

# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

1. Aufgabe der Navigation
2. Navigationsparameter
3. GPS
4. INS
5. GPS+INS-Integration
6. Georeferenzierung
7. Fehlereinflüsse



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## 1. Aufgabe der Navigation

- Navigation umfaßt die Bestimmung der Orientierung des Lasersensors zum Zeitpunkt der Messung
- die Navigationsparameter sind Voraussetzung zur Herstellung der Georeferenzierung der Messungen
- Bestimmung der Punktkoordinaten an der Erdoberfläche



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## 2. Navigationsparameter

Bestimmung von

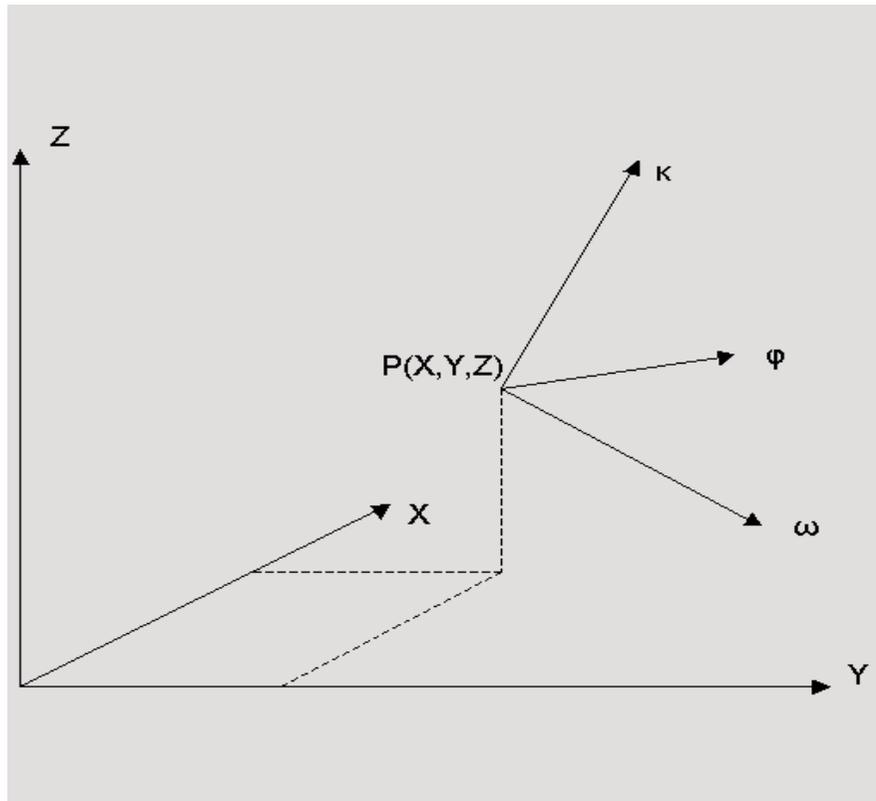
- **Lage**  3D-Koordinaten  $(X, Y, Z)_t$  mittels GPS (Global Positioning System) und
- **Orientierung**  3 Drehwinkel  $(\varphi, \omega, \kappa)_t$  um die 3 Raumachsen mittels INS (Inertialsystem)

des Sensors im Raum zum Zeitpunkt  $t$  der Messung



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

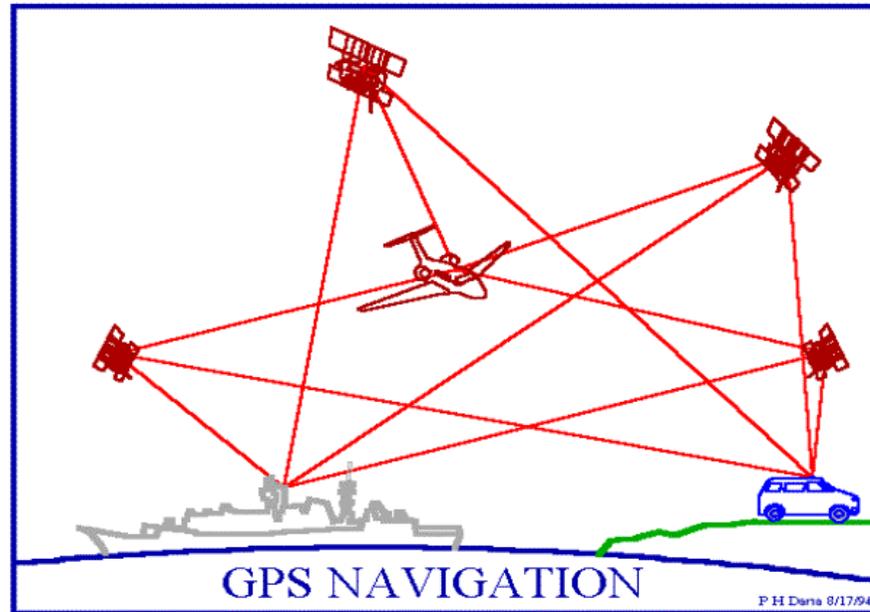
## Prinzipskizze der Navigationsparameter



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 3. GPS

### 3.1 Einführung



Quelle: [www. www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## 3.1.1 Aufgabe

- wetterunabhängige Echtzeitnavigation für beliebig viele Nutzer, die zu jeder Zeit global verfügbar ist
- Messung der Entfernung zu mindestens 4 Satelliten, deren Raumpositionen bekannt ist, liefert Positionsbestimmung des Standpunktes auf der Erde.
- Ziele: für jede Position auf der Erde immer mindestens 4 Satelliten beobachtbar;



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

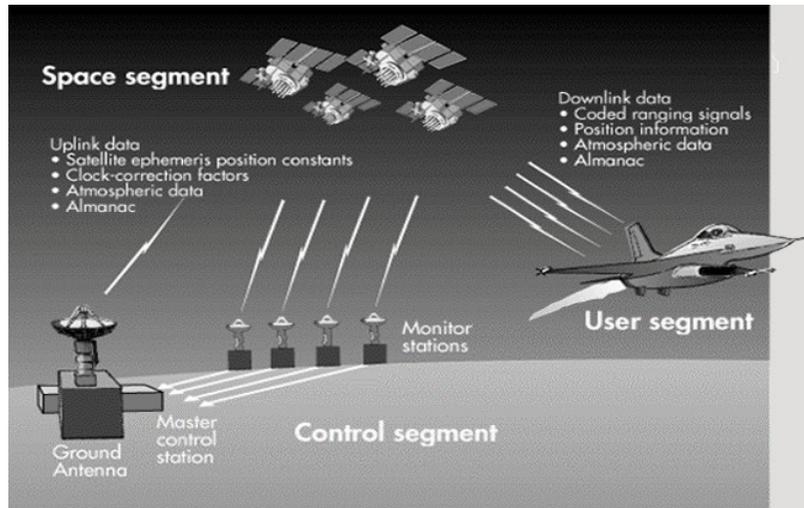
## 3.1.2 Allgemeines

- meistgenutztes System: Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System (**NAVSTAR GPS**)
- entwickelt für militärische Zwecke durch die USA, auch zivile Nutzung
- andere Systeme: **GLONASS** (Russland), **GALILEO** (Europa, wird installiert)



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 3.2 Aufbau von GPS



Quelle: [www.aero.org/publications/GPSPRIMER/GPSElements.html](http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/GPSElements.html)

- Raumsegment : 24 Satelliten (im Orbit 27-29, z.B. wegen Ersatz bei Ausfall)
- Nutzersegment: Empfängergeräte
- Kontrollsegment: Kontrollstationen weltweit (z.B. geodätische Fundamentalstationen, "tracking")



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

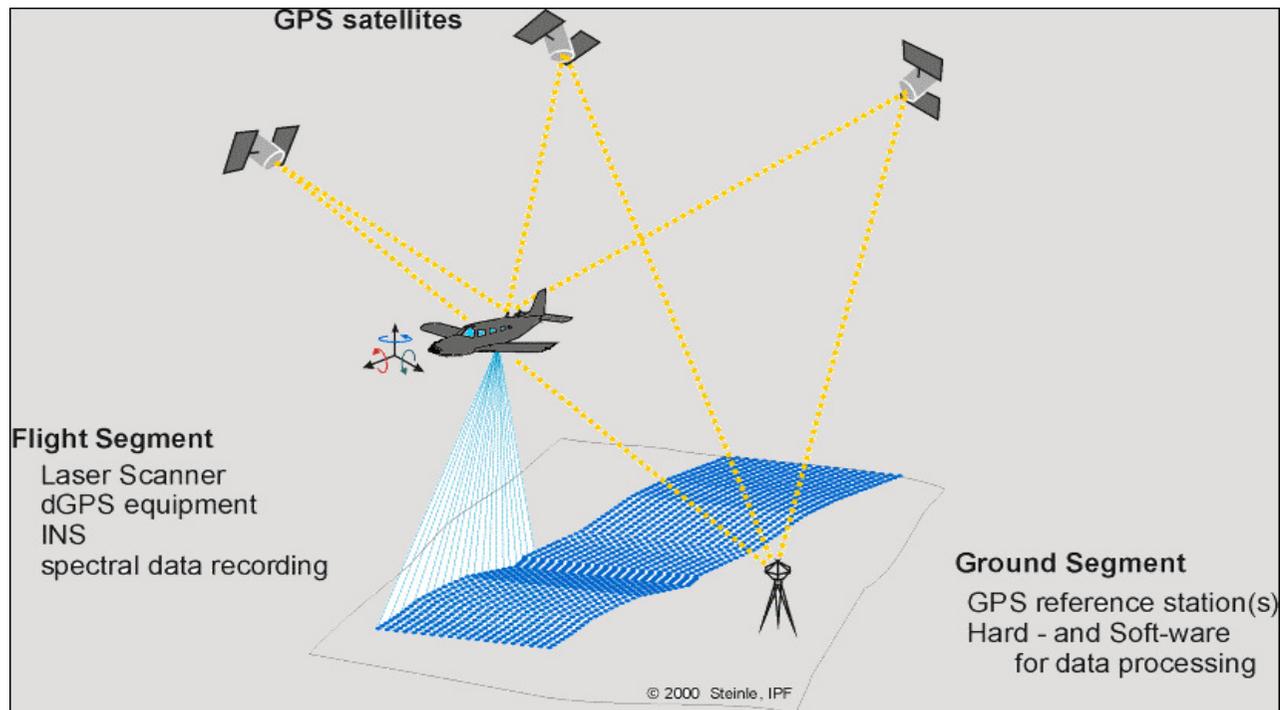
## 3.3 Positionsbestimmung

- Positionsbestimmung mittels GPS basiert auf Entfernungs- und Entfernungsänderungsmessungen mittels von den GPS-Satelliten kontinuierlich ausgesandten elektromagnetischen Wellen [nach Friess, 1990]
- Prinzipien:
  - Code-Beobachtungen (Genauigkeiten im dm-Bereich)
  - Phasen-Beobachtungen (Genauigkeiten im mm-Bereich)
- bei der Code-Beobachtung wird die Signallaufzeit von der Satelliten- zur Empfängerantenne gemessen



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 3.4 Differential GPS



Quelle: Steinle, E.; 2000, IPF Karlsruhe



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

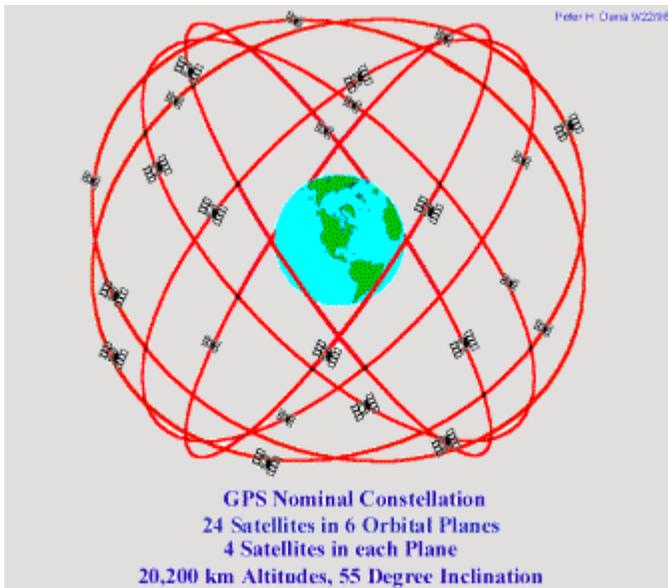
## zu 3.4 Differential GPS

- simultane Beobachtungen vom Flugzeugempfänger und von einem stationären Empfänger auf einem koordinatenmäßig bekannten Referenzpunkt
- durch Linearkombinationen zwischen Beobachtungen beider Empfänger  
Elimination von Unsicherheiten in Modellparametern (Uhren, Atmosphäre...)



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 3.5 Technische Daten



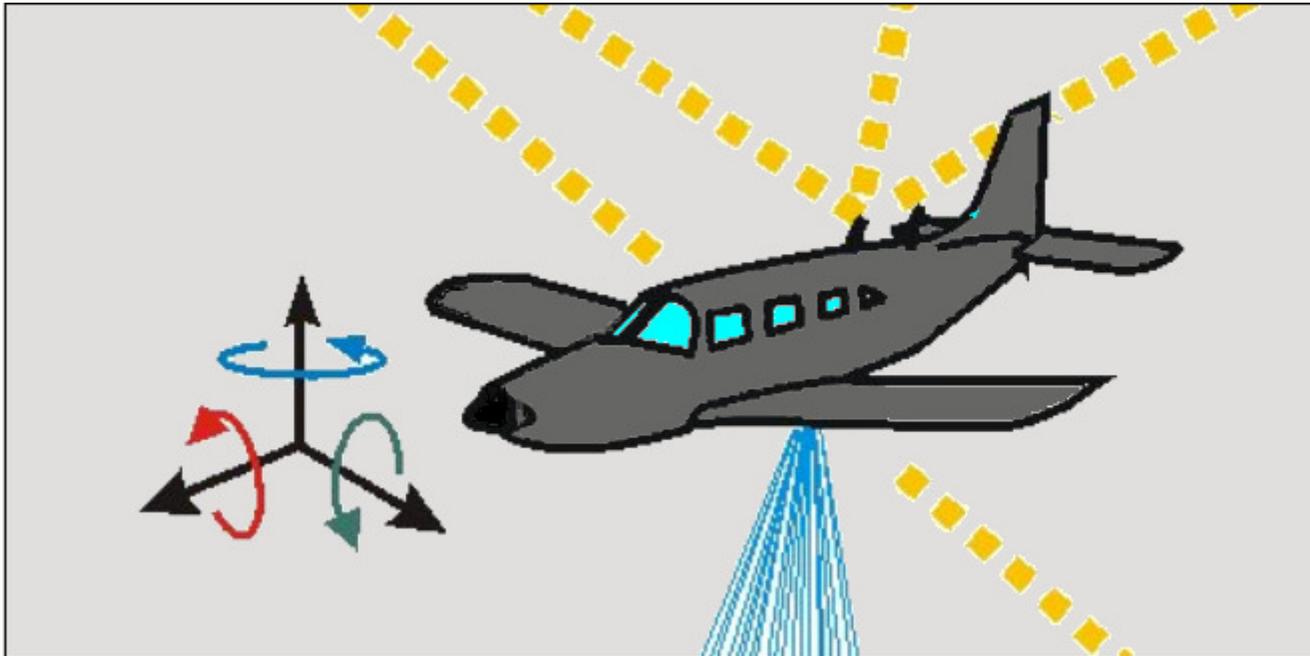
- Satellitenbahnen: 6 Bahnebenen, 4 Satelliten pro Bahn, Bahnwinkel  $60^\circ$ , Umlaufperiode 1/2 Sterntag (11h58min)
- Signalstruktur: elektromagnetische Wellen
- Trägerfrequenzen L1: 1575,42Mhz und L2: 1227,60Mhz
- Uhrdaten: Uhrstand, Frequenzen, Driftrate
- Bahndaten: Ephemeriden - modifizierte Keplerbahn, zeitliche Änderung der Keplerelemente
- Bezugssystem : WGS84 (Ellipsoid als abstrahierte Form der Erde)

Quelle: [http://www.colorado.Edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.Edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 4. INS



Quelle: Ausschnitt aus: Steinle, E.; 2000, IPF Karlsruhe



# Laserscanning **Navigation** und Georeferenzierung

## 4.1 Einführung (1)

- INS: **I**nertial **N**avigation **S**ystem
- Funktionsprinzip: INS beruht auf der **Koppelnavigation** (engl. dead reckoning navigation) im dreidimensionalen Raum.  
Positionsbestimmung durch "Ankoppeln" der bereits geflogenen Strecke an den Abflugort.
- System: **3 Beschleunigungsmesser** und **3 Kreisel**



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 4.1 Einführung (2)

- die **Kreisel** werden zur Bestimmung der **Lagewinkel** verwendet
- durch zweifache **Integration** der gemessenen **Beschleunigungen** erhält man den **zurückgelegten Weg**
- **Positionsänderungen** werden aus zurückgelegtem **Weg** und **Azimut** berechnet
- zur Berechnung der Position müssen folgende Parameter bekannt sein:
  - + Anfangsposition  **$r(t_0)$**
  - + Anfangsgeschwindigkeit  **$v(t_0)$**
  - + Anfangsorientierung  **$A_0$**



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## 5. GPS+INS-Integration

### 5.1 Vergleich der Systeme

|                                | <b>GPS</b>                   | <b>INS</b>      |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------|
| autonom (geschlossenes System) | nein                         | ja              |
| Orientierung                   | nein                         | ja              |
| Initialisierung                | notwendig                    | nicht notwendig |
| Langzeitstabilität             | sehr gut                     | schlecht        |
| Verfügbarkeit                  | nicht immer<br>(Abschattung) | immer           |
| Datenrate                      | niedrig (0,1-10 Hz)          | hoch (300 Hz)   |



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## 5.2 Zusammenwirken der Systeme

Beide Systeme nutzen Vorteile des anderen, Nachteile des anderen werden ausgeglichen



Kombination beider Systeme

- GPS liefert die Positionsdaten, die zur Initialisierung von INS notwendig sind
- INS ermittelt die Geschwindigkeit des Systems und unterstützt damit den GPS-Empfänger bei der Synchronisation mit dem Satellitensignal
- Inertial-Systeme interpolieren Lagekoordinaten zwischen den GPS-Werten und liefern die Orientierung des Systems

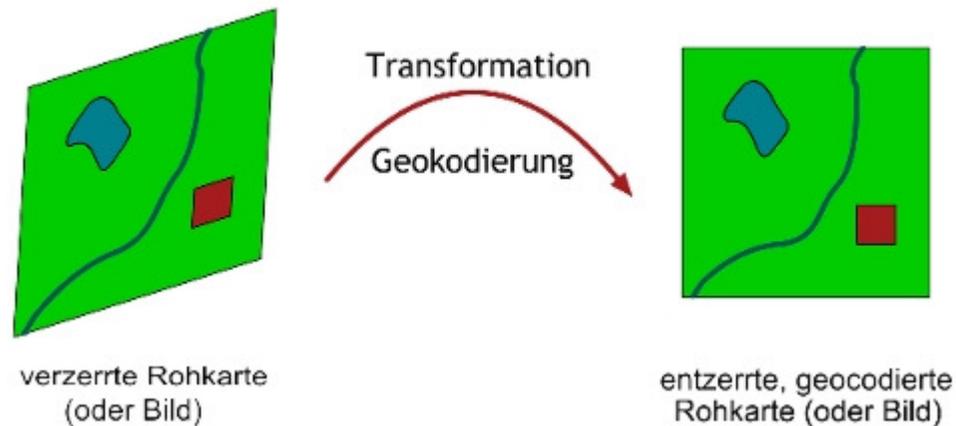


# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 6. Georeferenzierung

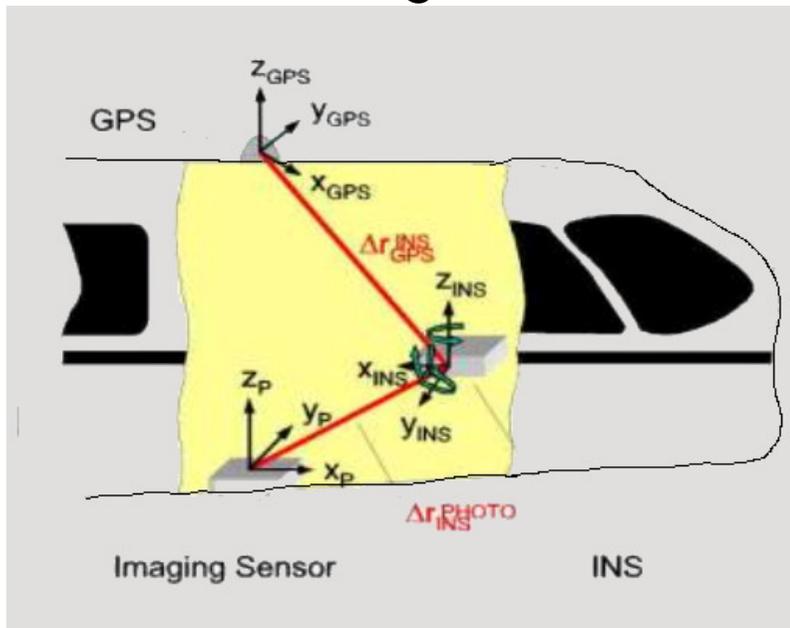
**Definition Georeferenzierung:** geometrische Transformation der Daten auf ein geodätisches Bezugssystem [nach Albertz, 2001]

**Ziel der Georeferenzierung:** Bestimmung der 3D-Koordinaten der Meßpunkte auf der Erdoberfläche in einem erdbezogenen Koordinatensystem



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## Sensorkonfiguration zur direkten Georeferenzierung



Quelle: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/ifp/sensor/georef-Dateien/georef.html>

- die 3 Meßsysteme GPS, INS und der Laserscanner haben jeweils einen eigenen Bezugspunkt
- sie sind räumlich voneinander getrennt und haben eine eigene Position und Orientierung
- die jeweilige Messung bezieht sich auf die Bezugspunkte jedes Systems

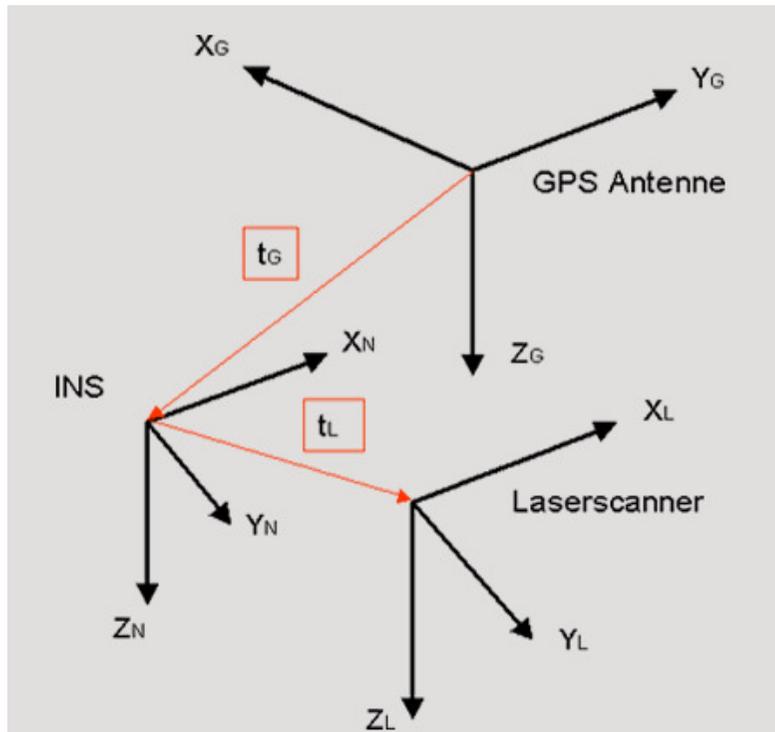


## Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

-  durch Transformationen [siehe Schenk, 2000] werden die Systeme GPS und INS ins Laserscannersystem übertragen
-  damit ist die Lage und Orientierung des Laserscanners bezüglich dem erdbezogenen Koordinatensystem bestimmt
-  mittels dem Ablenkwinkel / Schrägentfernung der Lasermessung wird über polares Anhängen ( geodätische Grundaufgabe ) der Meßpunkt an der Erdoberfläche koordinatenmäßig bestimmt



# Lasecanning Navigation und Georeferenzierung



Prinzipische Skizze zur Integration von GPS + INS in das Laserscannersystem, [nach Schenk, 2001]

- Koordinatensysteme eines abtastenden Laseraltimeters, bestehend aus dem Laserscanner  $(X_L, Y_L, Z_L)$ , der INS-Einheit  $(X_N, Y_N, Z_N)$  und dem GPS-Empfänger  $(X_G, Y_G, Z_G)$
- $t_L, t_G$  - Translationsvektoren



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## 7. Fehlereinflüsse

**Laserscanner:** Abweichungen zur Normatmosphäre, Distanzmessfehler, Ablenkwinkelfehler, Indexfehler

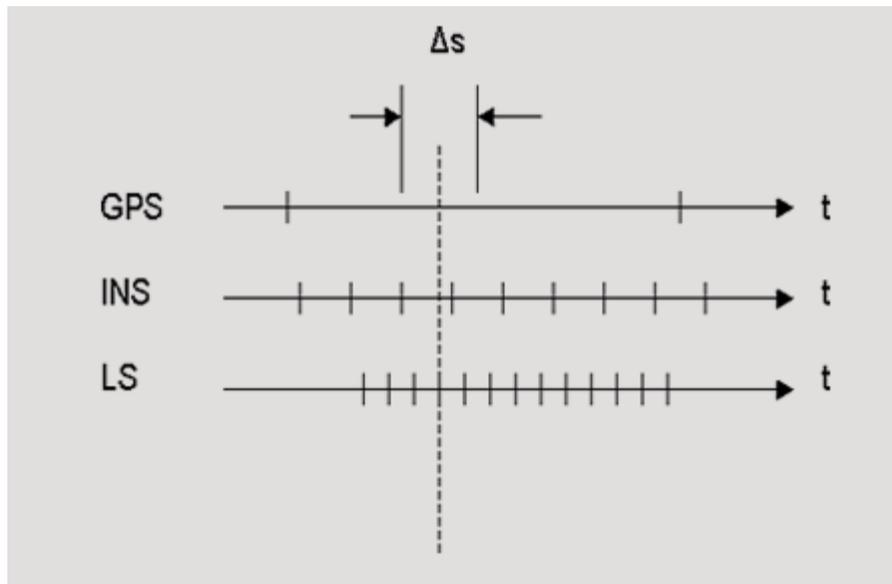
**INS:** Restfehler in den aus Kreismessungen abgeleiteten Orientierungswinkeln, Sensorenfehler,

**GPS:** Empfängeruhrfehler, Satellitenuhrfehler, Laufzeitfehler in der Atmosphäre, Phasensprünge und -mehrdeutigkeiten



# Lasecanning Navigation und Georeferenzierung

## Synchronisations- und Interpolationsfehler:



nach Schenk, 2001

- **Interpolation:** jedes System hat eigenes Referenzsystem und mißt mit verschiedenen Frequenzen (GPS - 10 Hz, INS - bis 300 Hz, Laser - 10000 Hz)
- **Synchronisation:** verschiedene Zeitsysteme müssen synchronisiert und somit auf eine einheitliche Zeitbasis gebracht werden (Zeitsysteme z.B.: GPS-Zeit, Weltzeit)



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung

## Größenordnung

| Fehlerquelle  | Größenordnung   |
|---|---|
| max. Lotabweichungsfehler $\Delta R_g$              | 0.017°  |
| INS-Fehler $\Delta R_n$                             | 0.01°   |
| vor/nach in situ (am Ort) Kalibrierung $\Delta R_m$ | 0.3° / 0.01°  |
| Indexfehler, Ablenkungswinkel $\Delta R_l$          | $\varepsilon = 0.02^\circ$ $\Delta \tau = 0.03^\circ$ |
| Laserdistanzfehler $\Delta r$                       | 5 -10cm   |
| vor/nach in situ Kalibrierung $\Delta t_{GL}$       | 5cm / 3cm   |
| GPS+Synchronisierungs-fehler $\Delta t_{GPS}$       | 10cm  |



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

- Punktfehler(error per point): zufällig
- GPS-Beobachtungsfehler(error per GPS-observation): zufälliger Anteil für alle gemessenen Laserpunkte während der Beobachtungsfrequenz von 1Hz, dh. 1 GPS-Messung pro Sekunde (hängt von der Fluggeschwindigkeit ab , wieviele Laser-Punkte das sind)

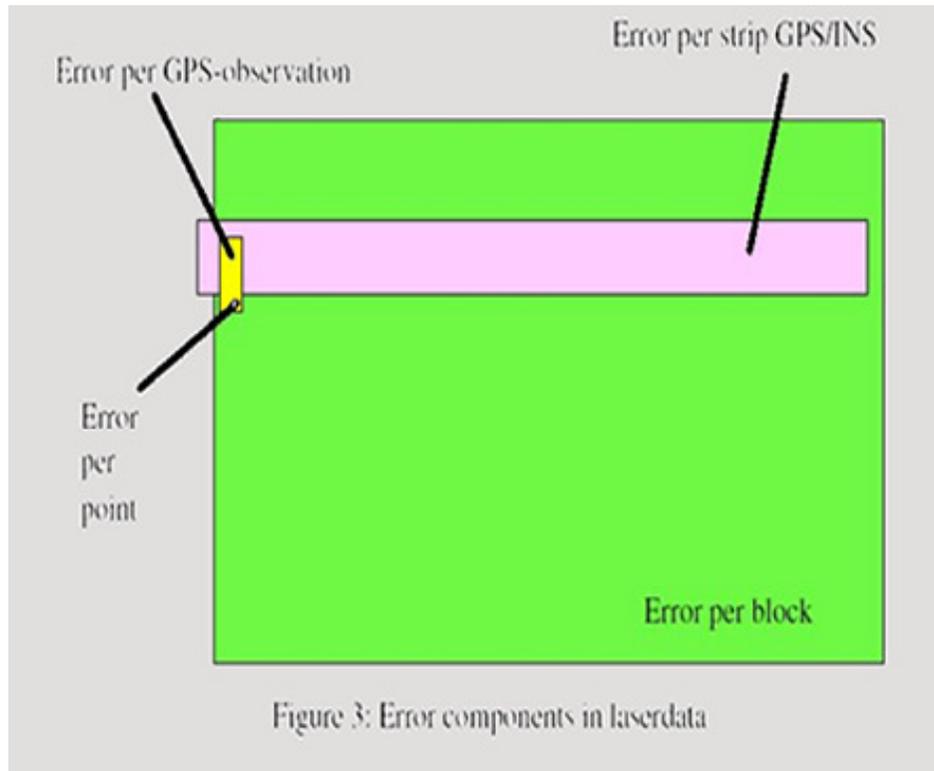


## Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

- Streifenfehler (error per strip): GPS/INS-System hat einen „vertical offset“ pro Streifen (systematisch, zu korrigieren)
- Blockfehler (error per block): Referenzpunkte an der Erdoberfläche werden zur Korrektur von Laserpunkt“blöcken“ genutzt, Fehler in diesen Blöcken beeinflussen also die Werte eines ganzen Blocks [nach de Min,2000] (siehe Grafik auf der folgenden Seite)
- Störung des INS (Kreisel) durch unterschiedliche Verteilung der Erdanziehungen
- Einbaufehler der Meßsysteme



# Laserscanning Navigation und Georeferenzierung



Zusammenwirken von Fehlerquellen

Quelle: aus M.J.E.Crombaghs, R.Brügelmann, E.J.de Min : „on the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data “, 2000



# Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

## LITERATUR

- **Albertz, J.:** Einführung in die Fernerkundung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 2001, S.79
- **Crombaghs, M.J.E.:** Brügelmann, R.; de Min, E.J.: On the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam 2000
- **Friess, P. :** Kinematische Kamera-Positionierung mit GPS für die Aerotriangulation. ZPF 5/1990, S.134-143
- **Hannuschka, A. :** Vortrag „Vergleich INS mit GPS“,  
links: [rcswww.urz.tu-dresden.de/~ah32/index1/vortrag.html](http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~ah32/index1/vortrag.html)  
[rcswww.urz.tu-dresden.de/~ah32/index1/offdt.html](http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~ah32/index1/offdt.html)



## Laserscanning **Navigation und Georeferenzierung**

- **Kilian, J.; Haala, N.; Englich, M.:** Capture and evaluation of airborne laser scanner data. IAPRS, Vol. XXXI/2, Wien 1996, Part B3, S. 141-146
- **Lindenberger, J.:** Laserprofilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme. DGK-Reihe, Heft Nr.400, München 1993
- **Schenk, T.; Csathó, B.:** Modellierung systematischer Fehler von abtastenden Laseraltimetern. Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation 5/2001, S.361-373

