

GPS - Grundlagen



- **Einleitung/Überblick**
- Aufbau des GPS
- GPS-Signale
- Codephasenmessung (Navigation)
- Trägerphasenmessung (Geodätische Messung)



NAVSTAR - GPS

... steht für ...

*NAV*igation *S*atellite *T*iming *A*nd *R*anging -
*G*lobal *P*ositioning *S*ystem



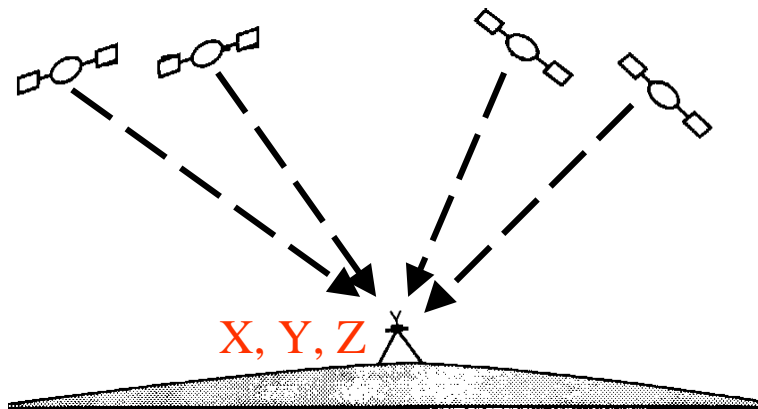
Anforderungen an NAVSTAR-GPS

- Information an einen GPS-Nutzer (ob in Ruhe oder in Bewegung befindlich) über
 - 3D-Position
 - Geschwindigkeit
 - Zeit
- ständige Funktionalität, unabhängig von Wetterbedingungen

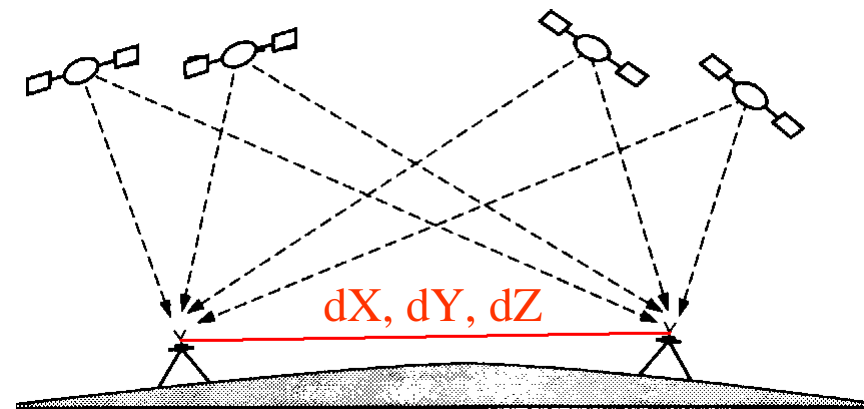


2 Messprinzipien

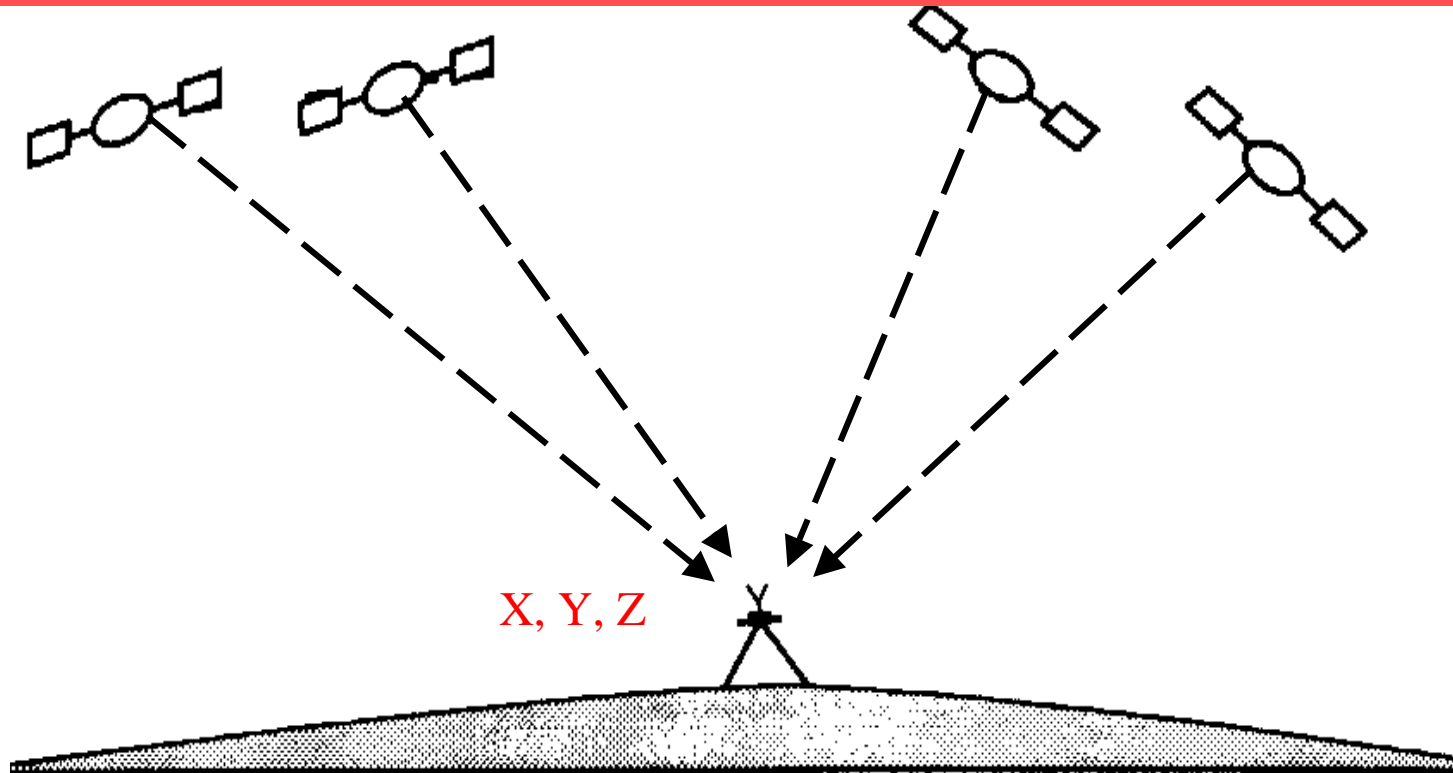
- Navigationsprinzip



- Geodätisches Prinzip

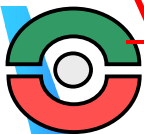


Navigations GPS-Messprinzip

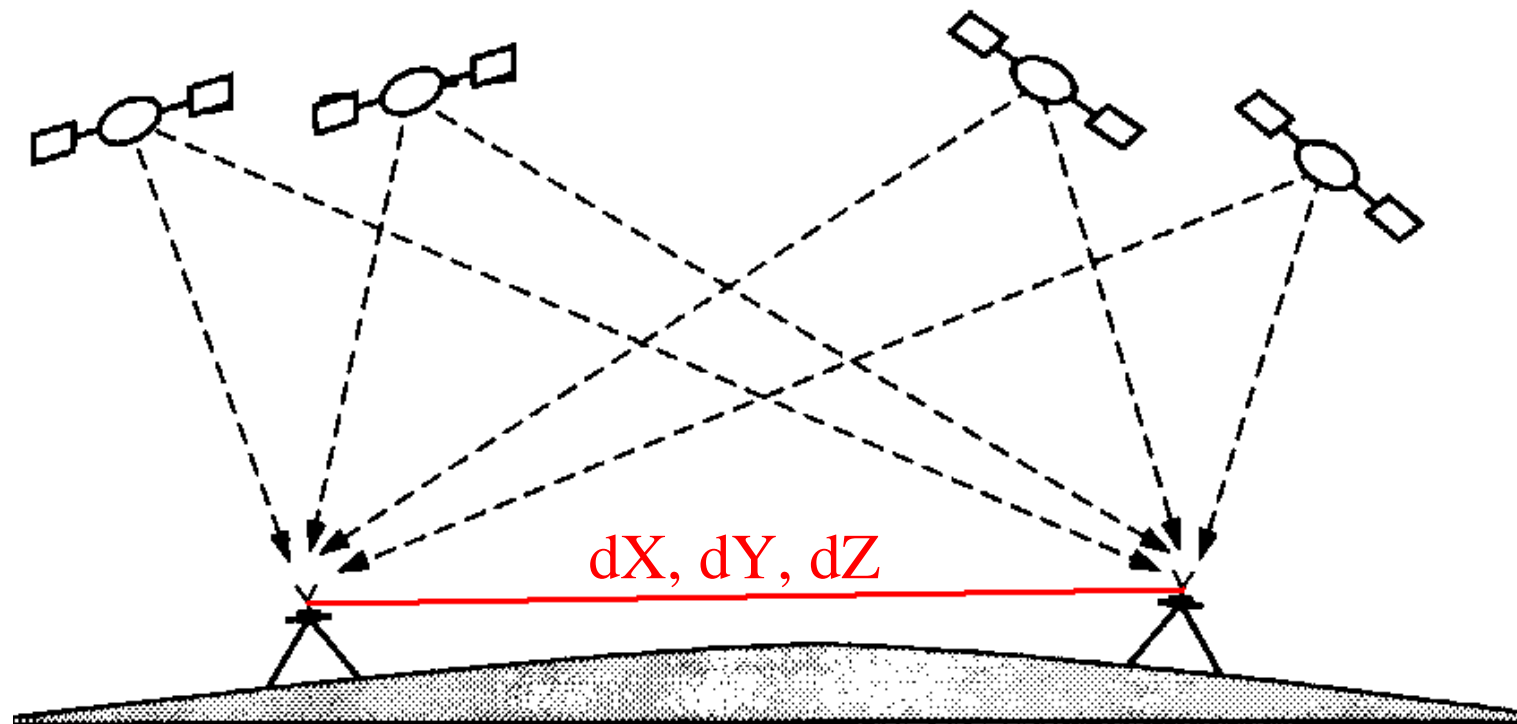


messbar: 3-dimensionale Koordinaten des GPS-Empfängers mit einer *Genauigkeit weniger Meter*

Voraussetzungen: GPS-Empfänger registriert Signale von mindestens 4 Satelliten



Geodätisches GPS-Messprinzip



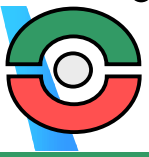
Präzise messbar: 3-dimensionaler - Raumvektor mit *cm-Genauigkeit*

Voraussetzungen: 2 GPS-Empfänger registrieren *simultan* Signale von mindestens 4 Satelliten



Historisches zu GPS

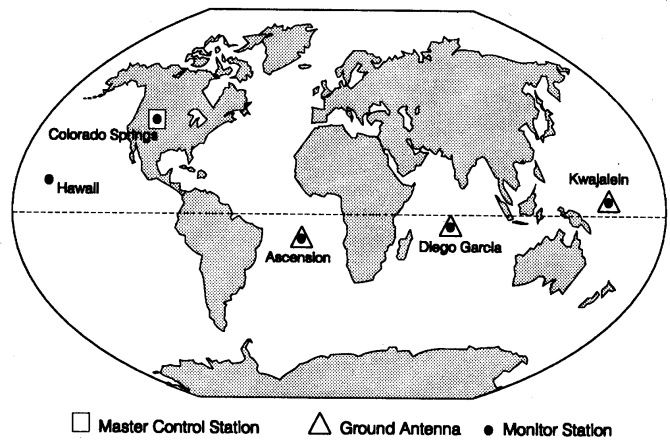
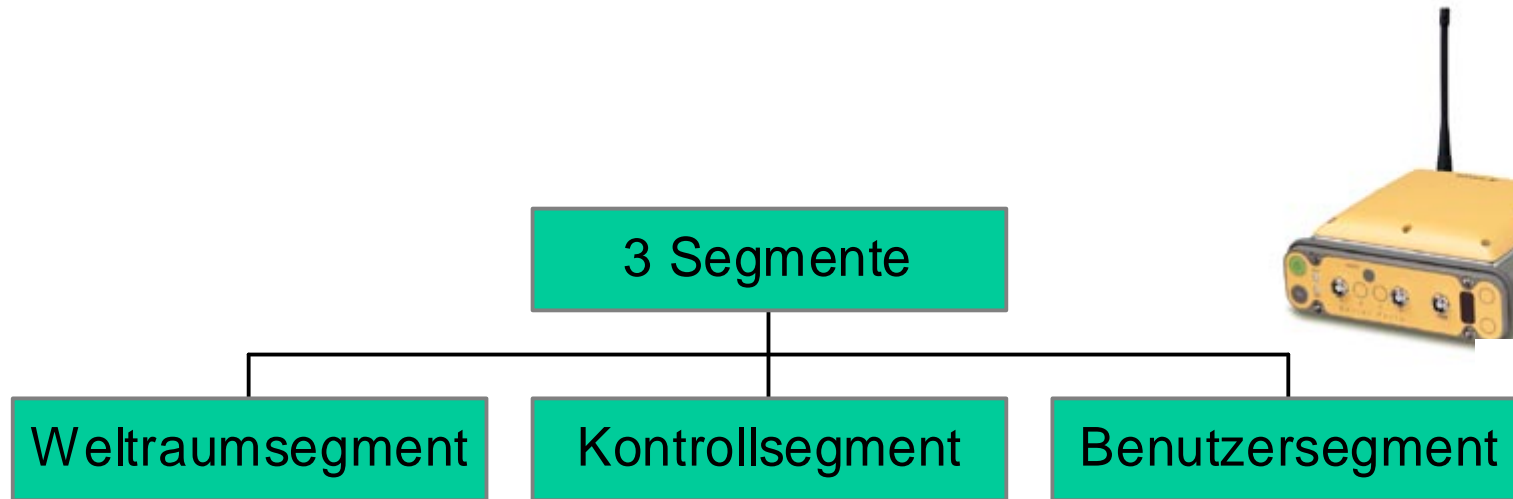
- 1973: Planung des GPS durch das US-amerikanische Verteidigungsministerium (Zuständigkeit für die Entwicklung bei der US-Luftwaffe)
- 1977: Start des 1. Satelliten
- 1983 - 1993: Ausbauphase
 - 1993 wurde Vollausbau vom DoD erklärt
- seit 1985: Einsatz in der Landesvermessung NRW



- Einleitung/Überblick
- **Aufbau des GPS**
- GPS-Signale
- Codephasenmessung (Navigation)
- Trägerphasenmessung (Geodätische Messung)



Aufbau des GPS



3 Segmente des GPS

Weltraumsegment

- min. 24 Satelliten
- 6 Bahnebenen mit jeweils 55° Neigung gegenüber der Äquatorebene
- ca 20.000 Km Höhe
- ca. alle 24 Stunden (23h56') über dem selben Ort

Kontrollsegment

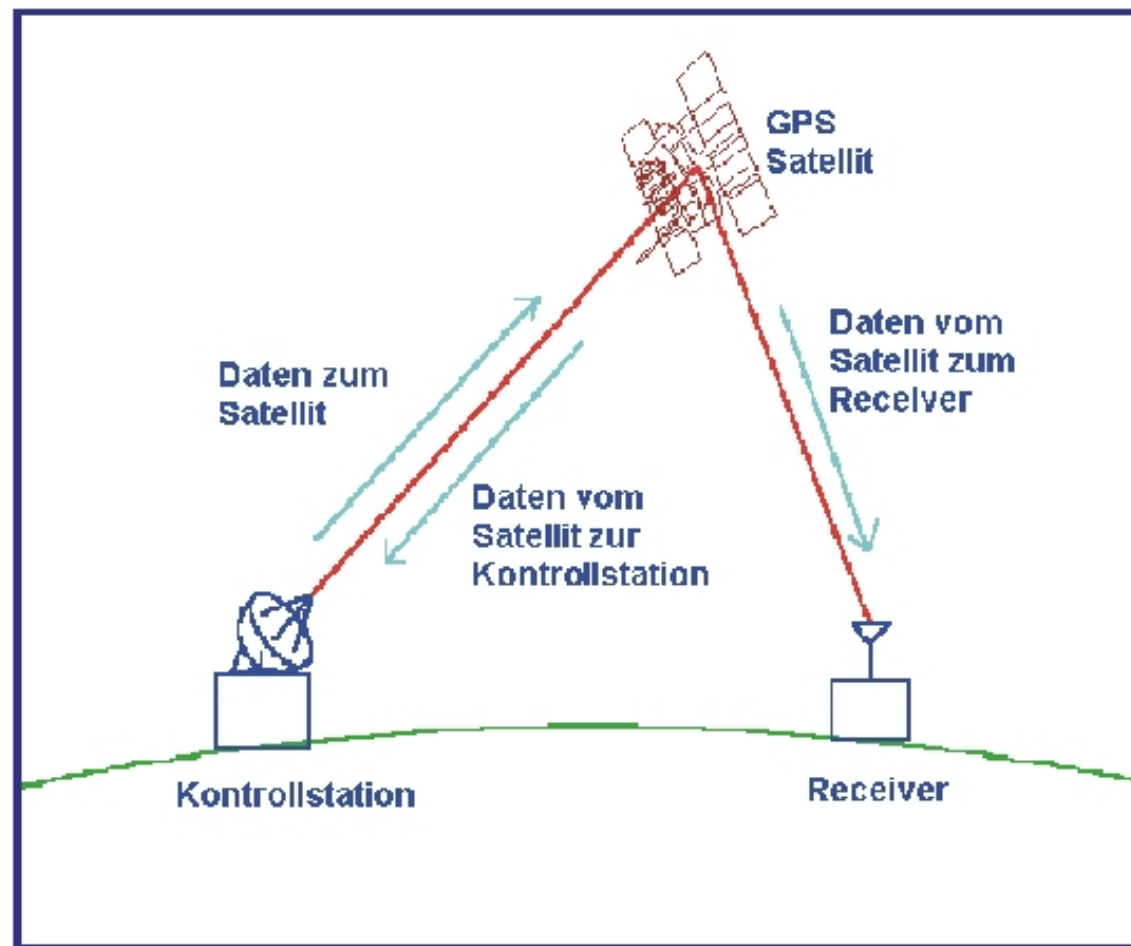
- verfolgt die Satelliten, aktualisiert ihre Umlaufposition und kalibriert sowie synchronisiert ihre Uhren.

Nutzersegment

- besteht aus allen GPS-Nutzereinheiten
- GPS-Empfänger nutzbar für:
 - Positionierung/Navigation
 - Zeit und Frequenznormal
 - Bestimmung atmosphärischer Parameter aus GPS-Signalen



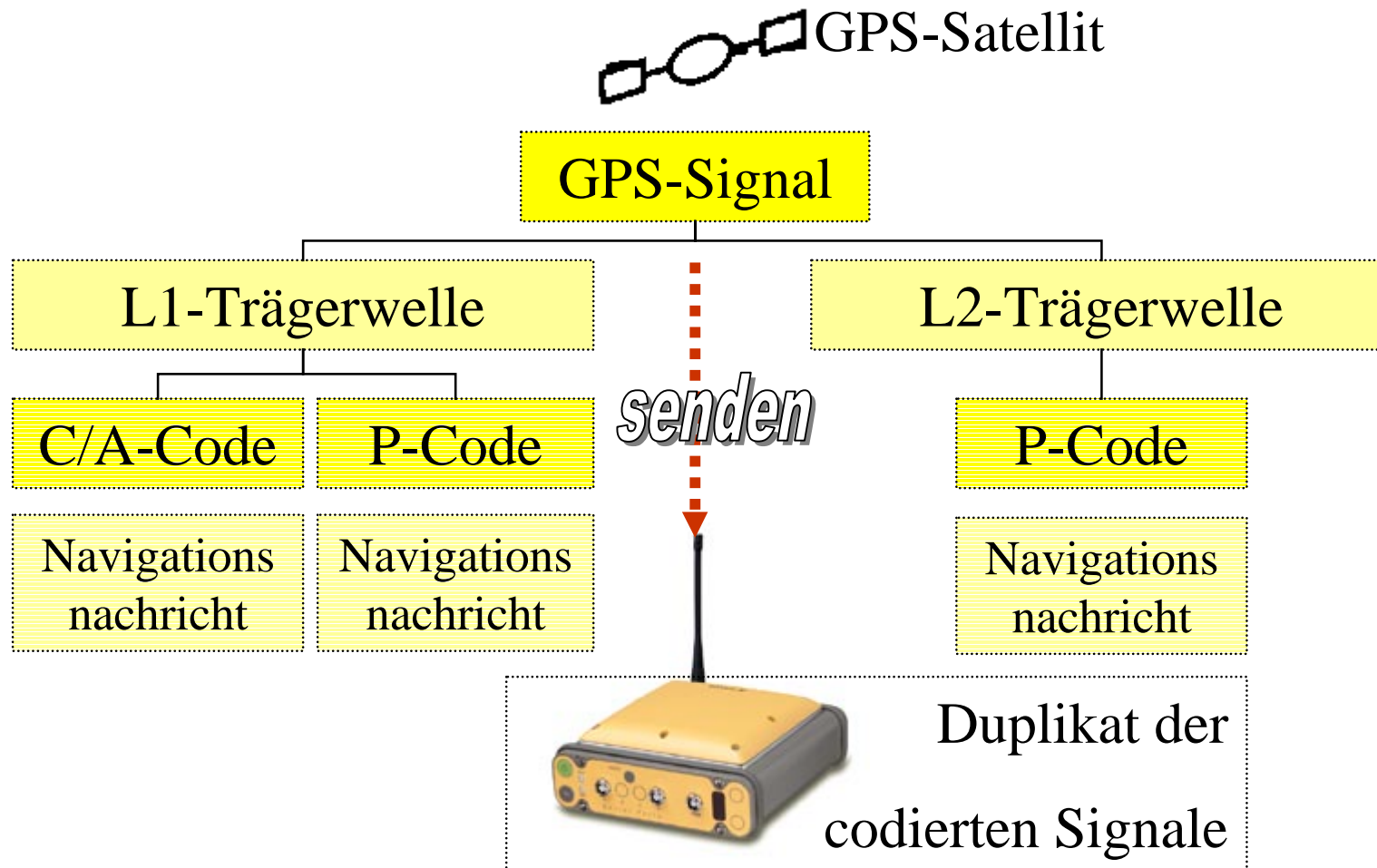
Zusammenspiel der Segmente



- Einleitung/Überblick
- Aufbau des GPS
- **GPS-Signale**
- Codephasenmessung (Navigation)
- Trägerphasenmessung (Geodätische Messung)



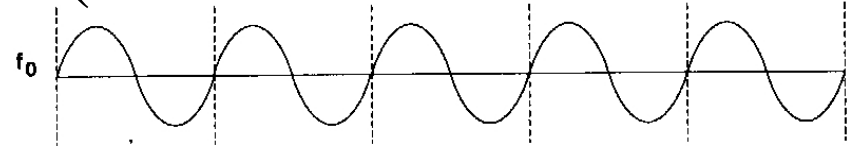
GPS-Signal-Struktur



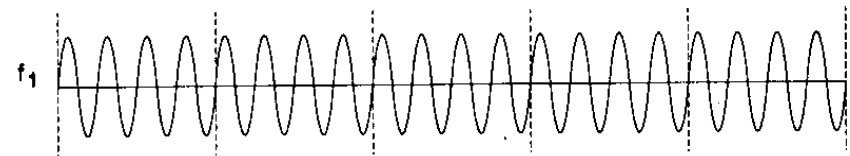
Was bewirkt Codemodulation ?

→ Auflagerung von (+1) bzw (-1) - Impulsen, sog. pseudozufällige Sequenzen (Pseudo Random Noise)

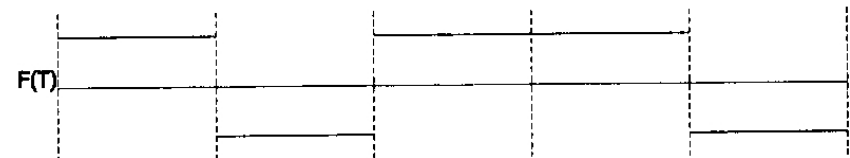
GPS-Grundsignal



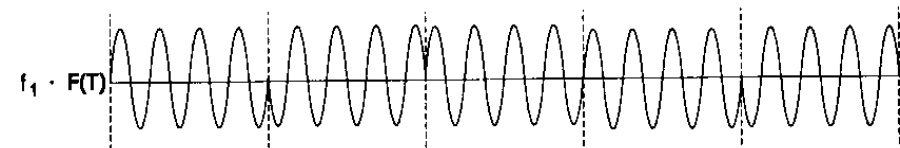
GPS-Sendesignal



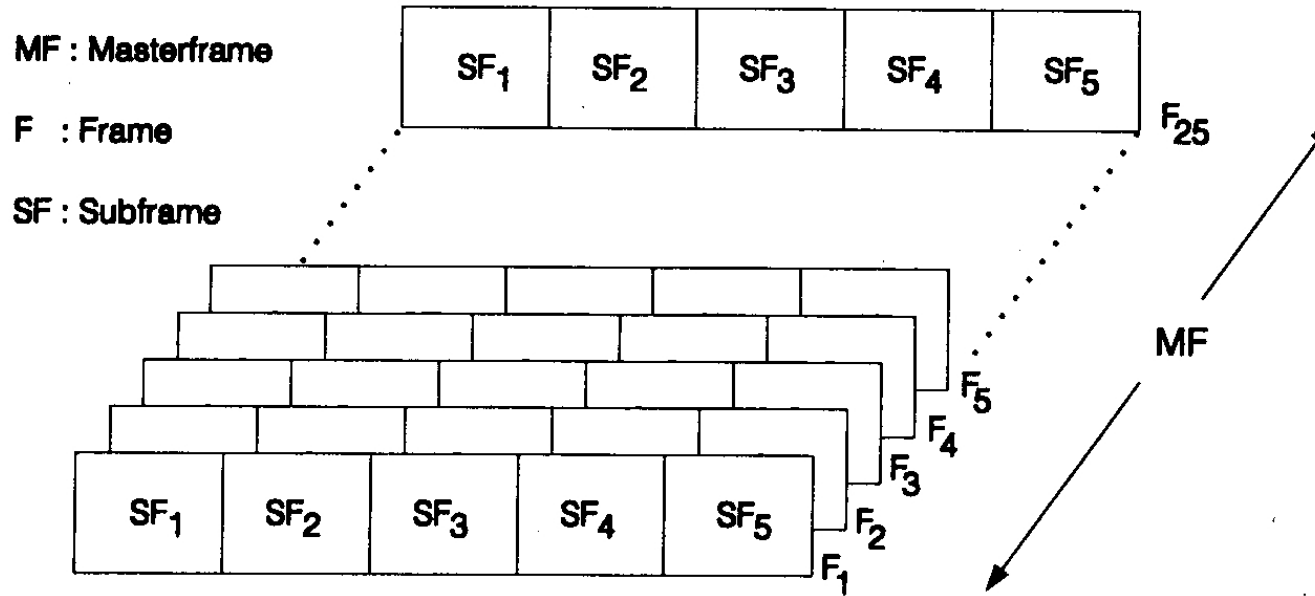
PRN-Sequenz (Code)



Phasenmoduliertes
Sendesignal



GPS-Navigrationsnachricht



Subframe 1										Subframe 2										Subframe 3										Subframe 4										Subframe 5									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T	L	M								T	L	M	W							T	L	M	W							Σ	L	Σ								Σ	L	Σ							
Uhrkorrektion										Bahndaten										Bahndaten										Almanach Refraktionsmodell										Almanach									



2 Sicherungsmaßnahmen

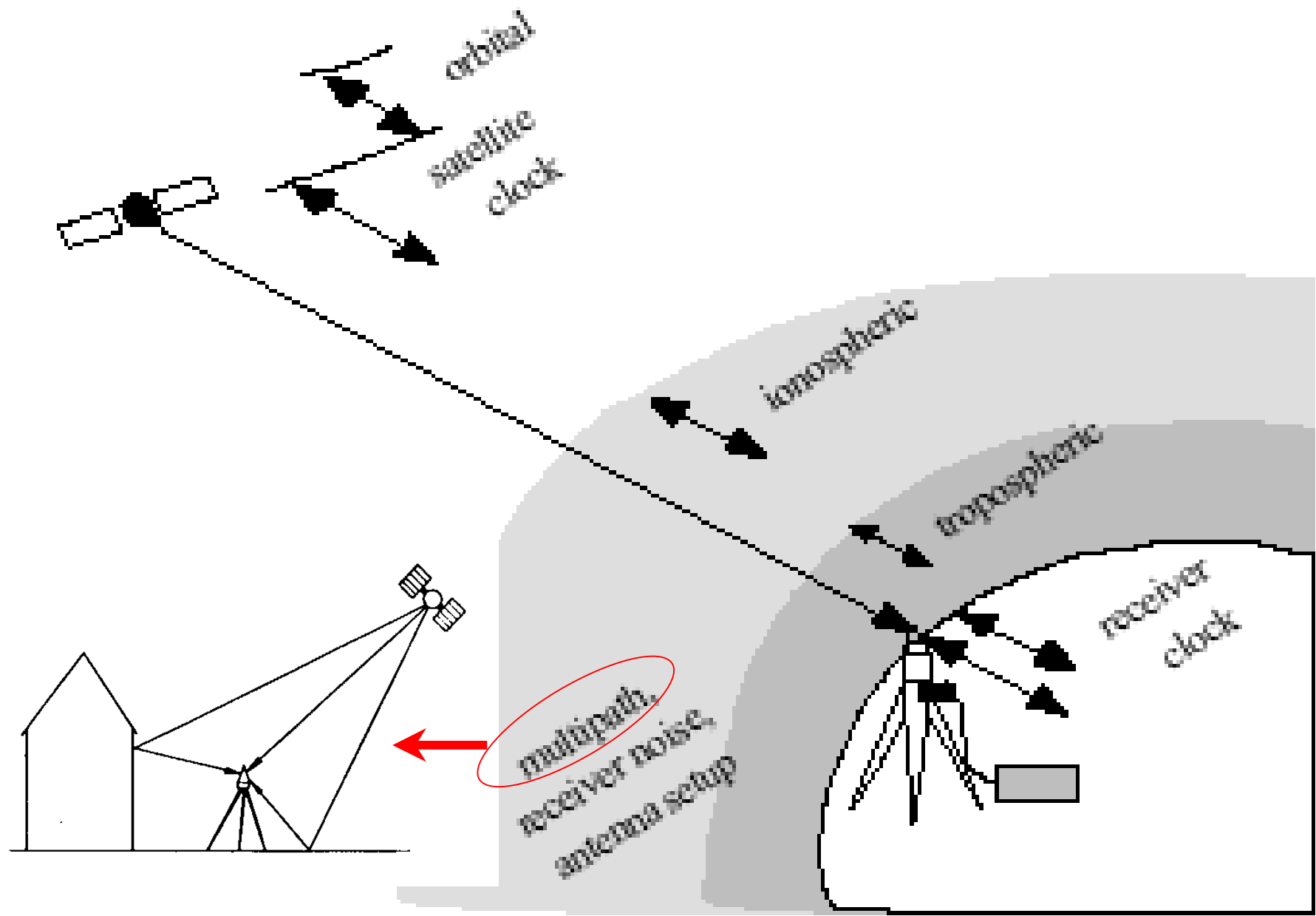
- Anti-Spoofing (A-S)
 - der genaue P-Code wird in den unbekanntem Y-Code verschlüsselt
- Selected Availability (SA)
 - Verfälschung der Satellitenbahndaten sowie künstliche Verrauschung der Trägersignale
 - wurde im Mai 2000 abgeschaltet
 - *Folge: Genauigkeit der Einzelpunktbestimmung für zivile Nutzer von ca. 100 m auf ca. 15 m gestiegen*



Fehlereinflüsse bei GPS

- Satellitenbahnfehler
- Satellitenuhrenfehler
- Ionosphärische Refraktion
- Troposphärische Refraktion
- Empfängeruhrenfehler
- Antennenphasenzentrum
- Mehrwegeausbreitung
- Messrauschen

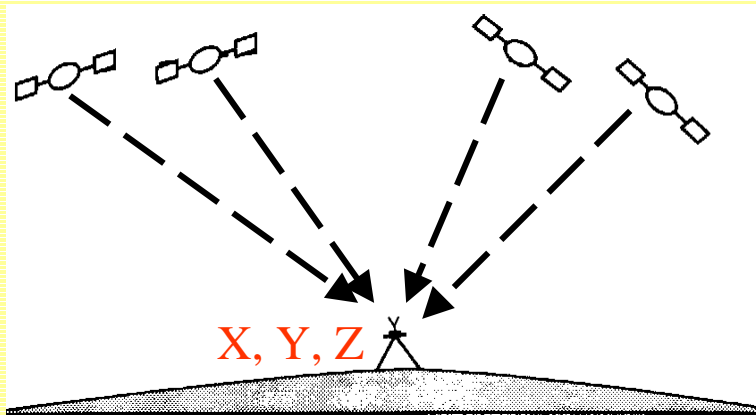




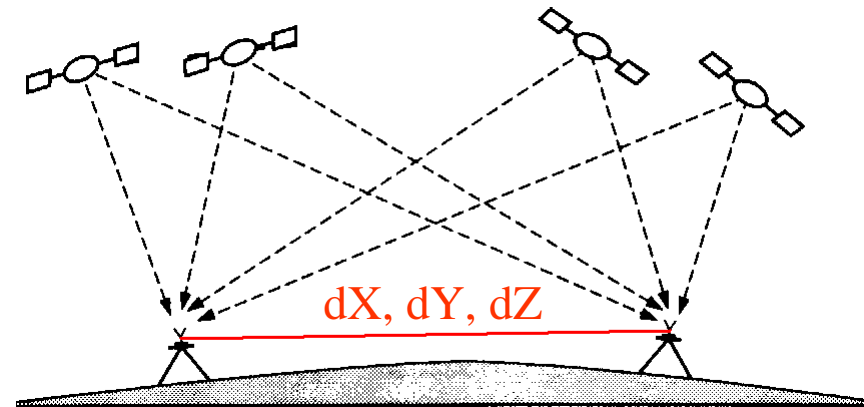
- Einleitung/Überblick
- Aufbau des GPS
- GPS-Signale
- Codephasenmessung (Navigation)
- Trägerphasenmessung (Geodätische Messung)



- Navigationsprinzip

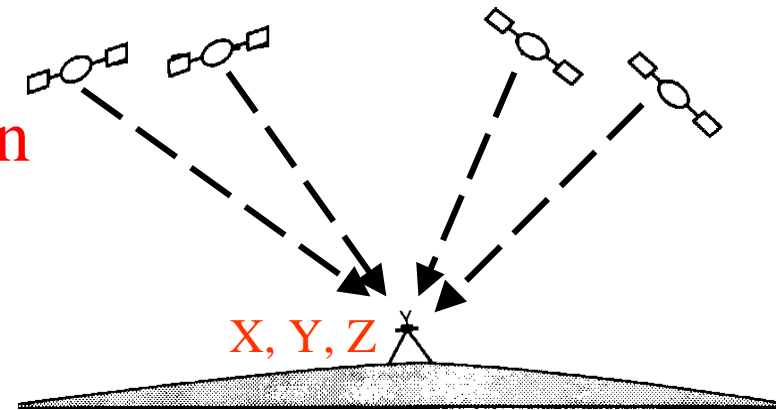


- Geodätisches Prinzip



Codephasenmessung - Prinzip

- gesucht: Koordinaten des GPS-Empfängers
 - bekannt: Satellitenkoordinaten
 - gemessen: Laufzeiten der Satellitensignale
- daraus abgeleitet: Entfernung Satellit-Empfänger (Pseudostrecken)



→ **räumlicher Bogenschlag**



Codephasenmessung - Grundgleichung

$$(\Delta T_i c + \Delta t c)^2 = (X_i - X_E)^2 + (Y_i - Y_E)^2 + (Z_i - Z_E)^2$$

$\Delta T_i c$: Pseudostrecken von den Satelliten i

X_i, Y_i, Z_i : bekannte Koordinaten der Satelliten

$\Delta t c$: **unbekannter** Empfängeruhrenfehler

X_E, Y_E, Z_E : **unbekannte** Koordinaten des Empfängers

bei Signalempfang von 4 Satelliten:

→ 4 Gleichungen mit 4 **Unbekannten**



Genauigkeit der Codephasenmessung

- bei angeschaltetem SA (bis Mai 2000):

ca. 100 m

- bei abgeschaltetem SA:

ca. 15 m

Zur Erinnerung:

SA = Selected Availability

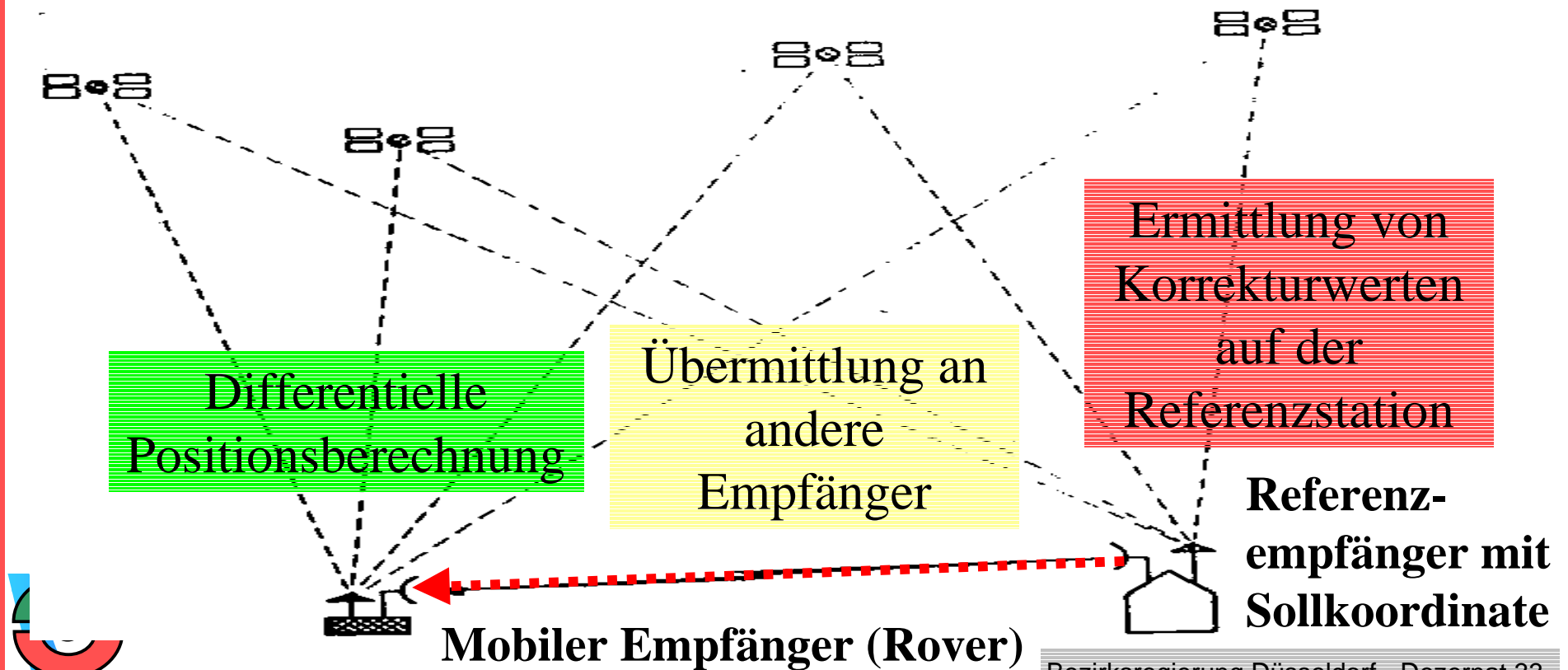
eine der beiden künstlichen
Signalverfälschungen



Erhöhung der Genauigkeit

DGPS = differentielles GPS

Genauigkeit < 5m

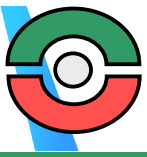


Anwendungen der Codephasenmessung

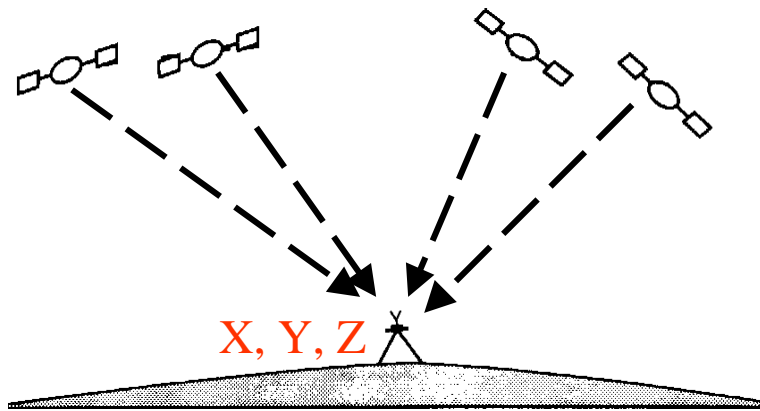
- Navigation im Freizeitbereich (Wandern, Segeln etc.)
- Fahrzeugnavigation
- Georeferenzierung für Kartierungen (GIS-Datenerfassungen) mit geringen Genauigkeitsanforderungen



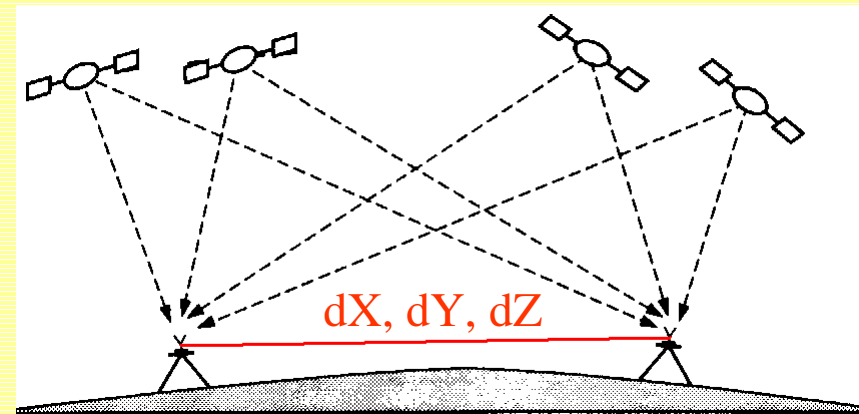
- Einleitung/Überblick
- GPS-Signale
- Codephasenmessung (Navigation)
- Trägerphasenmessung (Geodätische Messung)

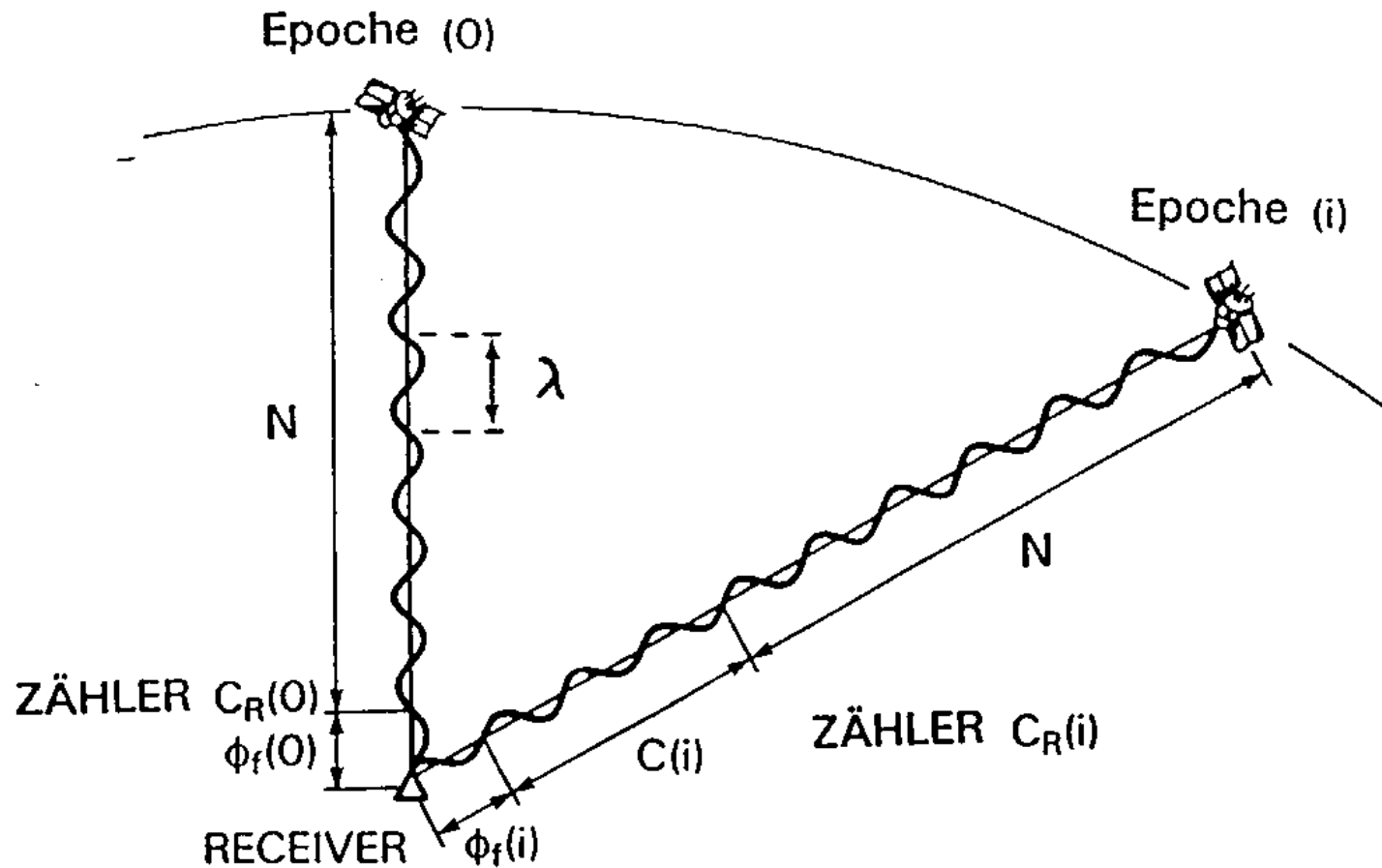


- Navigationsprinzip



- Geodätisches Prinzip





messbar:

Phasenreststück ϕ_f

ganze Phasen seit Beginn der Messung $C(i)$

unbekannt:

ganze Anzahl der Wellenzyklen N

Trägerphasenmessung ist mehrdeutig

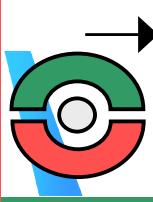
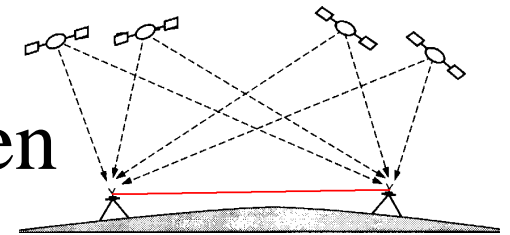
! Phasenmehrdeutigkeiten (N) sind zu bestimmen !

(genannt: Initialisierung)



Auswertung

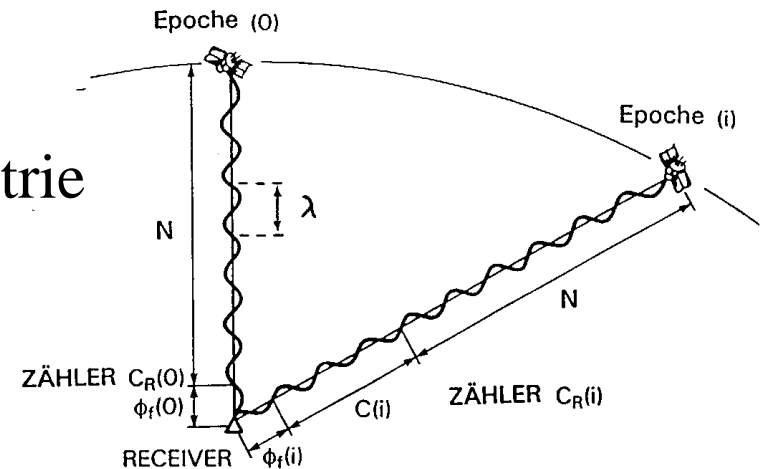
- Beobachtungsgleichungen mit **simultanen Beobachtung** (*Phasenmessung*) von mindestens **2 Empfängern** zu mindestens **4 identischen Satelliten**
- Ergebnis: Basislinie (Raumvektor) zwischen den Beobachtungspunkten (Antennenphasenzentren)



→ Trägerphasenmessung nur als **Relativmessung** möglich

Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten

- früher nur bei langen Beobachtungen möglich
- mehrere Methoden:
 - Lösung aus der Satellitengeometrie
 - Lösung bei bekannter Basislinie
 - Empfängertausch
 - **Suchalgorithmen**



- heute innerhalb weniger Minuten - auch bei bewegtem Empfänger (sog On-The-Fly-Lösung) - möglich

⇒ hat Voraussetzung für RTK geschaffen



Genauigkeit der Trägerphasenmessung

(generelle Aussagen aus der Literatur)

- Bei langen Beobachtungszeiten:

1 ppm

→ *d.h. Basislinien von 10 km können mit cm-Genauigkeit bestimmt werden*

- bei kurzen Beobachtungszeiten:

ca. 1- 5 cm



Anwendungen der Trägerphasenmessung

- Grundlagenvermessung
- Katastervermessung
- Wissenschaftliche Anwendungen, z.B.
Untersuchungen zur Plattentektonik



Geodätische Messverfahren



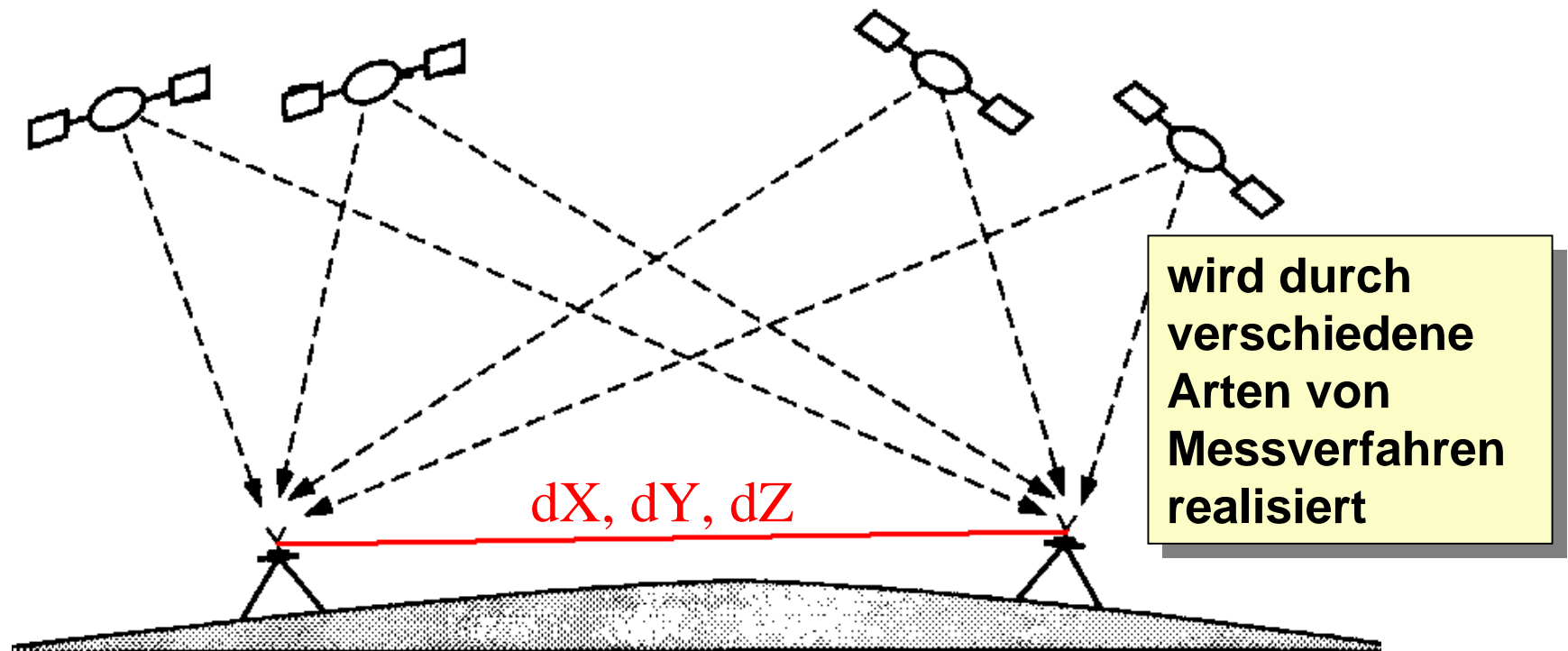
Geodätische Messverfahren

Grundregeln:

- min 2 Empfänger messen simultan min 4 Satelliten
- doppelte unabhängige Besetzung bei veränderter Satellitenkonstellation
- Einbindung von Anschluss- und Nachbarpunkten
- Beobachtungsdauer- und Verfahren abhängig von:
 - gewünschter Genauigkeit
 - Entfernung der Punkte
 - Umgebungseinflüssen, wie Abschattungen, Multipath

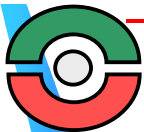


Geodätisches GPS-Messprinzip



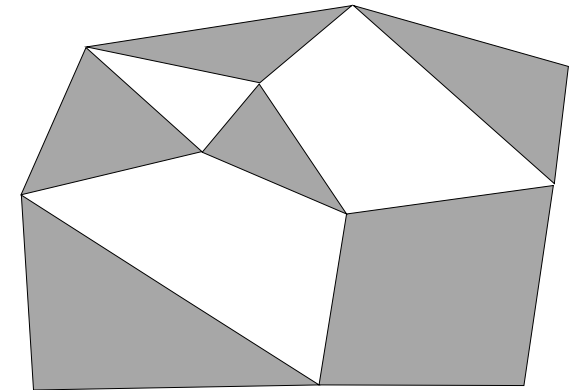
Präzise messbar: 3-dimensionaler - Raumvektor mit *cm-Genauigkeit*

Voraussetzungen: 2 GPS-Empfänger registrieren *simultan* Signale von mindestens 4 Satelliten

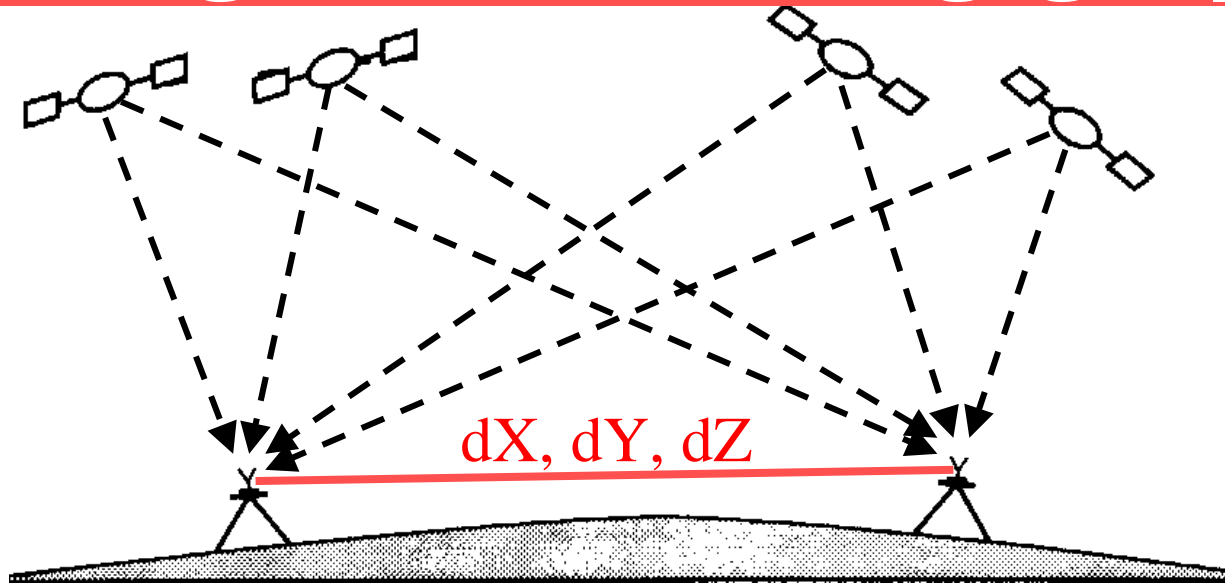


Statisches Messverfahren in Aufstellungsgruppen

- Das klassische Messverfahren
- 2 oder mehr Empfänger messen simultan über einen Zeitraum von ca 15 - 45 min.
- Auswertung im Innendienst (*Postprocessing*)
- Einfluss bestimmter Fehler wird minimiert (*Multipath, Atmosphäre, Zentrierungenauigkeit bei hohen Aufbauten*)
- hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit



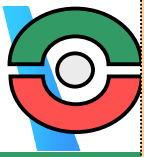
Messung in Aufstellungsgruppen



Simultane Messung auf mindestens 2 Punkten (idR.3) und Speicherung der GPS-Rohdaten (etwa 15 - 45 Minuten, bei schlechten Verhältnissen länger)

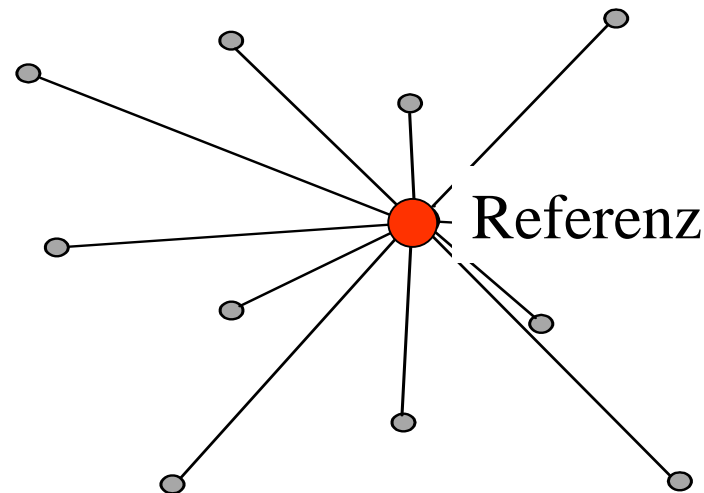
Nach der Messung (*Postprocessing*):

- Zusammenführung der Messdaten (Phasendaten)
- Lösung der Phasenmehrdeutigkeiten (Initialisierung)
- Basislinienberechnung

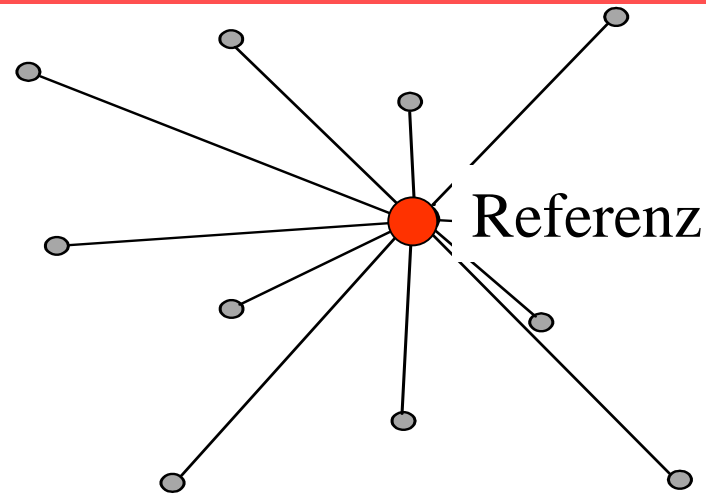


Echtzeitvermessungen - RTK (1)

- Referenzstation bleibt unverändert
Eigene Referenz (Firmenlösung) oder permanente Referenz (z.B. SAPOS-Dienst)
- Mobilempfänger besetzt die zu messenden Punkte
- Über Datenkommunikation sendet die Referenzstation Messdaten an die Mobilstation



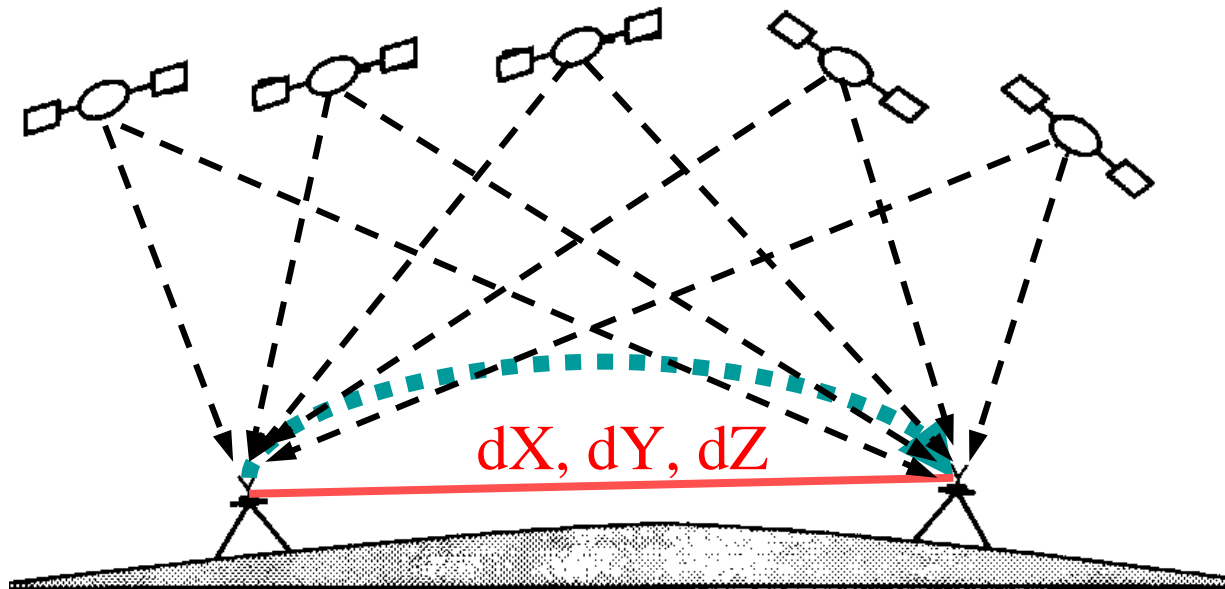
Echtzeitvermessungen - RTK (2)



- Mehrdeutigkeitslösung (*Initialisierung*) zu Beginn
- eigentliche Messung (nach Initialisierung) jeweils < 1 Minute
- geringere Genauigkeit und Zuverlässigkeit als bei statischen Verfahren in Aufstellungsgruppen



RTK mit eigener Referenz



Simultane Messung auf 2 Punkten (Referenz- und Mobilstation)

Während der Messung:

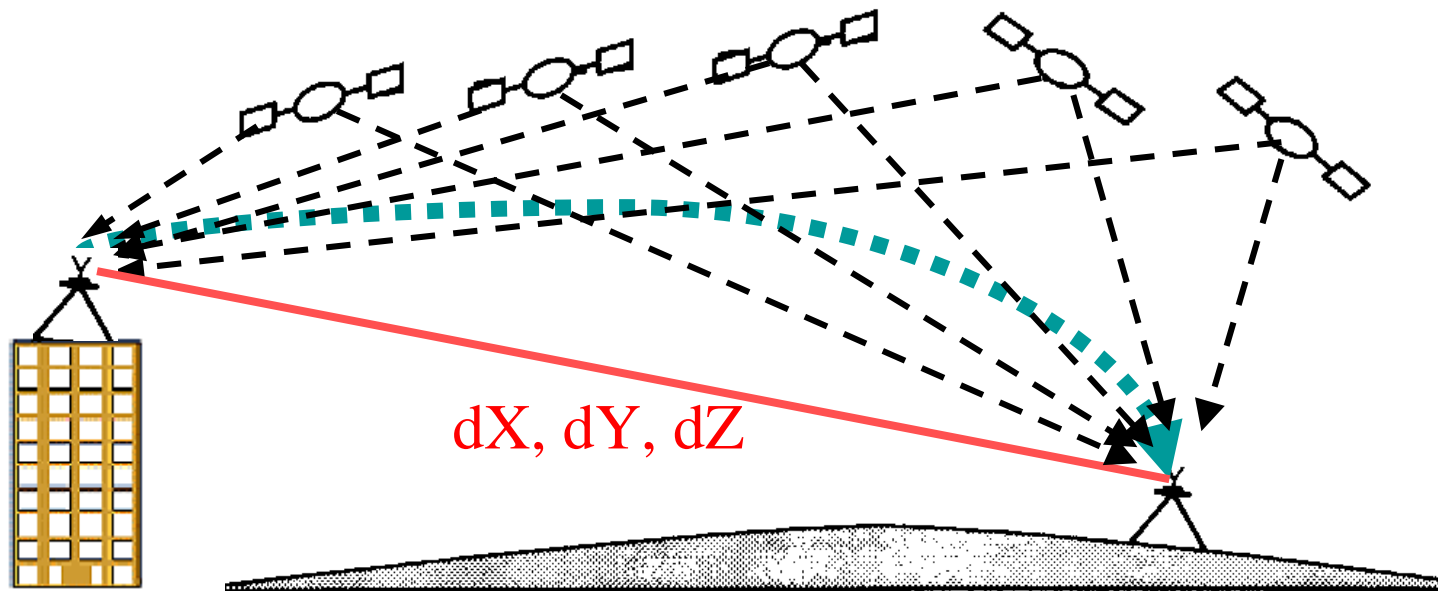
- Übertragung der Messdaten von der Referenz- zur Mobilstation

Auswertung an der Mobilstation (*Echtzeit*):

- Initialisierung (etwa 1 Minute)
- Basislinienberechnung in Echtzeit (< 1 Minute)



RTK mit permanenter Referenz



Kontinuierliche Messung auf der Referenzstation (Permanentstation)

Nutzer misst bei Bedarf mit Mobilstation

Während der Messung:

- Übertragung der Messdaten von der Permanent-zur Mobilstation
- Auswertung an der Mobilstation (*Echtzeit*):
 - Initialisierung (etwa 1 Minute)
 - Basislinienberechnung in Echtzeit (< 1 Minute)

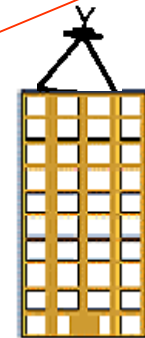
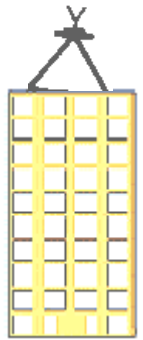


Genauigkeit und Zuverlässigkeit RTK/SAPOS

- zuverlässige und genaue Koordinatenlösung bis 10 km Abstand von einer Referenzstation (laut Ergebnissen des SAPOS-Testrahmens)
- Stationsabstand bei SAPOS etwa 50 km
 - ⇒ *maximaler Abstand zu einer Station etwa 25 Km*
 - ⇒ *Zuverlässigkeit und Genauigkeit nicht flächendeckend gegeben (bei Nutzung einzelner Stationen)*



Problem „lange Basislinien“



**Nutzer wählt eine
Referenzstation an**

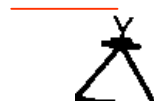
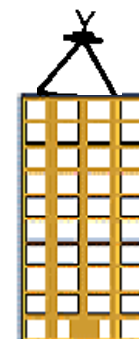
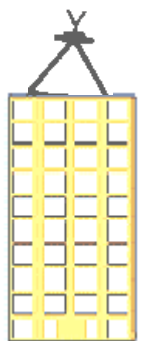


**Lange Basislinien zur
Referenzstation**

→ Genauigkeitsverlust



Problem „lange Basislinien“



Ideal: kurze Basislinie



Vernetzung von Referenzstationen

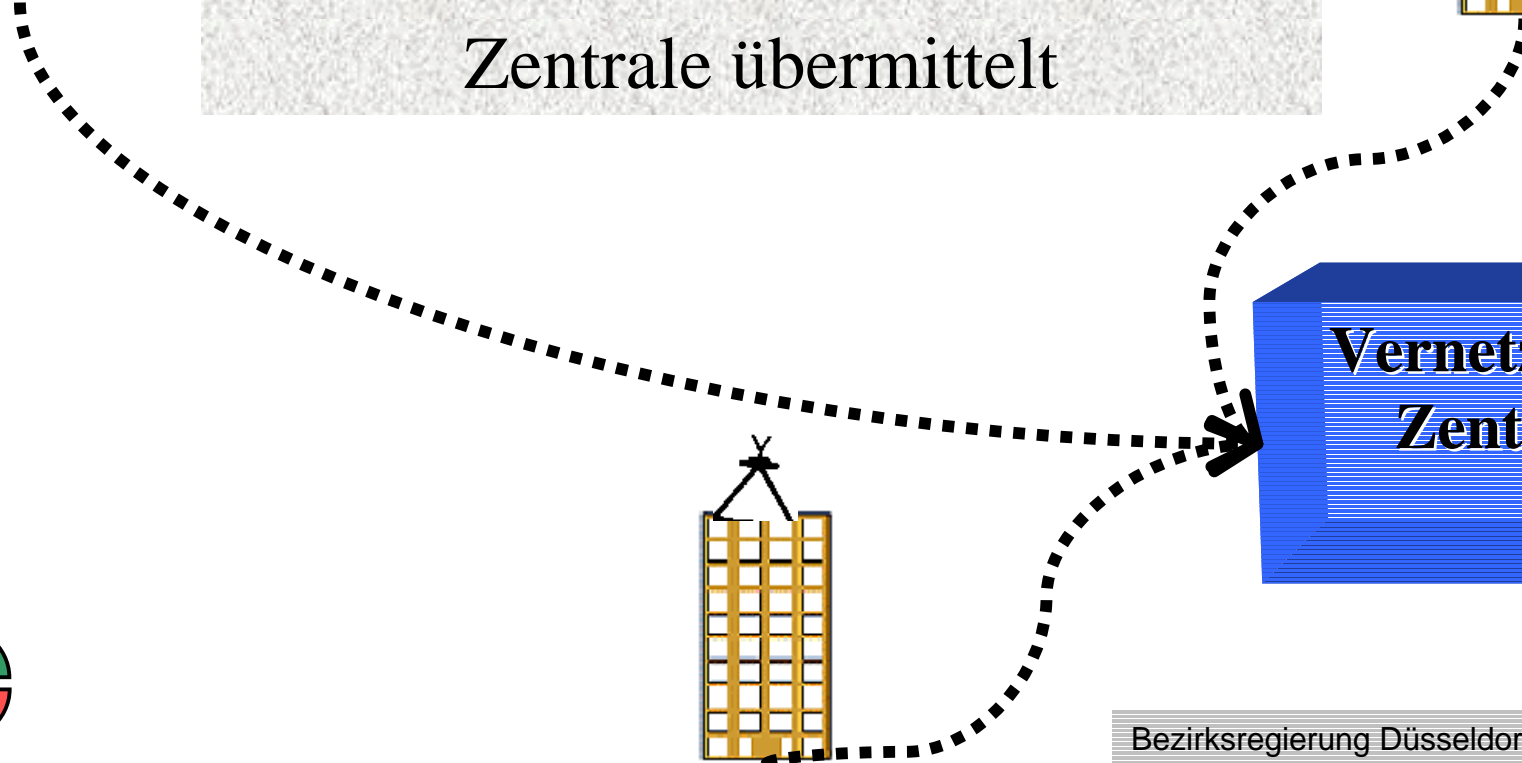
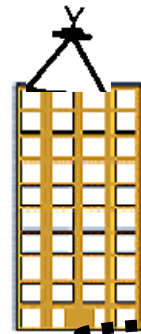
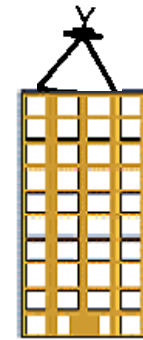
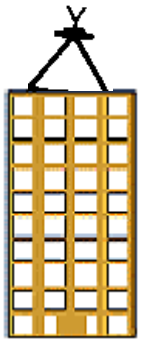
- Problem: Abstände zu Referenzstationen
(lange Basislinien)
- Lösung: Vernetzung von Referenzstationen
- 2 Ansätze:
 - Flächenkorrekurparameter
 - Virtuelle Referenzstation



Vernetzung von Referenzstationen

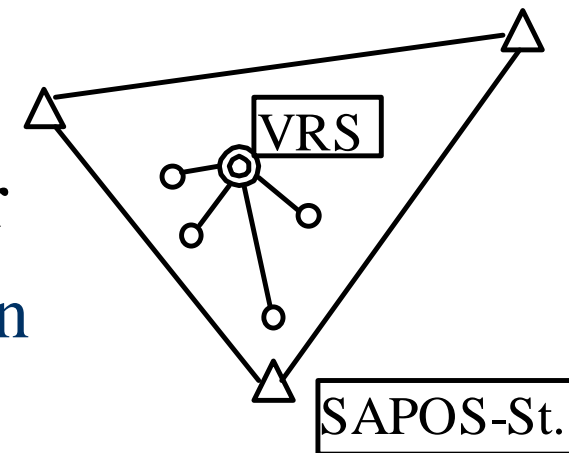
Datenanbindung über Festnetz

GPS-Messdaten werden in Echtzeit von den Permanentstationen an die Zentrale übermittelt



Konzept „Virtuelle Referenzstation“ (VRS)

- Aus Beobachtungsdaten von mindestens 3 Referenzstationen können Beobachtungsdaten einer „virtuellen Referenzstation“ (VRS) gerechnet werden
- Position der VRS innerhalb der Vernetzungsmasche frei wählbar
 - ⇒ Vorteil: Kurze Basislinie zwischen Beobachtungspunkt und VRS
- Echtzeit - und Postprocessing-Anwendungen

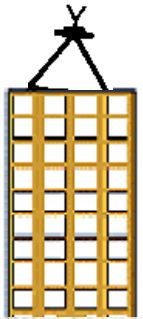


RTK mit VRS

- Unterschied zum RTK: Anstelle einer real existierenden Referenzstation werden in Echtzeit GPS-Messdaten einer VRS „gerechnet“
 - Berechnung der VRS-Daten **in Echtzeit** mit Messdaten der umliegenden Permanentstationen
 - *Virtuelle* Referenzstation, weil nicht existent
 - für eine vom Nutzer zu bestimmende Position im Messgebiet „gerechnet“ - **dadurch kurze Basislinien**



RTK mit VRS - Messprinzip

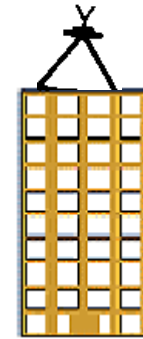
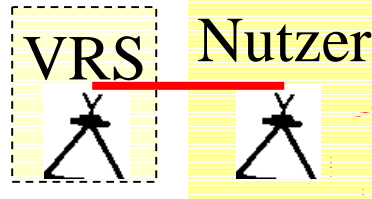


1. Nutzer sendet seine (Grob)-Position an Zentrale (*einmalig*)

2. Zentrale rechnet für diese Position GPS-Messdaten (VRS-Daten, *fortlaufend*)

3. Zentrale sendet die VRS-Daten in Echtzeit an den Nutzer (*fortlaufend*)

4. Nutzer rechnet RTK-Lösung (Initialisierung + Basislinienberechnung)



Statisches Verfahren mit VRS (Postprocessing-Berechnung)

- *Einzelpunktaufstellungen* von etwa 15 - 30 Minuten (*keine Aufstellungsgruppen*)
- **Nach** der Messung: Abruf von GPS-Messdaten (3 umliegende Permanentstationen) für den Messzeitraum über Mailbox (oder Internet)
- Berechnung von Messdaten einer VRS (für den Zeitraum der Messung)
- weitere Auswertung (Initialisierung und Basislinienberechnung)

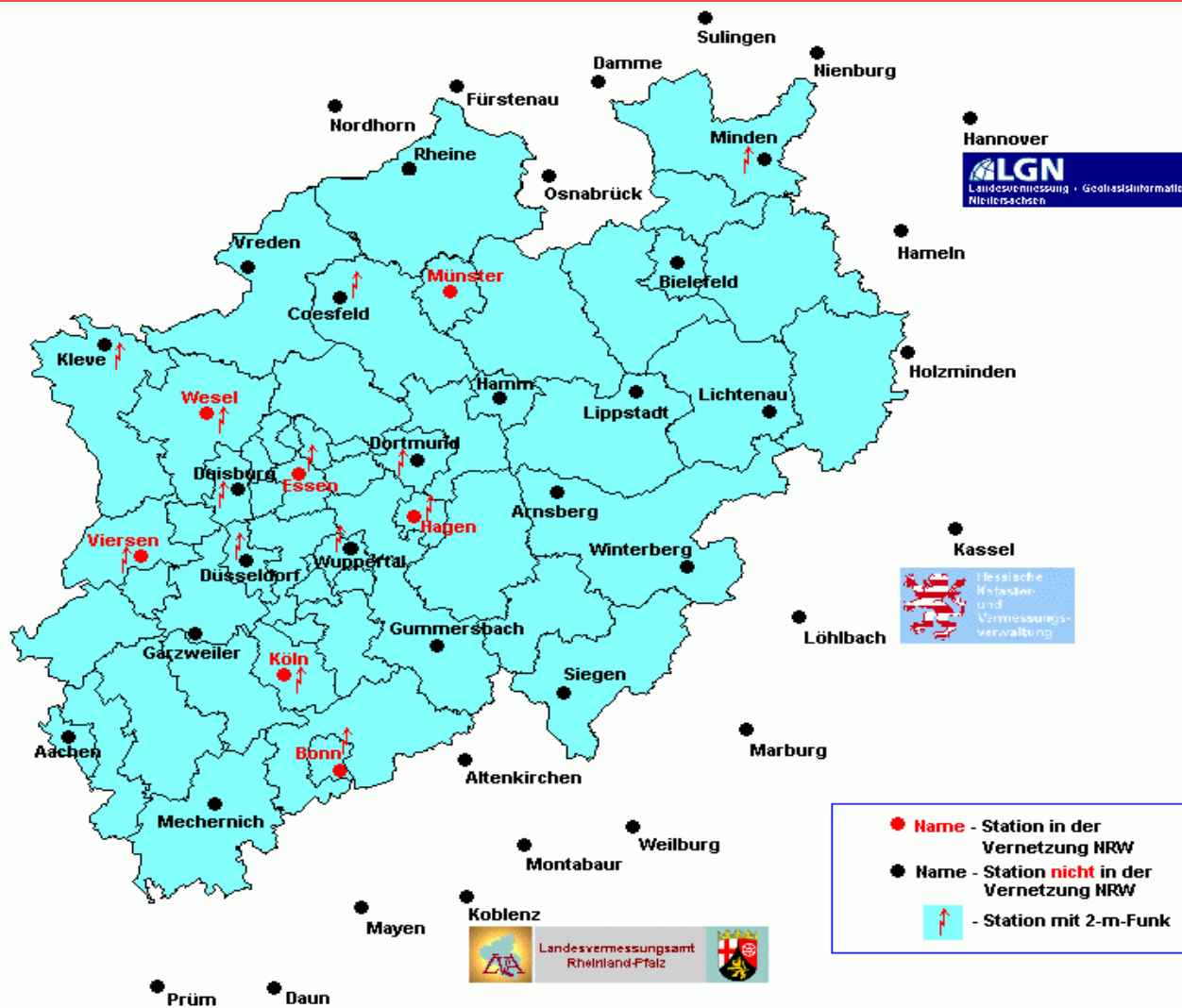


SAPOS - ein Dienst permanenter Referenzstationen

Satelliten*positionierungsdienst*
der deutschen
Landesvermessung



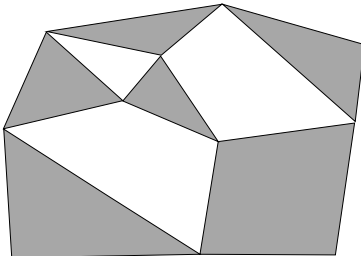
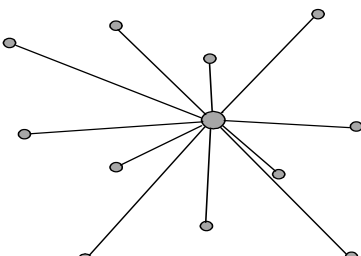
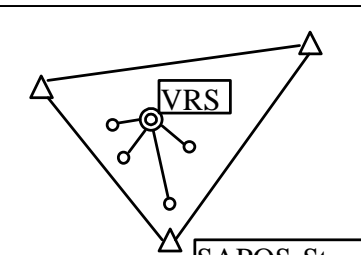
SAPOS - NRW



- Name - Station in der Vernetzung NRW
- Name - Station **nicht** in der Vernetzung NRW
- ↑ - Station mit 2-m-Funk



Zusammenfassung - geodätische GPS-Verfahren

MESSVERFAHREN	MESSUGS-ANORDNUNG	AUSWERTE – TECHNIK		ANWENDUNG		
		Post-proces-sing	Echtzeit (RTK)	TP	AP	Katas-ter
In Aufstellungsgruppen		X		X	X	
mit realer Referenzstation		X	X		X	X
polar mit virtueller Referenzstation (VRS)		X	X	X	X	X

