

# PPP — das Einfache, das so schwer zu machen ist

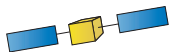
Rolf Dach

*Astronomisches Institut, Universität Bern*

*PPP – eine kleine Revolution im GPS-Bereich!*  
Informationsnachmittag, 13. September 2012  
HSR Hochschule für Technik Rapperswil (FHO)

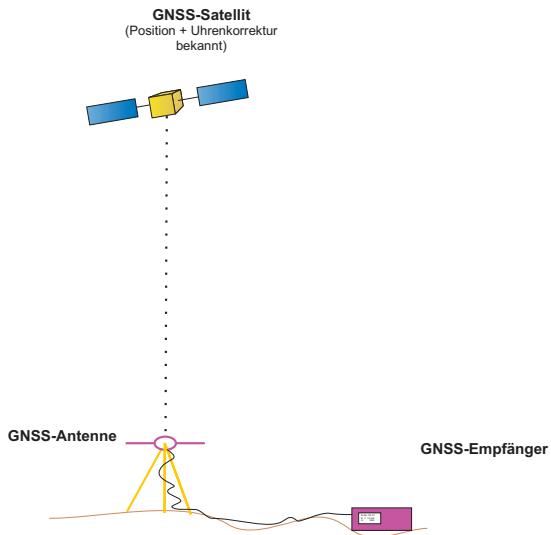
# Wie funktionieren GNSS?

---

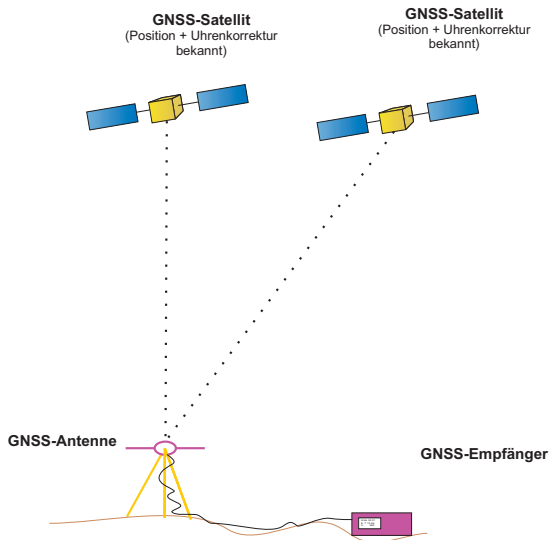


# Wie funktionieren GNSS?

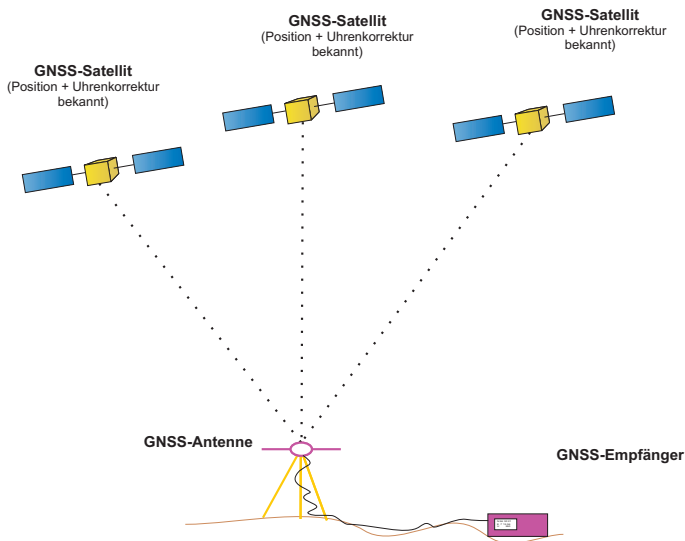
---



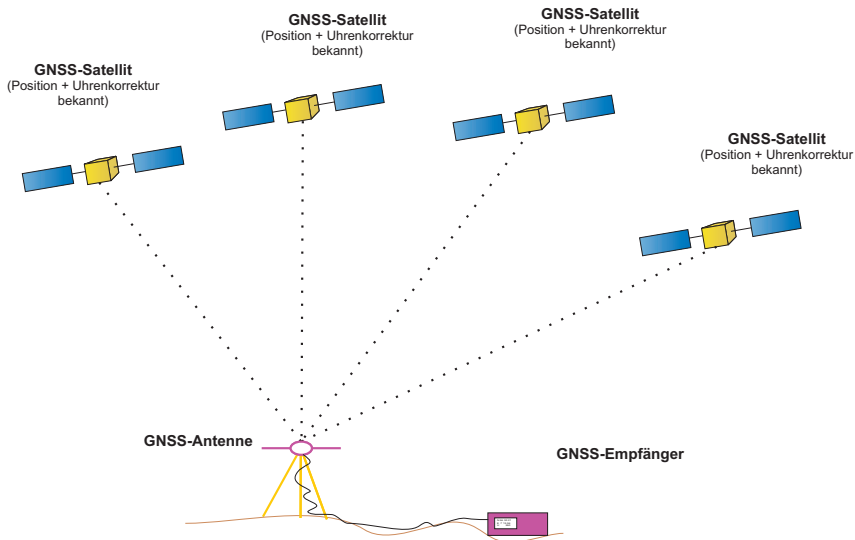
# Wie funktionieren GNSS?



# Wie funktionieren GNSS?

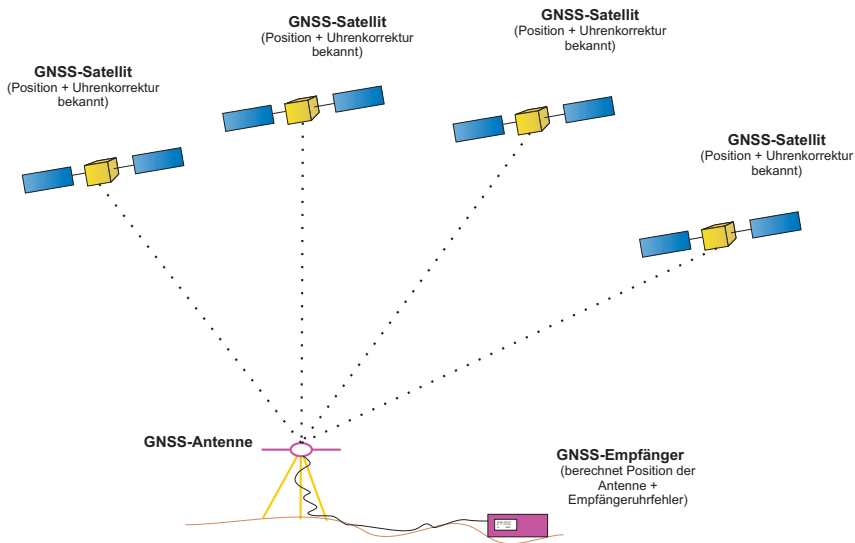


# Wie funktionieren GNSS?



R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

# Wie funktionieren GNSS?



# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt
  
- **Signale:**
  
- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil



# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt  
*Broadcastephemeriden*
- **Signale:**
- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt

*Broadcastephemeriden*

- **Signale:**

*Code auf einer Frequenz (C/A-Code)*

- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt

*Broadcastephemeriden*

- **Signale:**

*Code auf einer Frequenz (C/A-Code)*

- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

⇒ **Navigationslösung**

# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt  
*Präzise Bahn- und Uhrinformation (z.B. vom IGS)*
  
- **Signale:**  
*Code auf einer Frequenz (C/A-Code)*
  
- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt  
*Präzise Bahn- und Uhrinformation (z.B. vom IGS)*
  
- **Signale:**  
*Phase auf zwei Frequenzen  
(ionosphären-freie Linearkombination)*
  
- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

# Von der Navigations- zur PPP-Lösung

---

- **GNSS-Satellit:** Position & Uhrkorrektur bekannt  
*Präzise Bahn- und Uhrinformation (z.B. vom IGS)*

- **Signale:**

*Phase auf zwei Frequenzen  
(ionosphären-freie Linearkombination)*

- **GNSS-Empfänger:** Position & Uhrkorrektur berechnet

⇒ **Precise Point Positioning**

# GNSS Beobachtungsgleichung

---

$$L_i^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_i \right| + \Delta_{trop_i}^k - \Delta_{ion_i}^k + c\delta_i - c\delta^k + \lambda N_i^k$$

$L_i^k$	Phasenmessung der Station $i$ zum Satellit $k$
$\vec{x}_i, \vec{x}^k$	Ortsvektoren der Station $i$ bzw. des Satellit $k$
$\Delta_{trop_i}^k$	Signalverzögerung in der Troposphäre
$\Delta_{ion_i}^k$	Signalverzögerung in der Ionosphäre
$\delta_i, \delta^k$	Uhrkorrekturen des Empfängers auf Station $i$ und des Senders im Satellit $k$ bezüglich GPS Systemzeit
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$N_i^k$	Phasenmehrdeutigkeit (eine pro Satellitenüberflug)
$\lambda$	Wellenlänge der Phase

# GNSS Beobachtungsgleichung

---

$$L_i^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_i \right| + \Delta_{trop_i}^k - \Delta_{ion_i}^k + c\delta_i - c\delta^k + \lambda N_i^k$$

$L_i^k$	Phasenmessung der Station $i$ zum Satellit $k$
$\vec{x}_i, \vec{x}^k$	Ortsvektoren der Station $i$ bzw. des Satellit $k$
$\Delta_{trop_i}^k$	Signalverzögerung in der Troposphäre
$\Delta_{ion_i}^k$	Signalverzögerung in der Ionosphäre
$\delta_i, \delta^k$	Uhrkorrekturen des Empfängers auf Station $i$ und des Senders im Satellit $k$ bezüglich GPS Systemzeit
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$N_i^k$	Phasenmehrdeutigkeit (eine pro Satellitenüberflug)
$\lambda$	Wellenlänge der Phase



# GNSS Beobachtungsgleichung

---

$$L_i^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_i \right| + \Delta_{trop_i}^k - \Delta_{ion_i}^k + c\delta_i - c\delta^k + \lambda N_i^k$$

$L_i^k$	Phasenmessung der Station $i$ zum Satellit $k$
$\vec{x}_i, \vec{x}^k$	Ortsvektoren der Station $i$ bzw. des Satellit $k$
$\Delta_{trop_i}^k$	Signalverzögerung in der Troposphäre
$\Delta_{ion_i}^k$	Signalverzögerung in der Ionosphäre
$\delta_i, \delta^k$	Uhrkorrekturen des Empfängers auf Station $i$ und des Senders im Satellit $k$ bezüglich GPS Systemzeit
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$N_i^k$	Phasenmehrdeutigkeit (eine pro Satellitenüberflug)
$\lambda$	Wellenlänge der Phase

# GNSS Beobachtungsgleichung

---

$$L_i^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_i \right| + \Delta_{trop_i}^k - \Delta_{ion_i}^k + c\delta_i - c\delta^k + \lambda N_i^k$$

$L_i^k$	Phasenmessung der Station $i$ zum Satellit $k$
$\vec{x}_i, \vec{x}^k$	Ortsvektoren der Station $i$ bzw. des Satellit $k$
$\Delta_{trop_i}^k$	Signalverzögerung in der Troposphäre
$\Delta_{ion_i}^k$	Signalverzögerung in der Ionosphäre
$\delta_i, \delta^k$	Uhrkorrekturen des Empfängers auf Station $i$ und des Senders im Satellit $k$ bezüglich GPS Systemzeit
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$N_i^k$	Phasenmehrdeutigkeit (eine pro Satellitenüberflug)
$\lambda$	Wellenlänge der Phase

# GNSS Beobachtungsgleichung

---

$$L_i^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_i \right| + \Delta_{trop_i}^k - \Delta_{ion_i}^k + c\delta_i - c\delta^k + \lambda N_i^k$$

$L_i^k$	Phasenmessung der Station $i$ zum Satellit $k$
$\vec{x}_i, \vec{x}^k$	Ortsvektoren der Station $i$ bzw. des Satellit $k$
$\Delta_{trop_i}^k$	Signalverzögerung in der Troposphäre
$\Delta_{ion_i}^k$	Signalverzögerung in der Ionosphäre
$\delta_i, \delta^k$	Uhrkorrekturen des Empfängers auf Station $i$ und des Senders im Satellit $k$ bezüglich GPS Systemzeit
$c$	Lichtgeschwindigkeit
$N_i^k$	Phasenmehrdeutigkeit (eine pro Satellitenüberflug)
$\lambda$	Wellenlänge der Phase

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k - \Delta_{ion_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l - \Delta_{ion_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k - \Delta_{ion_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l - \Delta_{ion_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k - \Delta_{ion_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l - \Delta_{ion_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop A}^k - \cancel{\Delta_{ion A}^k} + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop A}^l - \cancel{\Delta_{ion A}^l} + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop B}^k - \cancel{\Delta_{ion B}^k} + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop B}^l - \cancel{\Delta_{ion B}^l} + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop P}^k - \cancel{\Delta_{ion P}^k} + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop P}^l - \cancel{\Delta_{ion P}^l} + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$



# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

$$L_A^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^k + c\delta_A - c\delta^k + \lambda N_A^k$$

$$L_A^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_A \right| + \Delta_{trop_A}^l + c\delta_A - c\delta^l + \lambda N_A^l$$

$$L_B^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^k + c\delta_B - c\delta^k + \lambda N_B^k$$

$$L_B^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_B \right| + \Delta_{trop_B}^l + c\delta_B - c\delta^l + \lambda N_B^l$$

⋮

$$L_P^k = \left| \vec{x}^k - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^k + c\delta_P - c\delta^k + \lambda N_P^k$$

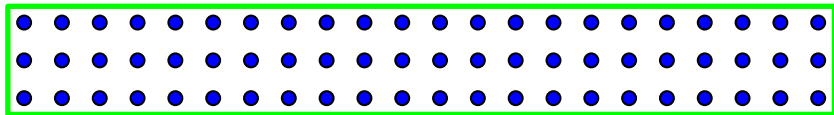
$$L_P^l = \left| \vec{x}^l - \vec{x}_P \right| + \Delta_{trop_P}^l + c\delta_P - c\delta^l + \lambda N_P^l$$

# Prinzip einer PPP Lösung

---

- Uhrenlösung:

Satellitenpositionen und -uhrkorrekturen werden aus einer (globalen) Lösung übernommen.

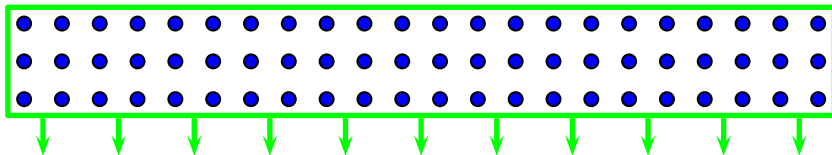


# Prinzip einer PPP Lösung

---

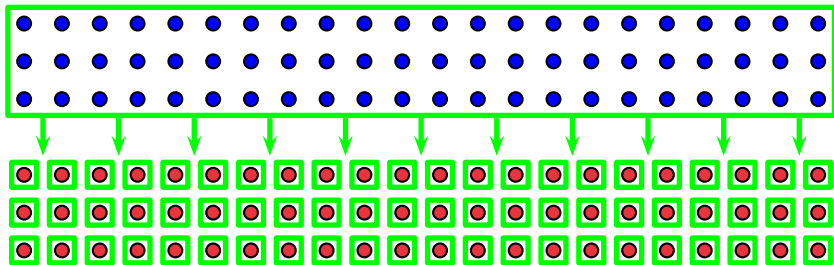
- Uhrenlösung:

Satellitenpositionen und -uhrkorrekturen werden aus einer (globalen) Lösung übernommen.



# Prinzip einer PPP Lösung

- **Uhrenlösung:**  
Satellitenpositionen und -uhrkorrekturen werden aus einer (globalen) Lösung übernommen.
- **PPP-Lösung:**  
Aus den Daten einer Station werden ausschliesslich stationsbezogene Parameter bestimmt.



R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.

# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.
- Die PPP-Lösung für jede einzelne Station ist mathematisch **Bestandteil der Uhrenlösung**.

# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.
- Die PPP-Lösung für jede einzelne Station ist mathematisch **Bestandteil der Uhrenlösung**.  
Das heisst insbesondere:
  - **keine Vereinfachungen** in einer PPP Lösung bei geringem Punktabstand



# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.
- Die PPP-Lösung für jede einzelne Station ist mathematisch **Bestandteil der Uhrenlösung**.  
Das heisst insbesondere:
  - **keine Vereinfachungen** in einer PPP Lösung bei geringem Punktabstand
  - PPP Lösung hat **keine eigene Datumsdefinition** (wird von der Uhrenlösung übernommen)

# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.
- Die PPP-Lösung für jede einzelne Station ist mathematisch **Bestandteil der Uhrenlösung**.  
Das heisst insbesondere:
  - **keine Vereinfachungen** in einer PPP Lösung bei geringem Punktabstand
  - PPP Lösung hat **keine eigene Datumsdefinition** (wird von der Uhrenlösung übernommen)
  - **völlige Konsistenz** der PPP-Auswertung mit der Uhrenlösung

# Eigenschaften einer PPP Lösung

---

- Damit können die Messungen jeder Station **unabhängig** von allen anderen Stationen ausgewertet werden.
- Die PPP-Lösung für jede einzelne Station ist mathematisch **Bestandteil der Uhrenlösung**.

Das heisst insbesondere:

- **keine Vereinfachungen** in einer PPP Lösung bei geringem Punktabstand
- PPP Lösung hat **keine eigene Datumsdefinition** (wird von der Uhrenlösung übernommen)

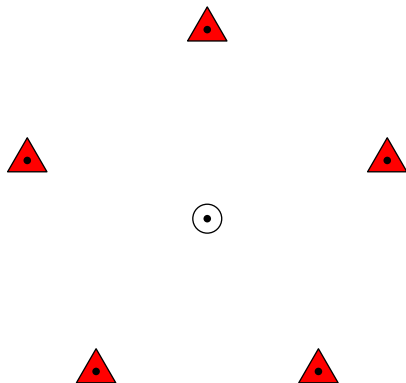
- **völlige Konsistenz** der PPP-Auswertung mit der Uhrenlösung

**PPP ist das Einfache, das so schwer zu machen ist.**

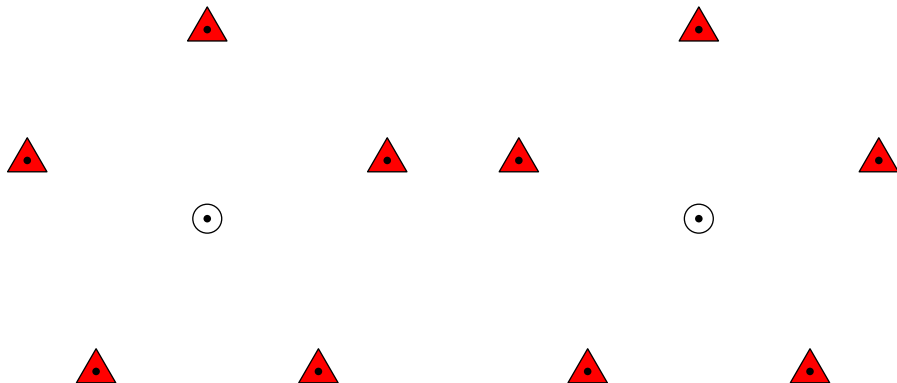
# Datumsdefinition einer Netzwerklösung

---

Lösung A

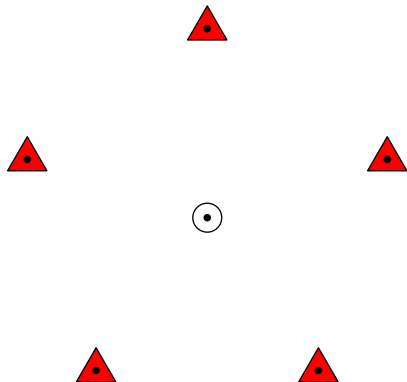


Lösung B



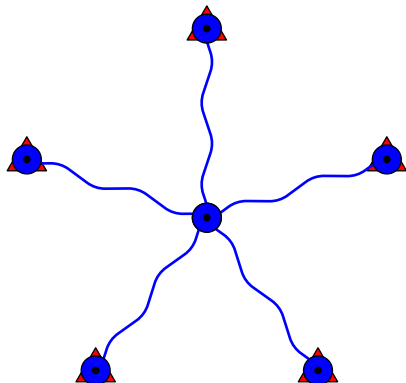
# Datumsdefinition einer Netzwerklösung

## Lösung A



## Lösung B

Referenzkoordinaten fixiert

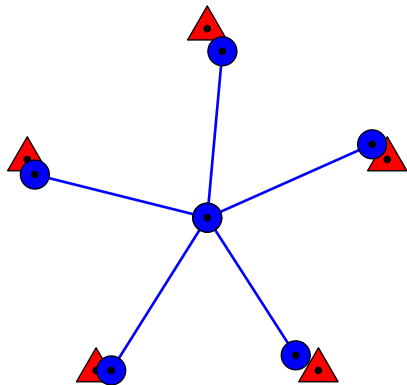


R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

# Datumsdefinition einer Netzwerklösung

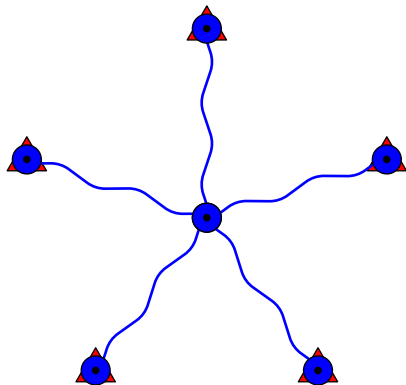
## Lösung A

Minimum constraint Lösung



## Lösung B

Referenzkoordinaten fixiert

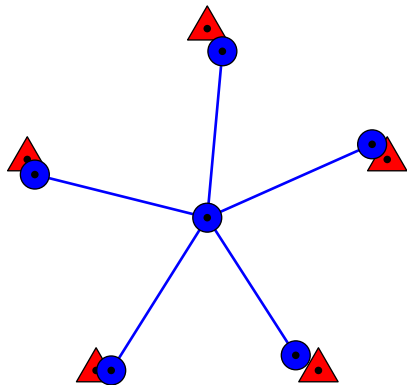


# Konsistenz der PPP- und Uhrenlösung

---

## Netzwerklösung

Minimum constraint Lösung

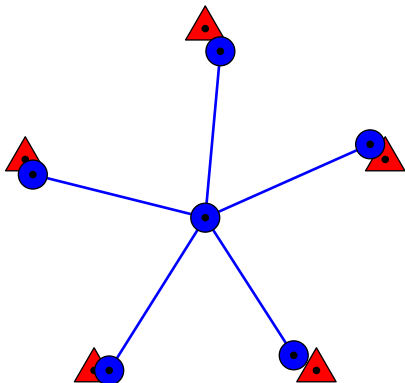


R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

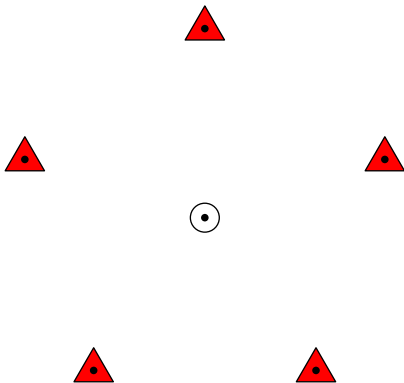
# Konsistenz der PPP- und Uhrenlösung

## Netzwerklösung

Minimum constraint Lösung



## PPP Lösung



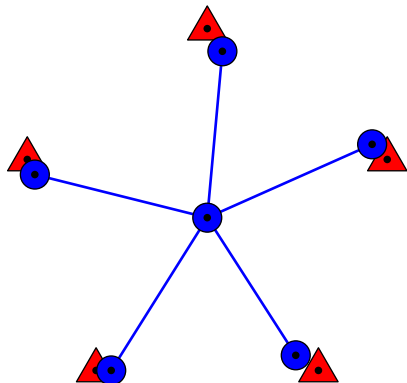
R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil



# Konsistenz der PPP- und Uhrenlösung

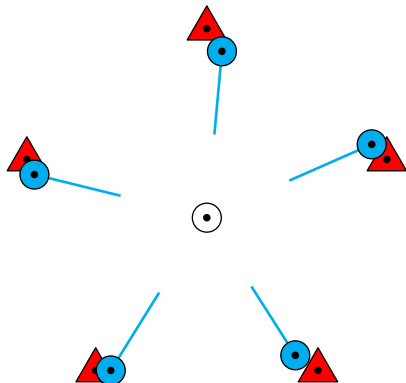
## Netzwerklösung

Minimum constraint Lösung



## PPP Lösung

ORB, ERP, CLK eingeführt

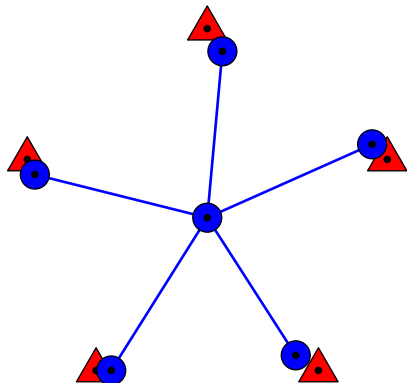


R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

# Konsistenz der PPP- und Uhrenlösung

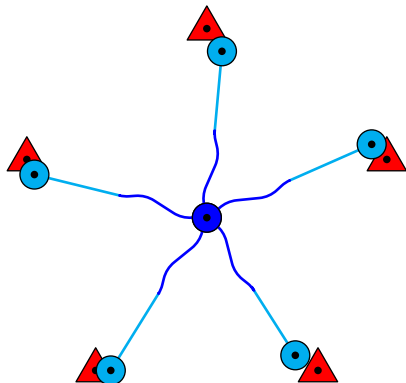
## Netzwerklösung

Minimum constraint Lösung



## PPP Lösung

ORB, ERP, CLK eingeführt

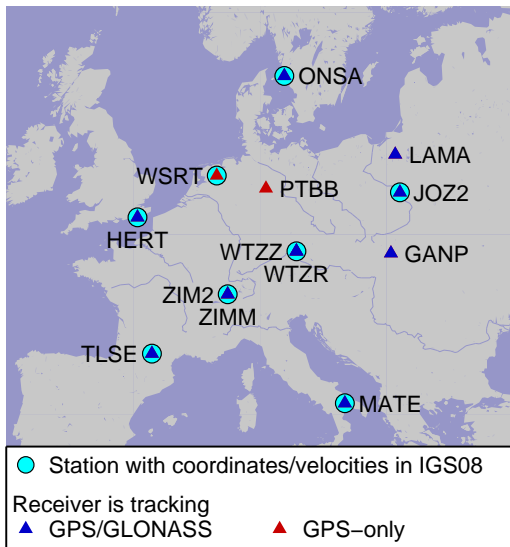


R. Dach: PPP – das Einfache, das so schwer zu machen ist  
Informationsnachmittag, 13. September 2012, Rapperswil

# Beispieldatensatz

Stationsnetz aus dem Standardbeispiel für die *Bernese GNSS Software*, Version 5.2:

- 13 Stationen  
zwei Paare von Empfängern:  
ZIMM/ZIM2 &  
WTZR/WTZZ
- Insgesamt vier Tage:  
2010: Tage 207 & 208  
2011: Tage 205 & 206



# Beispieldatensatz

---

- Die folgenden Beispiele sind mit den Daten des **Tages 205 des Jahres 2011** berechnet.

# Beispieldatensatz

---

- Die folgenden Beispiele sind mit den Daten des **Tages 205 des Jahres 2011** berechnet.
- Die Netzwerklösungen stammen aus den **Beispielprozeduren**, die zusammen mit der *Bernese GNSS Software*, Version 5.2 ausgeliefert werden.

# Beispieldatensatz

---

- Die folgenden Beispiele sind mit den Daten des **Tages 205 des Jahres 2011** berechnet.
- Die Netzwerklösungen stammen aus den **Beispielprozeduren**, die zusammen mit der *Bernese GNSS Software*, Version 5.2 ausgeliefert werden.
- Für die PPP-Lösung werden die Daten der beiden Station in Bad Kötzing (Deutschland) verwendet:

WTZR	LEICA	GRX1200+GNSS	LEIAR25.R3	LEIT
WTZZ	JAVAD	TRE_G3TH DELTA	LEIAR25.R3	LEIT

# Beispieldatensatz

---

- Die folgenden Beispiele sind mit den Daten des **Tages 205 des Jahres 2011** berechnet.
- Die Netzwerklösungen stammen aus den **Beispielprozeduren**, die zusammen mit der *Bernese GNSS Software*, Version 5.2 ausgeliefert werden.
- Für die PPP-Lösung werden die Daten der beiden Station in Bad Kötzing (Deutschland) verwendet:  
**WTZR LEICA GRX1200+GNSS LEIAR25.R3 LEIT**  
**WTZZ JAVAD TRE\_G3TH DELTA LEIAR25.R3 LEIT**
- Beide Empfänger WTZR und WTZZ
  - befinden sich in einem Abstand von 1.6 m bei einem Höhenunterschied von weniger als 20 cm — es dürfen also **identische** Verhältnisse für die **Troposphäre** angenommen werden.
  - sind mit der **gleichen Uhr** (H-Maser, EFOS 18) verbunden.

# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

---

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.



# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 2. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

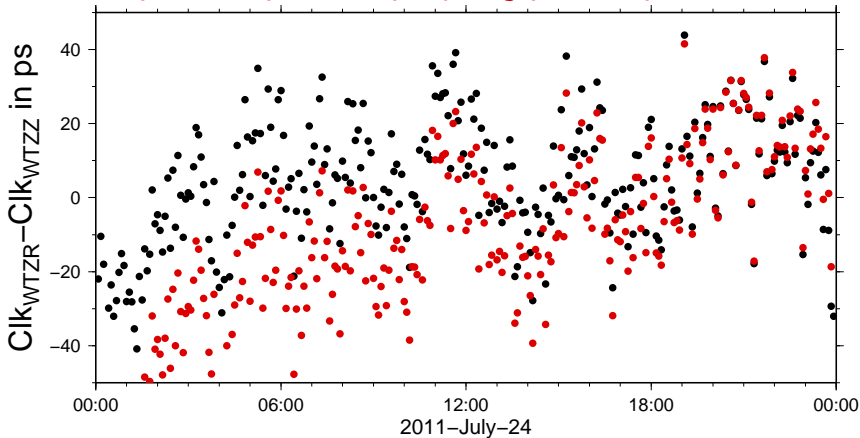
$$RMS = 1.4 \text{ mm}$$

$$\chi^2 = 1.95$$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	1.1 mm	0.7 mm	2.0 mm
WTZZ	2.0 mm	0.2 mm	-0.3 mm

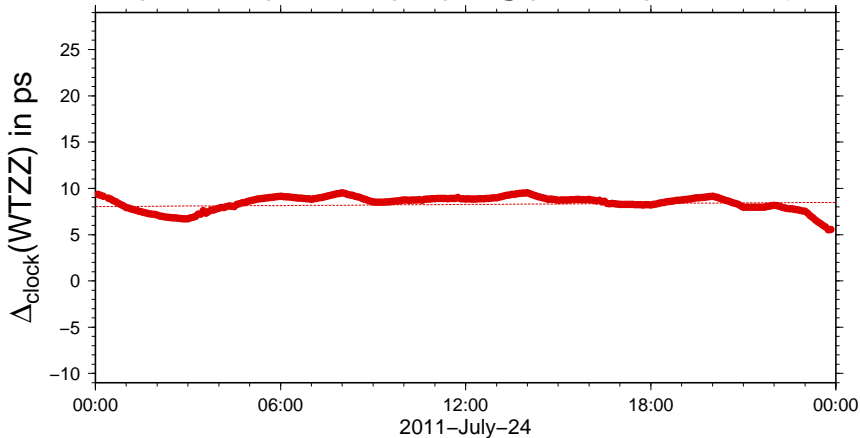
# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

Net; ORB: IGS; CLK: est; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF



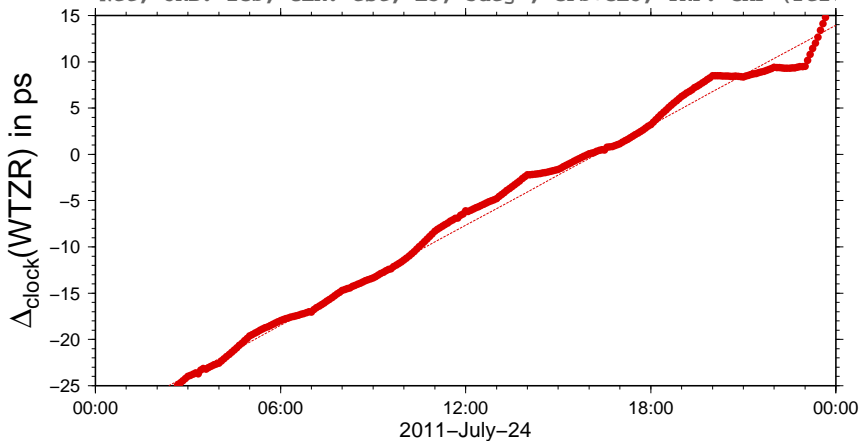
# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
Net; ORB: IGS; CLK: est; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (ref.)



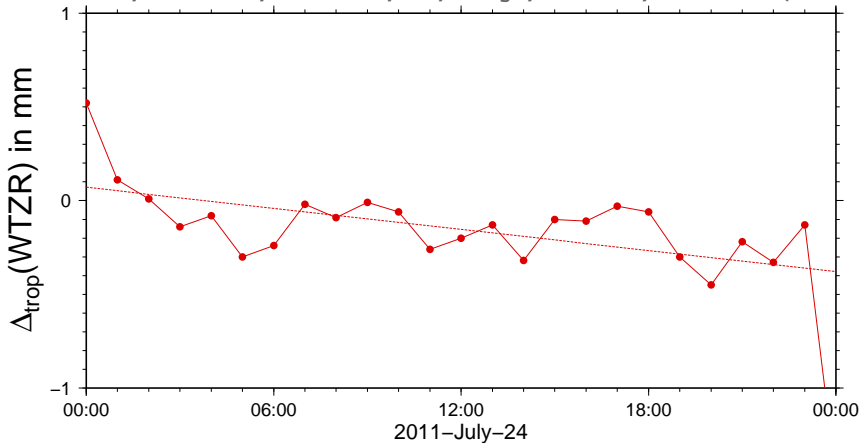
# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
Net; ORB: IGS; CLK: est; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (ref.)



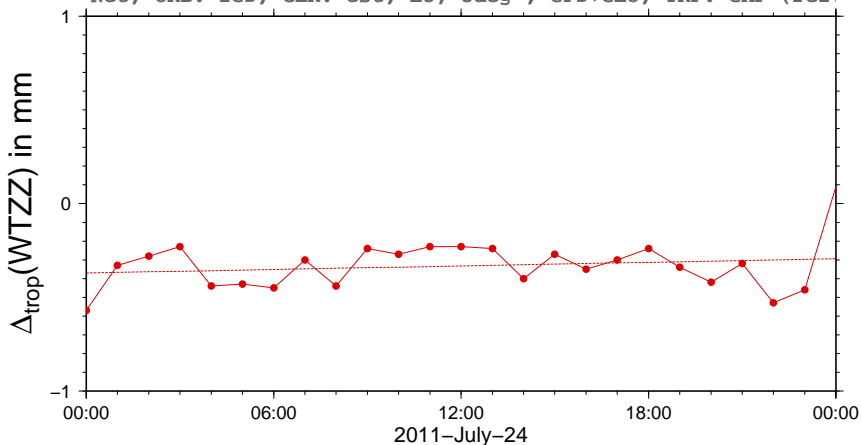
# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
Net; ORB: IGS; CLK: est; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (ref.)



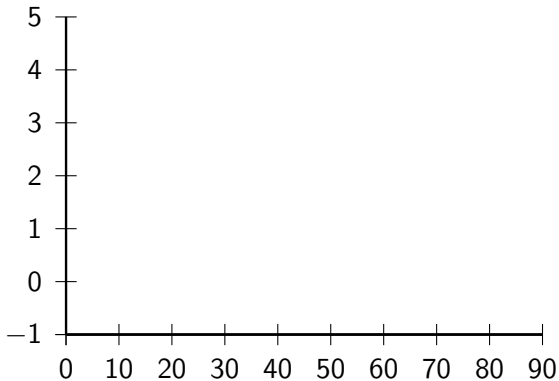
# Beispiel: PPP versus Netzwerklösung

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
Net; ORB: IGS; CLK: est; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (ref.)

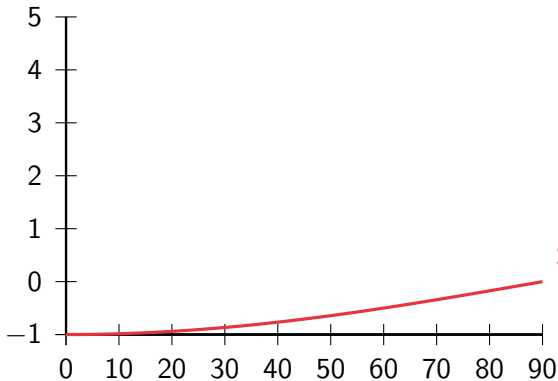


---

## Partielle Ableitungen als Funktionen des Zenitwinkels



## Partielle Ableitungen als Funktionen des Zenitwinkels



Stationshöhe:

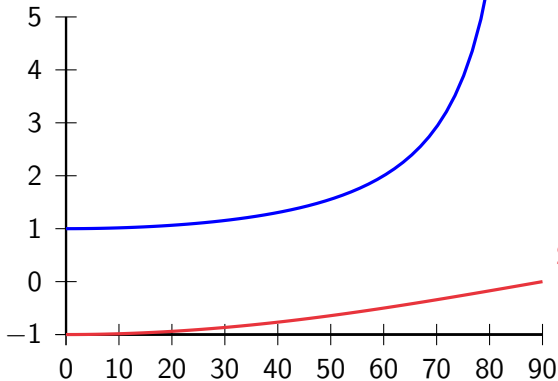
$$\frac{\partial L_i^k}{\partial H_i} = -\cos z_i^k$$



Partielle Ableitungen als  
Funktionen des Zenitwinkels

Troposphäre:

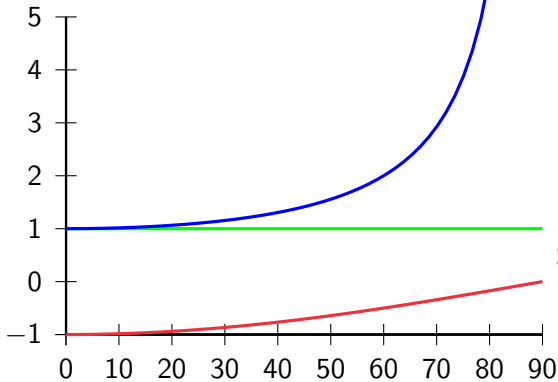
$$\frac{\partial L_i^k}{\partial \Delta_{trop_i}^k} = \frac{1}{\cos z_i^k}$$



Stationshöhe:

$$\frac{\partial L_i^k}{\partial H_i} = -\cos z_i^k$$

Partielle Ableitungen als  
Funktionen des Zenitwinkels



Troposphäre:

$$\frac{\partial L_i^k}{\partial \Delta_{trop_i}^k} = \frac{1}{\cos z_i^k}$$

Empfängeruhr:

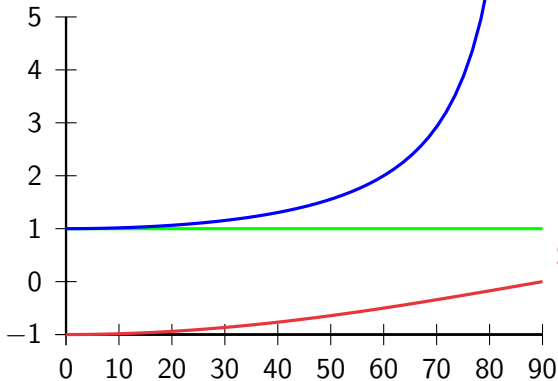
$$\frac{\partial L_i^k}{\partial c\delta_i} = 1$$

Stationshöhe:

$$\frac{\partial L_i^k}{\partial H_i} = -\cos z_i^k$$

# Das Bermudadreieck

Partielle Ableitungen als  
Funktionen des Zenitwinkels



Troposphäre:

$$\frac{\partial L_i^k}{\partial \Delta_{trop_i}^k} = \frac{1}{\cos z_i^k}$$

Empfängeruhr:

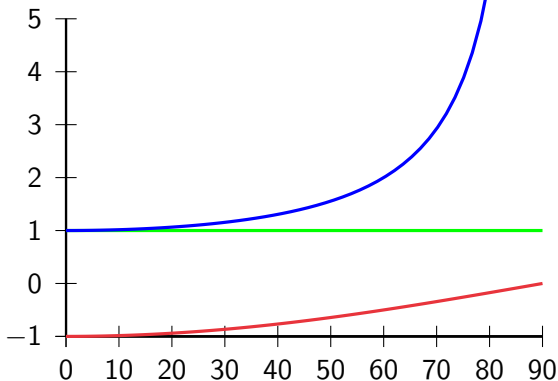
$$\frac{\partial L_i^k}{\partial c\delta_i} = 1$$

Stationshöhe:

$$\frac{\partial L_i^k}{\partial H_i} = -\cos z_i^k$$

# Das Bermudadreieck

Partielle Ableitungen als  
Funktionen des Zenitwinkels



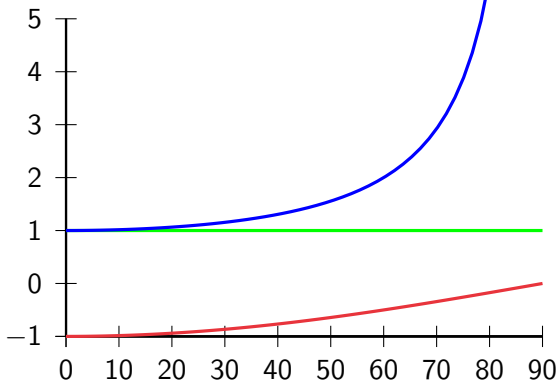
$$Z_{max} = 85^\circ$$

$\rho(\Delta_{trop_j^k}, H_i)$	-0.856
$\rho(\Delta_{trop_j^k}, c\delta_i)$	-0.937
$\rho(H_i, c\delta_i)$	0.963

Tatsächliche Verteilung der Beobachtungen von Bad Kötzing wurde zur Berechnung der Korrelationskoeffizienten verwendet.

# Das Bermudadreieck

Partielle Ableitungen als  
Funktionen des Zenitwinkels



$$z_{max} = 85^\circ$$

---

$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, H_i) = -0.856$$
$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, c\delta_i) = -0.937$$
$$\rho(H_i, c\delta_i) = 0.963$$

$$z_{max} = 80^\circ$$

---

$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, H_i) = -0.916$$
$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, c\delta_i) = -0.969$$
$$\rho(H_i, c\delta_i) = 0.964$$

$$z_{max} = 75^\circ$$

---

$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, H_i) = -0.947$$
$$\rho(\Delta_{trop_j^k}, c\delta_i) = -0.983$$
$$\rho(H_i, c\delta_i) = 0.987$$

Tatsächliche Verteilung der Beobachtungen von Bad Kötzing wurde zur Berechnung der Korrelationskoeffizienten verwendet.

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

---

## 1. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

## 1. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

## 2. Basislinien-Lösung für WTZR→WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: —
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 1.4 \text{ mm}$

$\chi^2 = 1.95$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
WTZZ	4.7 mm	-0.6 mm	-2.5 mm

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

## 1. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

## 3. Basislinien-Lösung für WTZR→WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: —
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF (keine Parameter)
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 1.4 \text{ mm}$

$\chi^2 = 1.95$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
WTZZ	-4.2 mm	-0.1 mm	-2.6 mm



# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

## 1. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

## 4. Basislinien-Lösung für WTZR→WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: —
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF (keine Parameter)
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- L1, ohne Ionosphärenkorrektur
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 1.5 \text{ mm}$

$\chi^2 = 2.24$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
WTZZ	-6.4 mm	-0.3 mm	-1.2 mm

# Beispiel: PPP versus Basislinien–Lösung

## 1. PPP–Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre–freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

## 5. Basislinien–Lösung für WTZR→WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: —
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF (keine Parameter)
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- L2, ohne Ionosphärenkorrektur
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 1.3\text{ mm}$

$\chi^2 = 1.74$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
WTZZ	-7.8 mm	-0.5 mm	-0.3 mm

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

## Koordinatendifferenz: WTZZ–WTZR

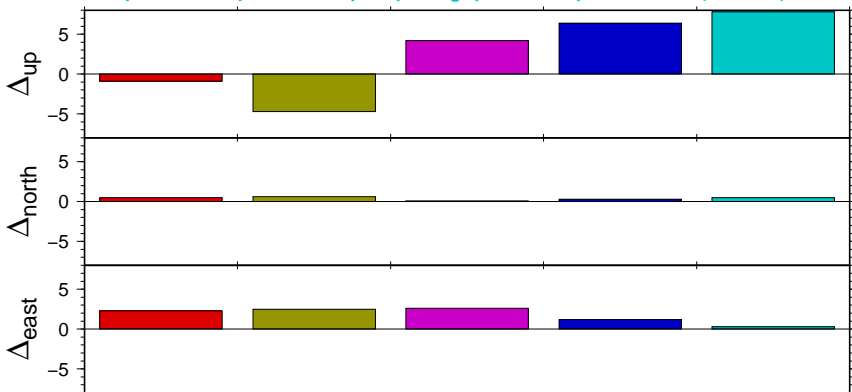
### GPS/GLONASS-Lösung

Lösungs- typ	LC	Tropos. param.	RMS	Koordinatendifferenz:		
				$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
PPP	L3	ja	1.4 mm	0.9 mm	-0.5 mm	-2.3 mm
BSL	L3	ja	1.4 mm	4.7 mm	-0.6 mm	-2.5 mm
BSL	L3	nein	1.4 mm	-4.2 mm	-0.1 mm	-2.6 mm
BSL	L1	nein	1.5 mm	-6.4 mm	-0.3 mm	-1.2 mm
BSL	L2	nein	1.3 mm	-7.8 mm	-0.5 mm	-0.3 mm

Referenz für die Koordinatendifferenz ist die Doppeldifferenz-Netzwerklösung mit gelösten Mehrdeutigkeiten.

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

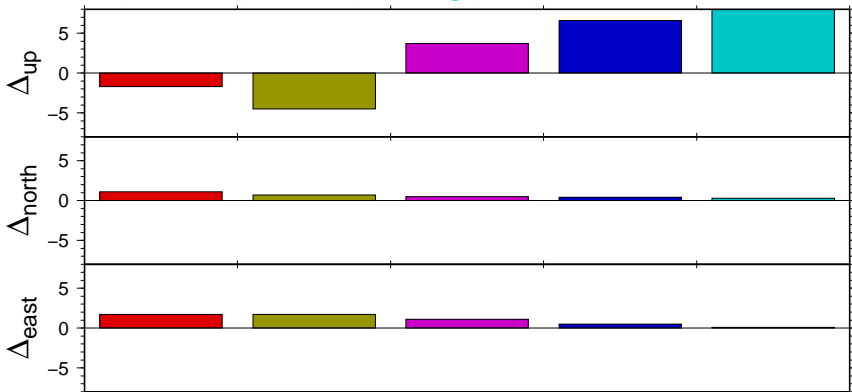
PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L1, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L2, 5deg ; GPS+GLO; TRP: GMF (no est)



Coordinate difference WTZR–WTZZ

# Beispiel: PPP versus Basislinien-Lösung

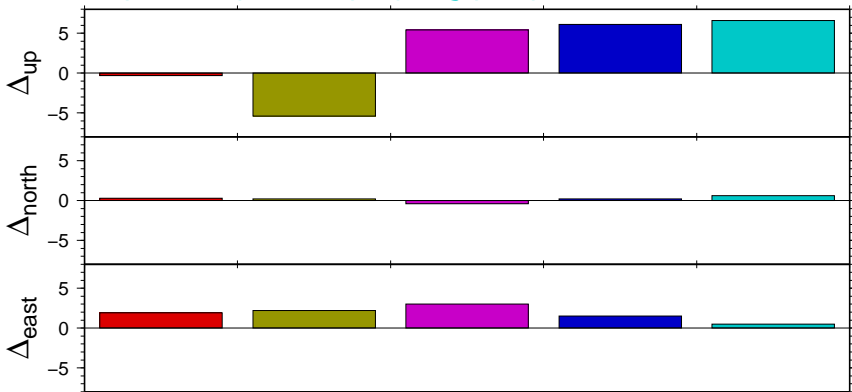
PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L1, 5deg ; GPS; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L2, 5deg ; GPS; TRP: GMF (no est)



Coordinate difference WTZR–WTZZ

# Beispiel: PPP versus Basislinien–Lösung

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GLO; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GLO; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GLO; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L1, 5deg ; GLO; TRP: GMF (no est)  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L2, 5deg ; GLO; TRP: GMF (no est)



Coordinate difference WTZR–WTZZ

# Beispiel: PPP als lokale Lösung

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 2. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$$RMS = 1.4 \text{ mm}$$

$$\chi^2 = 1.95$$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	1.1 mm	0.7 mm	2.0 mm
WTZZ	2.0 mm	0.2 mm	-0.3 mm

# Beispiel: PPP als lokale Lösung

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 3. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF (keine Parameter)
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$$RMS = 3.5 \text{ mm}$$

$$\chi^2 = 12.45$$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	136.5 mm	4.0 mm	0.5 mm
WTZZ	133.0 mm	3.6 mm	-1.8 mm



# Beispiel: PPP als lokale Lösung

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 4. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- L1, keine Ionosphärenkorrektur
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 85.5 \text{ mm}$

$\chi^2 = 7315.93$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	-2.4382 m	-0.5712 m	0.0814 m
WTZZ	-2.4806 m	-0.5736 m	0.0723 m

# Beispiel: PPP als lokale Lösung

## Koordinatendifferenz: WTZZ–WTZR

GPS/GLONASS–Lösung

Lösungs- typ	LC	Tropos. param.	RMS	Koordinatendifferenz:		
				$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
PPP	L3	ja	1.4 mm	0.9 mm	-0.5 mm	-2.3 mm
PPP	L3	nein	3.5 mm	-3.5 mm	-0.4 mm	-2.3 mm
PPP	L1	ja	85.5 mm	-42.4 mm	-2.4 mm	-9.1 mm
BSL	L3	nein	1.4 mm	-4.2 mm	-0.1 mm	-2.6 mm

Referenz für die Koordinatendifferenz ist die Doppeldifferenz–Netzwerklösung mit gelösten Mehrdeutigkeiten.

# Beispiel: PPP als lokale Lösung

## Koordinatendifferenz: WTZZ–WTZR

GPS/GLONASS–Lösung

Lösungs- typ	LC	Tropos. param.	RMS	Koordinatendifferenz:		
				$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
PPP	L3	ja	1.4 mm	0.9 mm	-0.5 mm	-2.3 mm
PPP	L3	nein	3.5 mm	-3.5 mm	-0.4 mm	-2.3 mm
PPP	L1	ja	85.5 mm	-42.4 mm	-2.4 mm	-9.1 mm
BSL	L3	nein	1.4 mm	-4.2 mm	-0.1 mm	-2.6 mm

Referenz für die Koordinatendifferenz ist die Doppeldifferenz–Netzwerklösung mit gelösten Mehrdeutigkeiten.

Beim PPP sind also keine Vereinfachungen für Gruppen von dicht beieinander liegenden Stationen erlaubt.

# Beispiel: Konsistenz

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 2. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$$RMS = 1.4 \text{ mm}$$

$$\chi^2 = 2.03$$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	0.4 mm	0.6 mm	0.6 mm
WTZZ	2.1 mm	-0.5 mm	-1.1 mm

# Beispiel: Konsistenz

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 3. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen vom IGS
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 2.5 \text{ mm}$

$\chi^2 = 6.49$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	1.3 mm	-2.8 mm	0.2 mm
WTZZ	3.3 mm	-3.5 mm	-1.6 mm

# Beispiel: Konsistenz

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 4. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS)

- ORB und ERP: übernommen von CODE
- Satellitenuhren: übernommen von CODE
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$$RMS = 1.6 \text{ mm}$$

$$\chi^2 = 2.46$$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	-4.8 mm	-0.9 mm	-0.8 mm
WTZZ	-3.1 mm	-1.9 mm	-2.2 mm

# Beispiel: Konsistenz

## 1. Uhrenlösung:

Netzwerklösung der 13 Stationen (GPS+GLONASS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- CRD: übernommen aus Doppeldifferenzlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $5^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Es werden Satelliten- und Empfängeruhrkorrekturen bestimmt.

## 5. PPP-Lösung für Station WTZR&WTZZ (GPS)

- ORB und ERP: übernommen vom IGS
- Satellitenuhren: übernommen von Uhrenlösung
- Troposphärenmodellierung: GPT, GMF
- Elevationsmaske:  $10^\circ$  (Gewichtung:  $1/\cos(z)$ )
- Ionosphäre-freie Linearkombination
- Koordinatenverbesserung gegenüber der Uhrenlösung

$RMS = 1.5 \text{ mm}$

$\chi^2 = 2.13$

	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
WTZR	-0.8 mm	0.6 mm	0.5 mm
WTZZ	6.6 mm	-0.7 mm	-1.9 mm

# Beispiel: Konsistenz

## Koordinatendifferenz: WTZZ–WTZR

GPS-Lösung

Lösungs- typ	Lösung			Koordinatendifferenz:		
	ORB	CLK	RMS	$\Delta_U$	$\Delta_N$	$\Delta_E$
PPP	IGS	own	1.4 mm	1.7 mm	-1.1 mm	-1.7 mm
PPP	IGS	IGS	2.5 mm	2.0 mm	-0.7 mm	-1.8 mm
PPP	COD	COD	1.6 mm	1.7 mm	-1.0 mm	-1.4 mm
PPP	IGS	own <sup>1</sup>	1.5 mm	7.4 mm	-1.3 mm	-2.4 mm
BSL	IGS	–	1.4 mm	4.5 mm	-0.7 mm	-1.7 mm

<sup>1</sup> Elevationsmaske von 10° anstatt 5°

Referenz für die Koordinatendifferenz ist die Doppeldifferenz-Netzwerklösung mit gelösten Mehrdeutigkeiten.



# Beispiel: Konsistenz

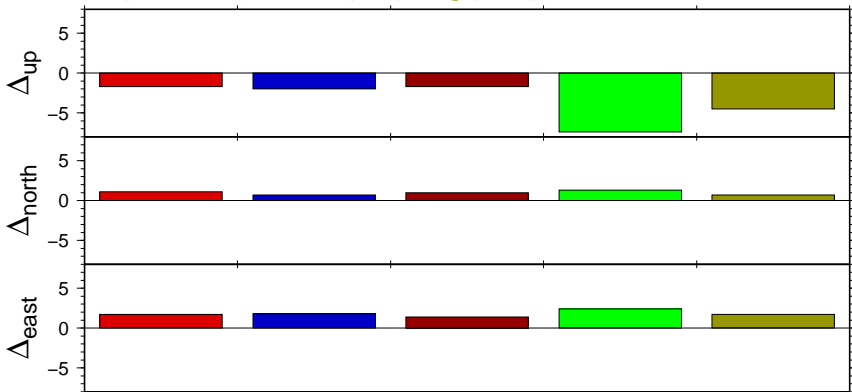
PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF

PPP; ORB: IGS; CLK: IGS; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF

PPP; ORB: COD; CLK: COD; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 10deg ; GPS; TRP: GMF

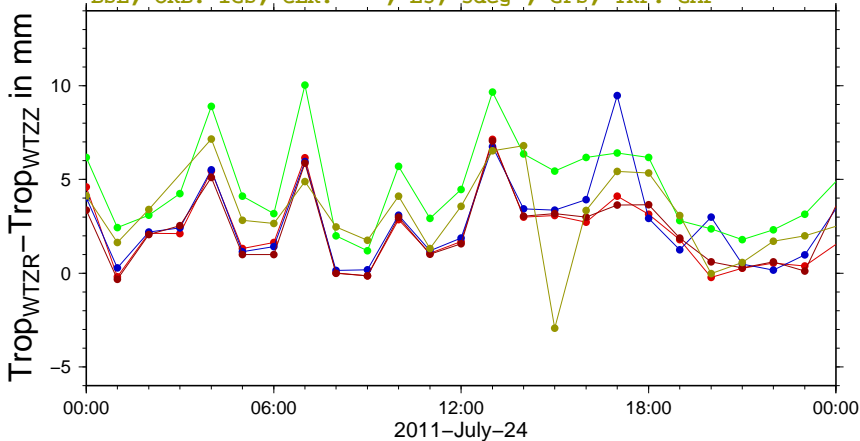
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF



Coordinate difference WTZR–WTZZ

# Beispiel: Konsistenz

PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF  
PPP; ORB: IGS; CLK: IGS; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF  
PPP; ORB: COD; CLK: COD; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF  
PPP; ORB: IGS; CLK: Net; L3, 10deg; GPS; TRP: GMF  
BSL; ORB: IGS; CLK: ---; L3, 5deg ; GPS; TRP: GMF



## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1      Kodemessungen auf einer Frequenz

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1      Kodemessungen auf einer Frequenz

C1&C2    Kodemessungen auf zwei Frequenzen

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1      Kodemessungen auf einer Frequenz

C1&C5    Kodemessungen auf zwei Frequenzen

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1	Kodemessungen auf einer Frequenz
C1&C2	Kodemessungen auf zwei Frequenzen
C1&L1	Kode-/Phasenkombination auf einer Frequenz
L1	Phasenmessung mit externer Ionosphärenkorrektur

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1	Kodemessungen auf einer Frequenz
C1&C2	Kodemessungen auf zwei Frequenzen
C1&L1	Kode-/Phasenkombination auf einer Frequenz
L1	Phasenmessung mit externer Ionosphärenkorrektur
L1&L2	Phasenmessung in ionosphärenfreier Linearkombination

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.



## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1	Kodemessungen auf einer Frequenz
C1&C2	Kodemessungen auf zwei Frequenzen
C1&L1	Kode-/Phasenkombination auf einer Frequenz
L1	Phasenmessung mit externer Ionosphärenkorrektur
L1&L2	Phasenmessung in ionosphärenfreier Linearkombination
L1&L2	Phasenmessung in Linearkomb. mit Mehrdeutigkeitslösung

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

## Technologien zur Auswertung von GNSS-Daten mit aufsteigender Genauigkeit

C1 Kodemessungen auf einer Frequenz

**Navigation**  
**slösung**

C1&C2 Kodemessungen auf zwei Frequenzen

C1&L1 Kode-/Phasenkombination auf einer Frequenz

L1 Phasenmessung mit externer Ionosphärenkorrektur

L1&L2 Phasenmessung in ionosphärenfreier Linearkombination

L1&L2 Phasenmessung in Linearkomb. mit Mehrdeutigkeitslösung

**PPP**

Das Schema dient nur der groben Orientierung. Die mit der jeweiligen Technologie erreichbare Genauigkeit hängt stark von der Netzausdehnung, den verwendeten Bahndaten und der Umsetzungsstufe der Auswertemodelle ab.

# Zusammenfassung

---

**PPP ist das Einfache, ...**

weil

**... das so schwer zu machen ist.**

weil

## PPP ist das Einfache, ...

weil

- jede Station unabhängig von jeder anderen ausgewertet wird.
- Probleme von einer Station sich nicht auf andere übertragen können.

## ... das so schwer zu machen ist.

weil

## PPP ist das Einfache, ...

weil

- jede Station unabhängig von jeder anderen ausgewertet wird.
- Probleme von einer Station sich nicht auf andere übertragen können.

## ... das so schwer zu machen ist.

weil

- jede PPP–Auswertung Bestandteil einer globalen Lösung ist.
- stets Troposphärenparameter mitzubestimmen sind.
- best mögliche Konsistenz zur übergeordneten Uhrenlösung anzustreben ist.

---

# VIELEN DANK für Ihre Aufmerksamkeit



Publikationen der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie des AIUB:

<http://www.bernese.unibe.ch/publist>