



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

## Die Vorteile des Einsatzes mehrerer GNSS

*Global Navigation Satellite System*  
bei der Flugzeugnavigation  
im Alpenraum

*Karen von Hünerbein*

[www.lange-electronic.de](http://www.lange-electronic.de)



# Gliederung



- o Welche GNSS gibt es?
- o Wozu mehr als eines, GPS funktioniert doch?
- o Systemerweiterungen und andere GNSS
- o Vorteile und Nachteile beim Einsatz zusätzlicher GNSS
- o Qualitätstests mit Simulation
- o Prüfung von Flugzeug-GNSS Empfängern

*GNSS Global Navigation Satellite System*

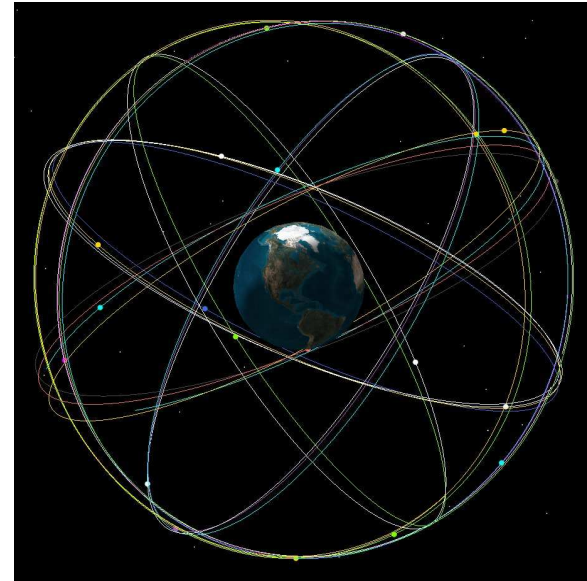
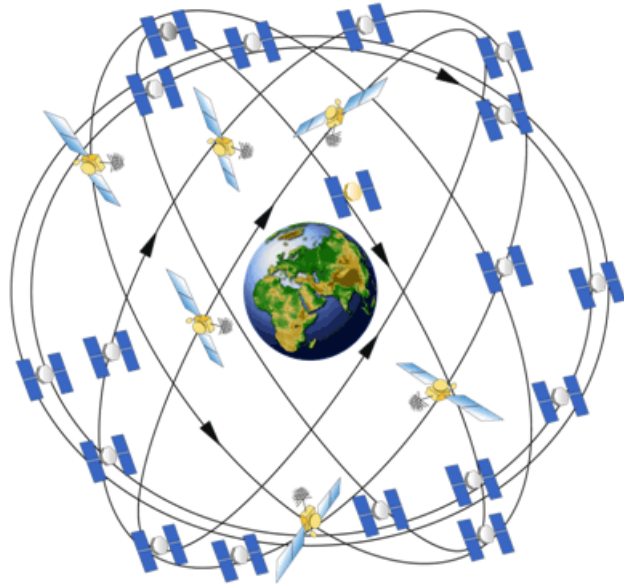


PRECISION - OUR BUSINESS.

# GPS

# GNSS heute

# GLONASS



**Satellitennavi-  
gations-  
system**  
**Militärisches System der USA**

**Volle Konstellation:**  
30 MEO Satelliten umkreisen die Erde

**Satellitennavi-  
gations-  
system**  
**Militärisches System Rußlands**

**Fast Volle Konstellation**  
24 MEO-Satelliten (einer noch  
nicht ganz in Betrieb 3.11.11)

# Galileo

# GNSS morgen

# COMPASS

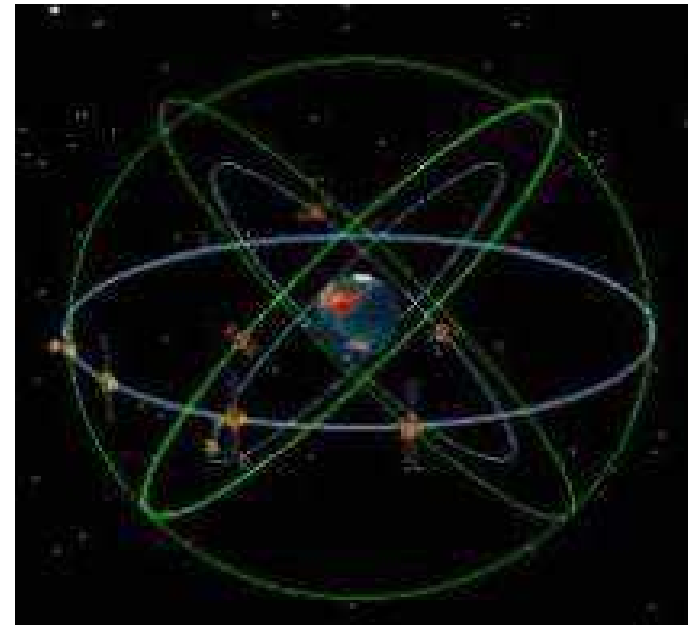


## ziviles EU System:

**Zwei Test Satelliten im Orbit**

*GIOVE A und GIOVE B* und 2 IOV

die ersten beiden IOV  
(In Orbit Validation Satellite)  
sind Okt 2011 ins All gestartet  
Vollbetrieb geplant 2018 - 2020



## Chinesisches System:

**militärisch**

**8 (9) Satelliten im Orbit**

es wird aus 5 GEOs, 30 MEOs  
und 3 Inklinierten Geosynchrone  
Orbits (IGSO) bestehen  
Regionalbetrieb ab 2012  
weltweit ab 2020

# Anforderungen für den Flugbetrieb

o Verfügbarkeit

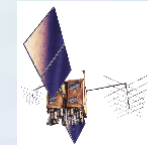
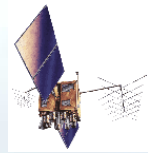
o Integrität

o Vertikale Genauigkeit

immer genug Satelliten in Sicht – Landeanflug

wenn Fehlfunktion oder Ausfall → schnelle Nachricht an den Empfänger

ist immer um Faktor 2 schlechter als **Horizontal**



# Definition der Meßparameter

Verfügbarkeit



Prozentsatz der Zeit,  
in der eine Positionslösung möglich ist

Kontinuität



Voller Betrieb ohne Unterbrechungen

Integrität



Maß dafür, wie sehr man der Information  
vertrauen kann

Genauigkeit



Maß dafür, wie gut die Positionslösung mit der  
echten Position übereinstimmt

PRECISION - OUR BUSINESS.

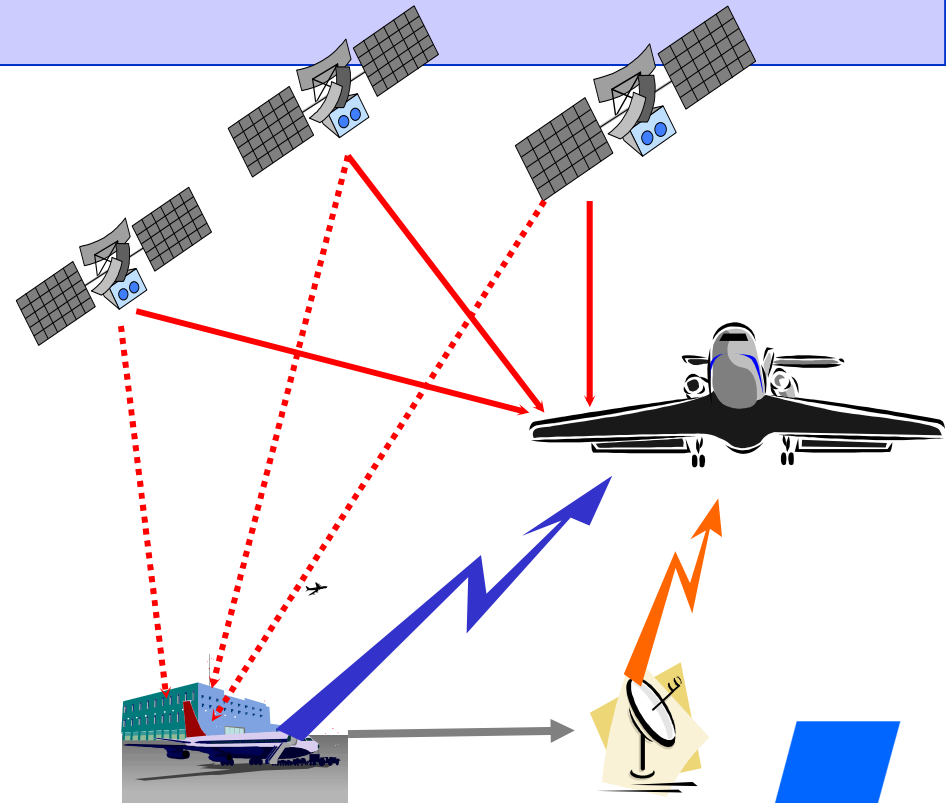


# Systemerweiterungen



EGNOS

SBAS - Satellite Based Augmentation System



GBAS - Ground Based Augmentation System



PRECISION - OUR BUSINESS.

# Funktion von GBAS und SBAS

## Gemeinsamkeiten

- eine oder mehrere Bodenstationen beobachten und messen **Umlaufbahnverschiebung** und **Uhrendrift** der GPS Satelliten
- Signalverzögerungen durch Atmosphäre besonders Ionosphäre

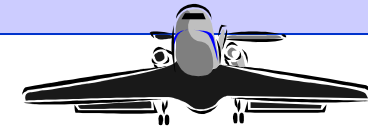
## GBAS:

eine Bodenstation sendet Korrekturdaten und Warnmeldungen direkt an die Flugzeuge in der näheren Umgebung



## SBAS:

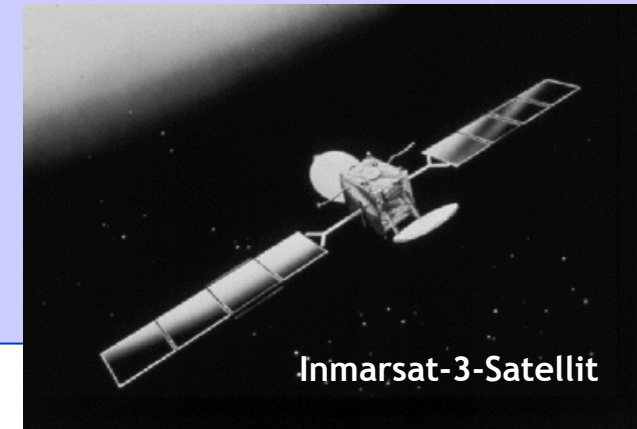
Daten eines Netzwerks von Bodenstationen werden in einem Rechen- und Kontrollzentrum zu Korrekturnachrichten und Warnmeldungen zusammengefaßt und weiter an GEO Satelliten gesendet, die sie an die Nutzer senden





# EGNOS

## European Geostationary Navigation Overlay System (SBAS)



- o GEO - Satelliten mit EGNOS-Transpondern:

- Inmarsat PRN 120 Position 15,5°W - Atlantik
- Artemis PRN 124 Position 21,5°O - Afrika
- Inmarsat PRN 126 Position 25,0°O - Afrika
- Sirius Position 5,0°O (ab 2011)

- o Die Satelliten senden auf L1

- o Umfangreiches Bodennetzwerk aus  
34 Beobachtungsstationen  
(Ranging and Integrity Monitoring Station RIMS)



# Vorteile von GBAS / SBAS Korrekturdaten

## o deutliche Genauigkeitsverbesserung

- 15 m: Mittlere GPS Positionsgenauigkeit
- < 3 m: Mittlere GBAS Positionsgenauigkeit
- < 3 m: Mittlere SBAS Positionsgenauigkeit

## o deutliche Integritätsverbesserung

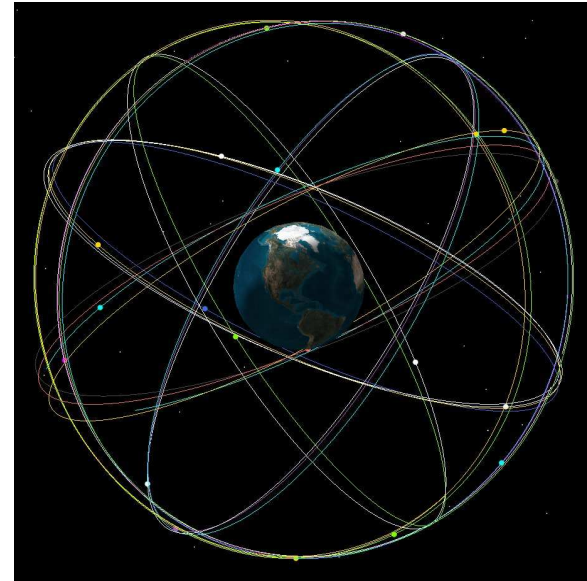
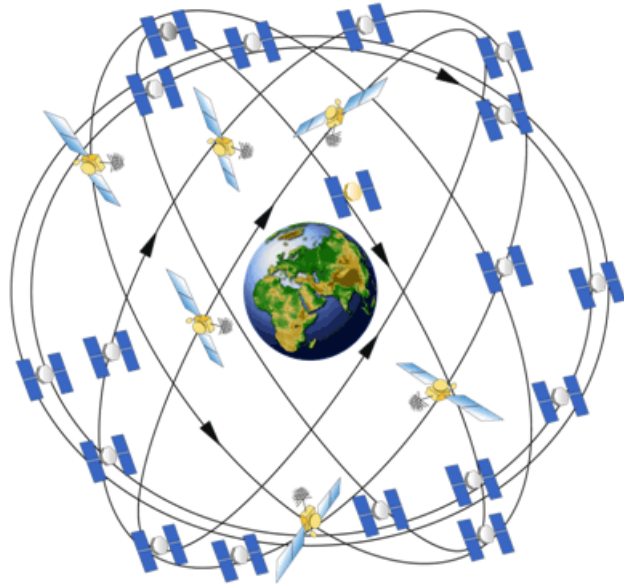
- **GBAS -- Ground Based Augmentation System**
  - schnelle Antwortzeiten
  - besonders gut, weil sehr nahe am Zielflugzeug
- **SBAS – Satellite Based Augmentation System**
  - Benutzer können innerhalb von 6 Sekunden über Probleme im GPS System informiert werden



# GPS

# GNSS heute

# GLONASS



**Satellitennavi-  
gations-  
system**  
**Militärisches System der USA**

**Volle Konstellation:**  
30 MEO Satelliten umkreisen die Erde

**Satellitennavi-  
gations-  
system**  
**Militärisches System Rußlands**

**Fast Volle Konstellation**  
24 MEO-Satelliten (einer noch  
nicht ganz in Betrieb 3.11.11)

# Galileo

# GNSS morgen

# COMPASS

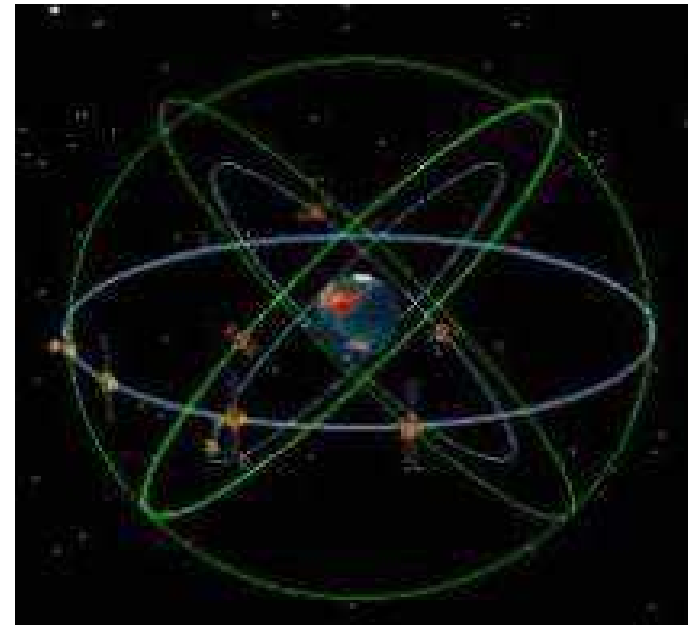


## ziviles EU System:

**Zwei Test Satelliten im Orbit**

*GIOVE A und GIOVE B* und 2 IOV

die ersten beiden IOV  
(In Orbit Validation Satellite)  
sind Okt 2011 ins All gestartet  
Vollbetrieb geplant 2018 - 2020



## Chinesisches System:

**militärisch**

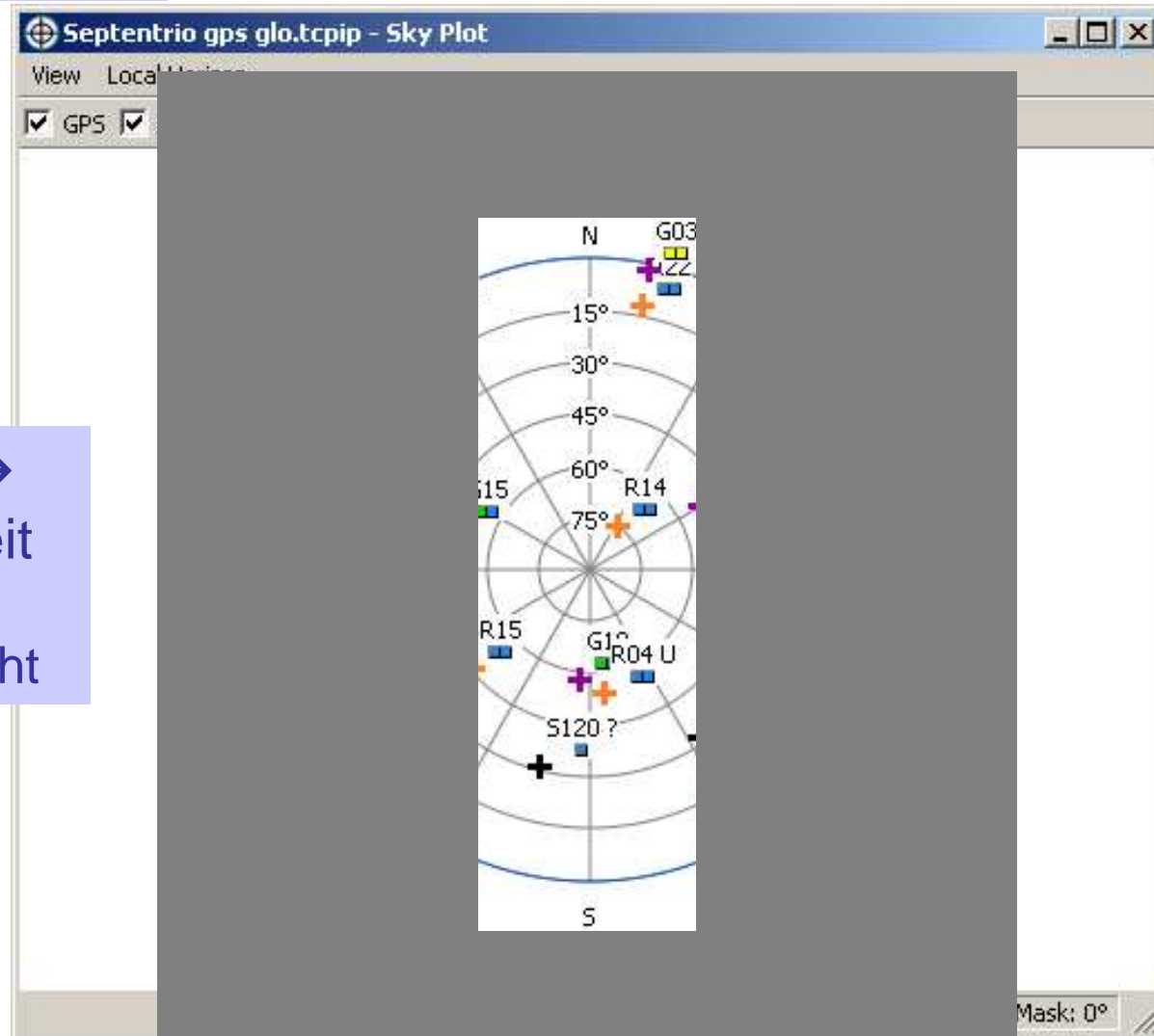
**8 (9) Satelliten im Orbit**

es wird aus 5 GEOs, 30 MEOs  
und 3 Inklinierten Geosynchrone  
Orbits (IGSO) bestehen  
Regionalbetrieb ab 2012  
weltweit ab 2020

# Vorteile mehrerer GNSS: Verfügbarkeit

**GPS + GLONASS + SBAS**  
England, 7 May 2009

mehr Satelliten →  
mehr Verfügbarkeit  
gerade bei  
eingeschränkter Sicht

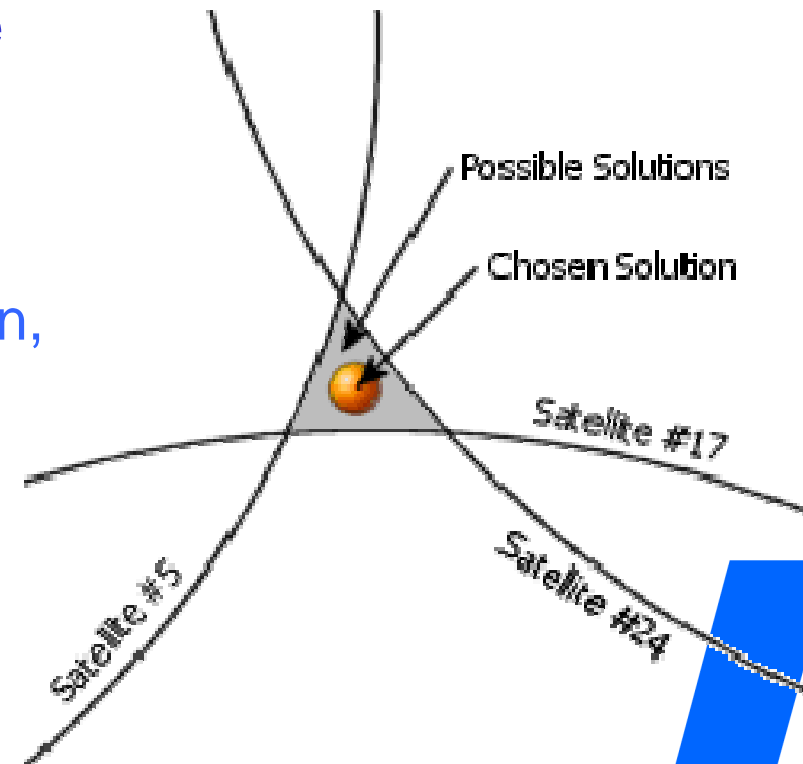


# DOP Dilution of Position

- **DOP** ist ein Maß für die sichtbare Satellitengeometrie

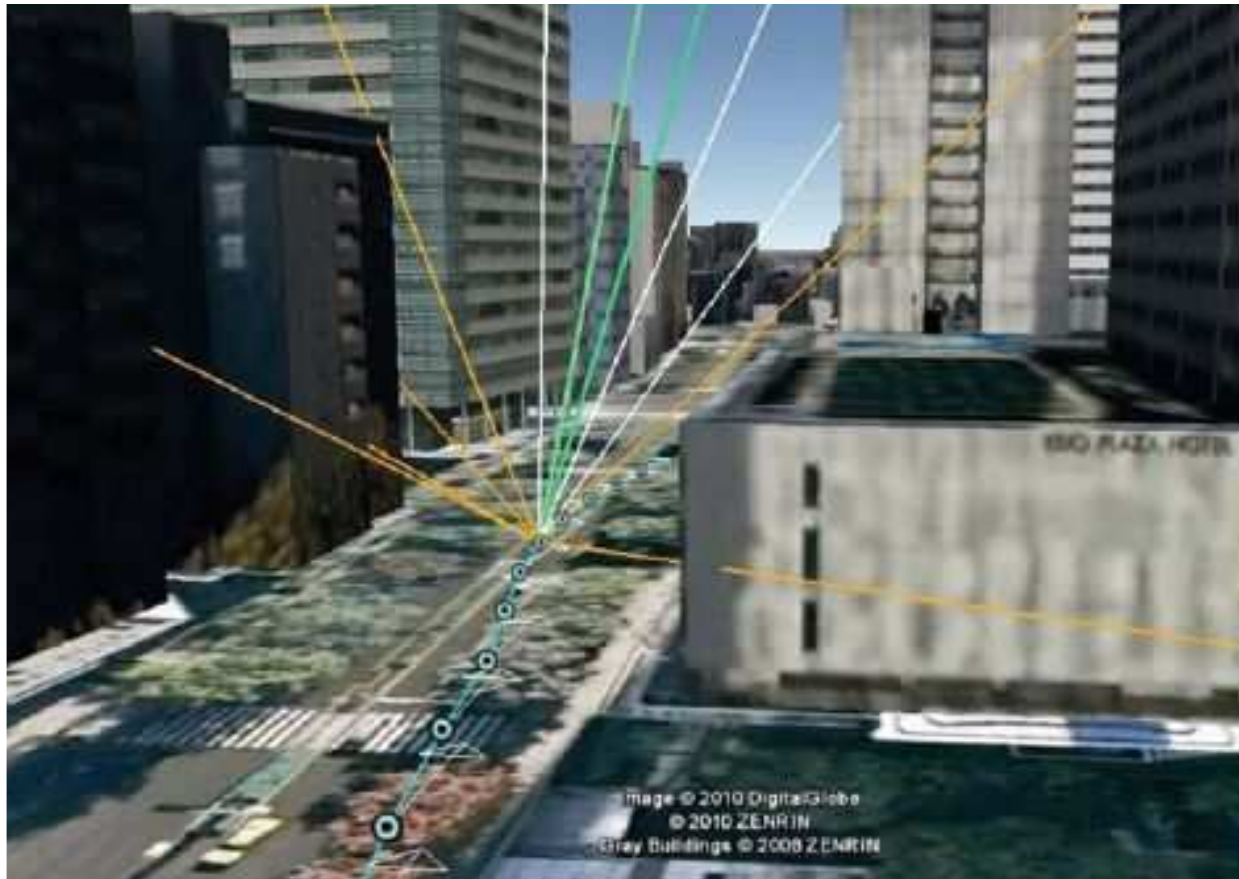
- Das Volumen, wo die Entfernungskugeln sich schneiden, wird immer größer je näher die Satelliten beieinander stehen (bei Restungenauigkeit der Entfernungsbestimmung)

- ► die geometrische Ungenauigkeit ist umso kleiner, je weiter die Satelliten über den Himmel verteilt sind



# Verbesserung des DOP Dilution of Position

DOP wird besser wenn mehr Satelliten da sind: GPS + QZSS  
(Bild aus GPS World Dez 2010, von Diggelen "Down and Deep")



weiß: direkte GPS  
Signale

orange: reflektierte  
GPS Signale

grün plus 2 direkte  
QZSS Signale

nur GPS	DOP 58
GPS + QZSS	<b>DOP 3</b>

japanische Stadt: Shinjuku --- Hochhäuser ~ Berge

# Integrität und Vertikale Genauigkeit

- o GPS, Galileo und GLONASS werden zwei oder gar drei Frequenzen für zivile Nutzer anbieten

- → verringert deutlich den Ionosphärenfehler und führt zu besserer Genauigkeit

- o Galileo bietet Integritätsinformation integriert in die Navigationsnachricht

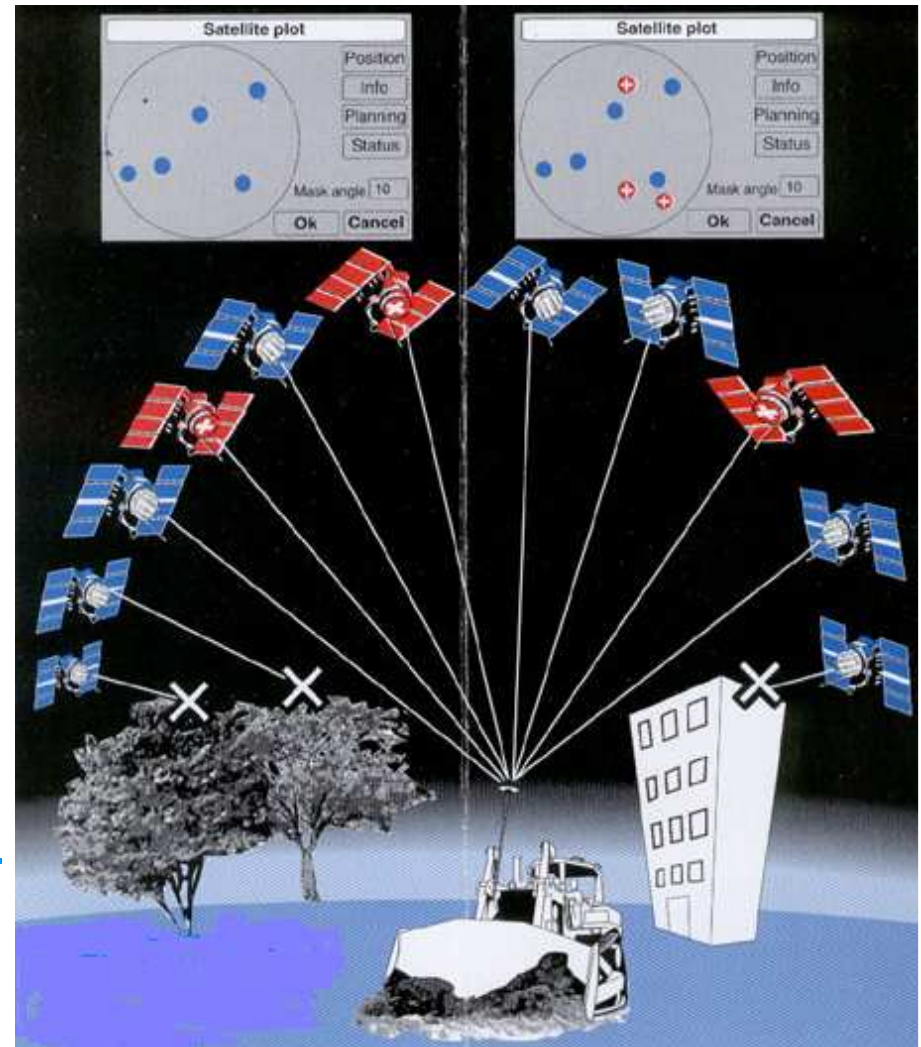
- --- garantierte 6 sec bis zum Alarm





# Mögliche Probleme bei Multi - GNSS

- o Zeitliche Überstimmung
  - verschiedene Genauigkeiten und Offsets
- o Atmosphäre
  - Verschiedene Modelle/Daten
- o Interoperabilität
  - dicht besetztes Frequenz-Spektrum: Interferenz?
  - Einander widersprechende Daten
  - Koordinatenreferenzsysteme - WGS84/PZ90
- o und viele andere mehr



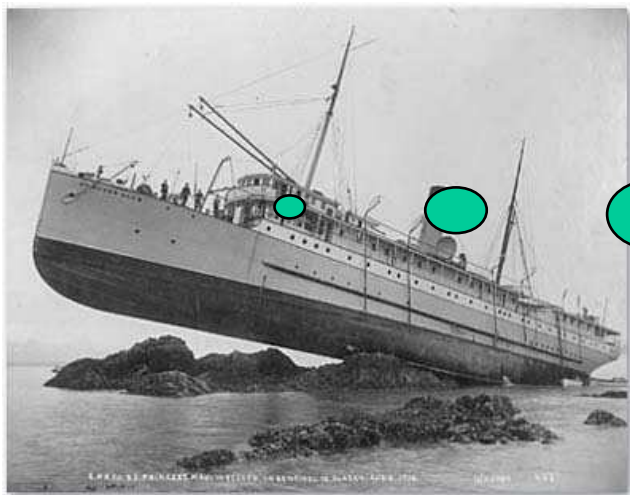
# Empfänger - Prüftests

- o Finden der Probleme, bevor sie im Flug auftreten

- o Testen der Empfänger mit 2-3 GNSS

- o Testen ermöglicht das

- - schnelle Verständnis der Stärken und Schwächen der Empfängerarchitektur
  - Lösen von Problemen mithilfe von kontrollierten Verfahren



Ich wünschte  
sie hätten  
meinen GNSS  
Empfänger  
getestet?!?



PRECISION - OUR BUSINESS.

# Satelliten-Signal Simulation

■ Satelliten Signalsimulatoren geben echte RF Signale aus, u.a.

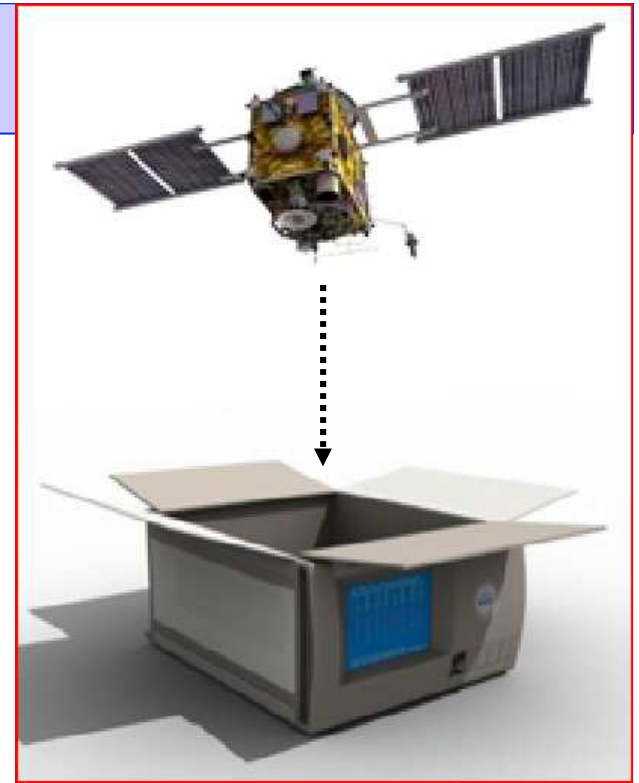
■  
○ Die Originaldaten der Original Satelliten

■  
○ Doppler Frequenzen passen zur Satellitenbahn und - geschwindigkeit

■  
○ WAAS und EGNOS Satelliten

■  
○ GPS, Galileo, GLONASS und QZSS Satelliten

■  
○ GBAS Test Option



PRECISION - OUR BUSINESS.

# Vorteile für Flugzeug GNSS Empfänger

Feldtests sind **teuer** **zeitaufwändig** **nicht immer möglich**

## Mit Simulation kann man

- o GNSS Empfänger am Boden testen
  - *deutlich billiger*
- o so viele verschiedene Situationen und Fehlerquellen wie nötig testen
- o bis zu den Grenzen und darüber hinaus testen
  - z.B. schwierige / gefährliche Manöver:  
naher Vorbeiflug an steiler Felswand mit sehr wenigen Satelliten in Sicht*
- o besondere Bedingungen/Situationen testen
  - z.B. Überqueren der Datumslinie ohne dort hinfliegen zu müssen*
- o Testen von Signalen, die noch gar nicht gesendet werden (Galileo)



# Zusammenfassung



- o Für Flugzeugnavigation braucht man mehr Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität als GPS sie derzeit und in den nächsten Jahren bietet
- o Systemerweiterungen wie **GBAS** & **SBAS** verbessern Genauigkeit im **Nahbereich** & in einem Teil der Welt – z.B. Europa und Integrität
- o gemeinsam werden **GPS, GLONASS und Galileo** eine **wesentlich bessere** Genauigkeit, Verfügbarkeit, DOP und Integrität weltweit zur Verfügung stellen

*wie von nationalen Flugsicherungen gefordert*



# Zusammenfassung 2



- o Bei 2 oder 3 GNSS in einem System, sind Probleme mit Kompatibilität und verschiedenen Standards zu erwarten
- o Daher ist es nützlich Situationen und Probleme im Labortest zu erkennen, bevor sie im Flug auftreten
- o Prüftests mit einem Simulator erlauben
  - das Verhalten von Systemen vorherzusagen,
  - Zeit beim Entwurf und der Integration zu sparen
  - schnellere und bessere Ergebnisse zu erzielen



# Danksagung



GPS World, 2010:

IGS International GNSS Service

Frank van Diggelen, Broadcom



CBI Ltd



PRECISION - OUR BUSINESS.