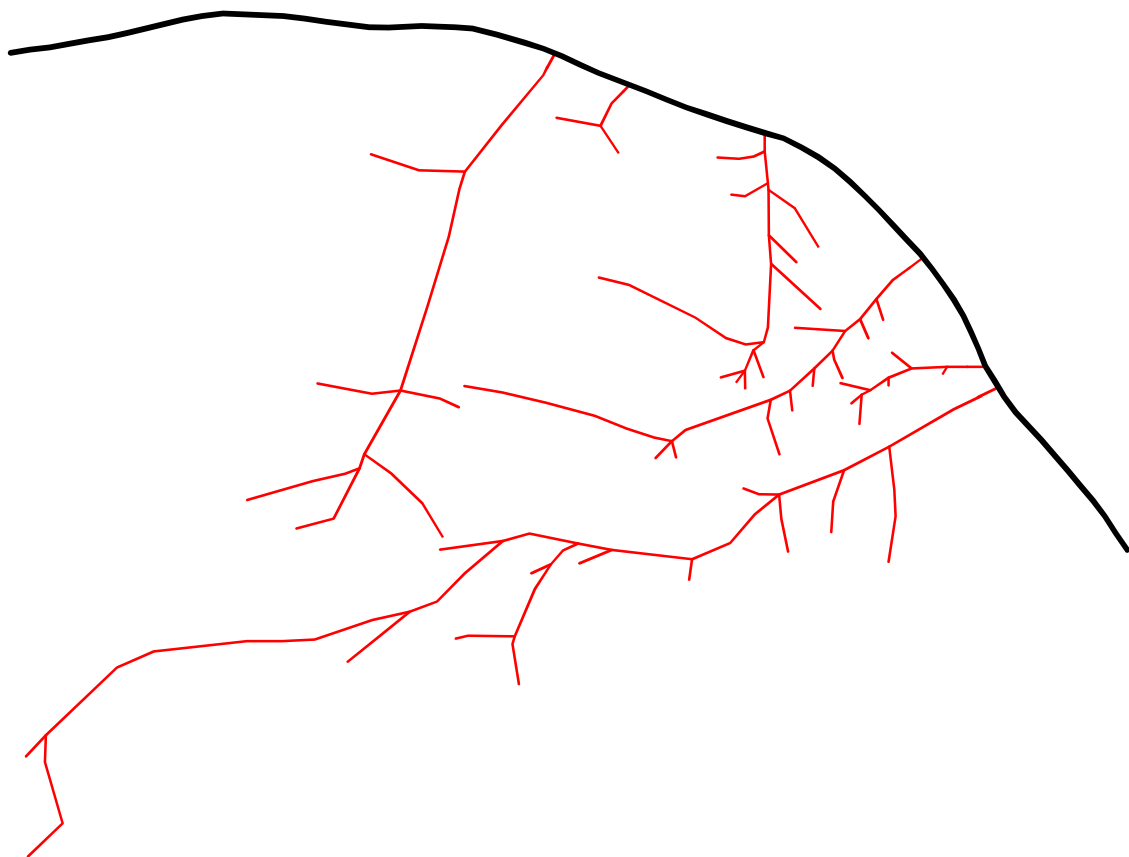


10.4 Rutschungsentwässerung Bärrihti Langrain, Gemeinde Vorderthal (Kt. SZ)

Legende

Massstab: 1 : 2'000

-  Entwässerungsgräben
-  Waldstrasse



Ort:	Bärrihti Langrain (1 km östlich von der Sattellegg)
Bestockung:	Erlenverbau und Fichten
Aufnahmedatum:	23.09.1997
Länge der Entwässerungsgräben:	1275 m
Zeitaufwand:	5 Stunden
Empfänger:	Pathfinder Pro XL
Empfängereinstellungen:	PDOP: 6 SNR: 6
Positionen pro Punkt:	30

10.7 Strassen am Uetliberg, GPS und GIS

