



Qualitätsanalyse eines mobilen Multisensorsystems

Vortrag zur Masterarbeit

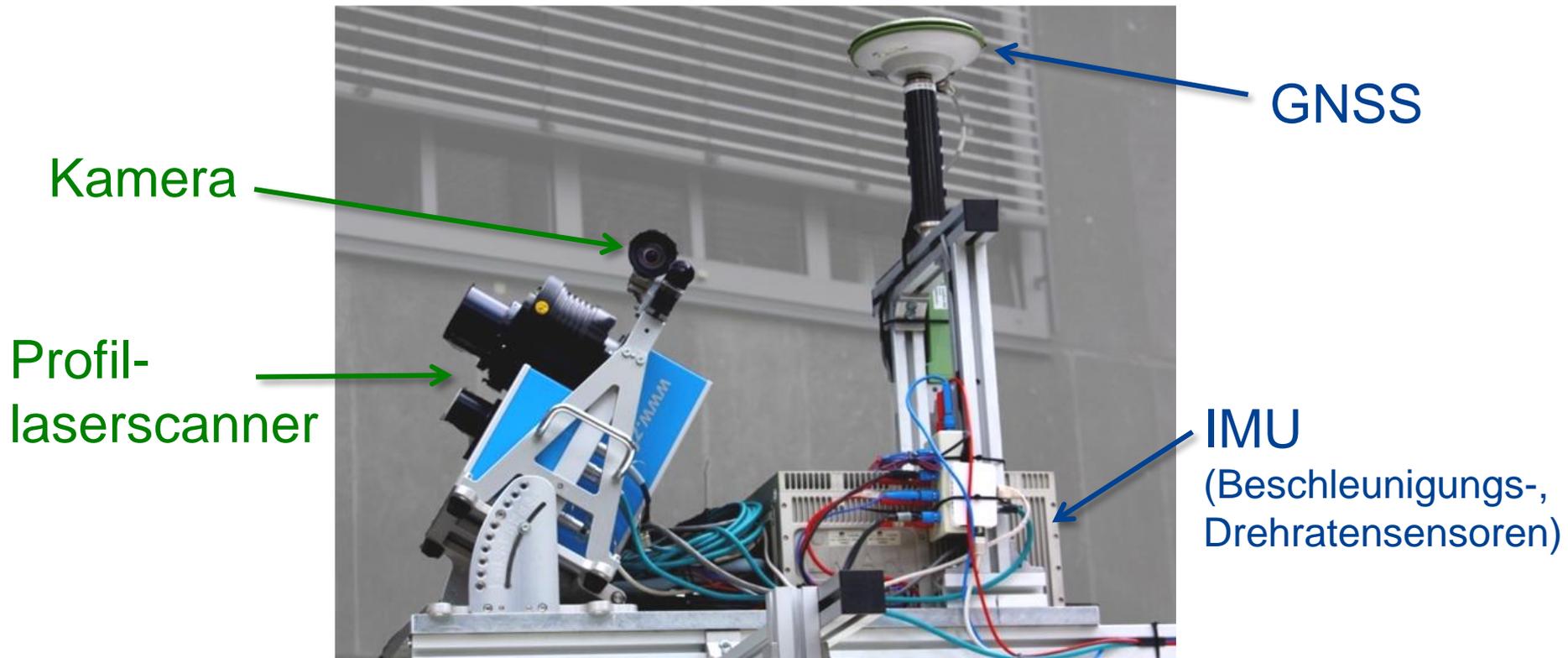
Isabel Gelfort

Vermessungswesen aktuell 2021

Mobile Multisensorsysteme



Mobile Multisensorsysteme



Mobile Multisensorsysteme



[7]



[5]



[6]



[3]



[4]



[2]



[1]

Mobile Multisensorsysteme



[7]



[5]



[6]



[3]



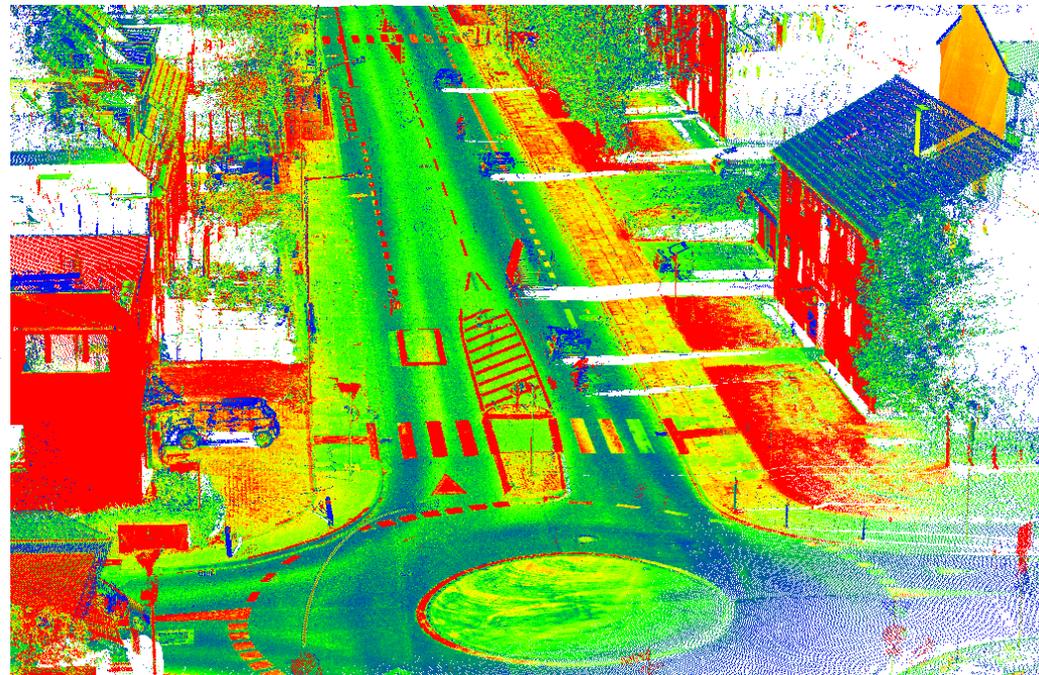
[4]



[2]

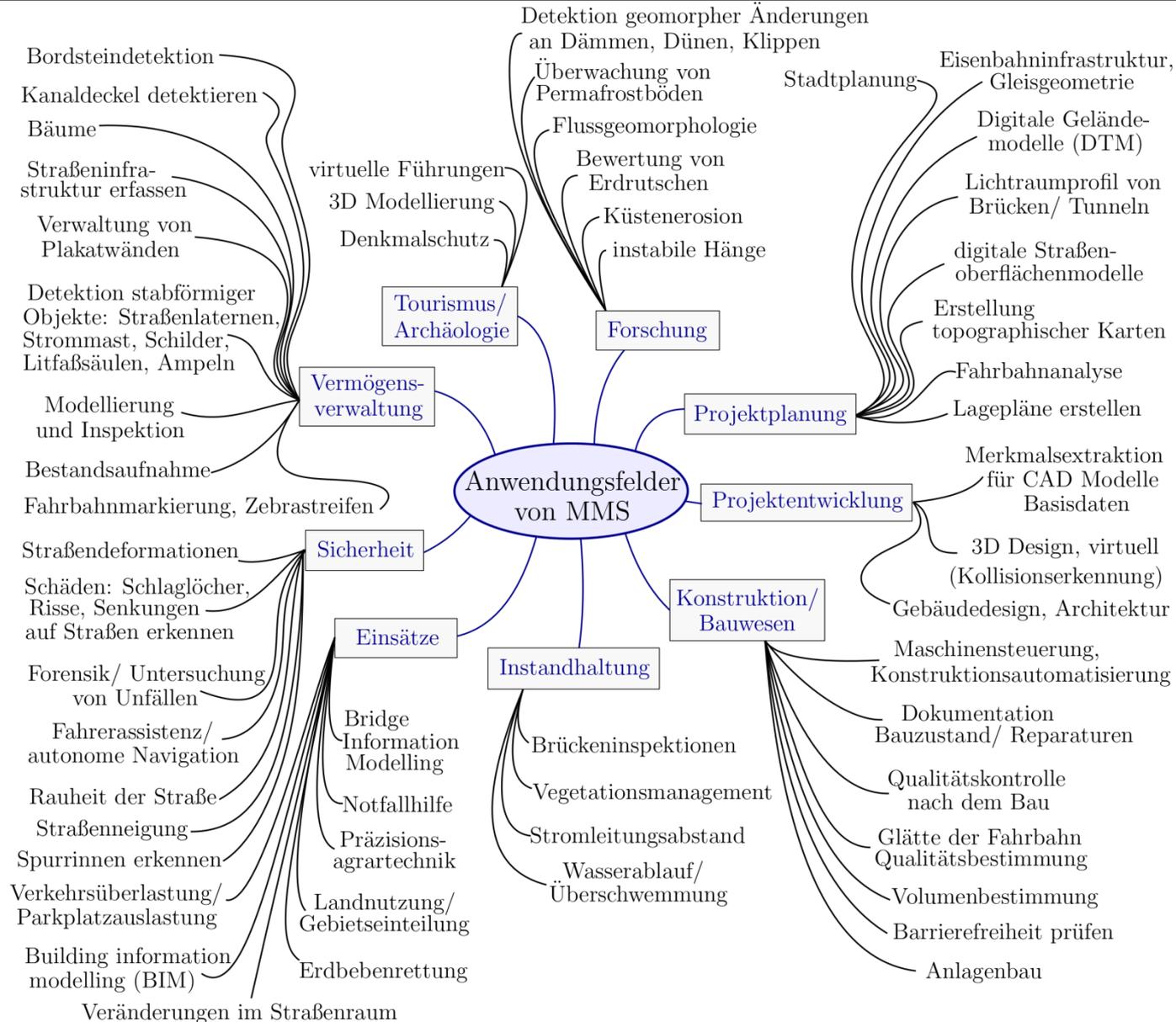


[1]



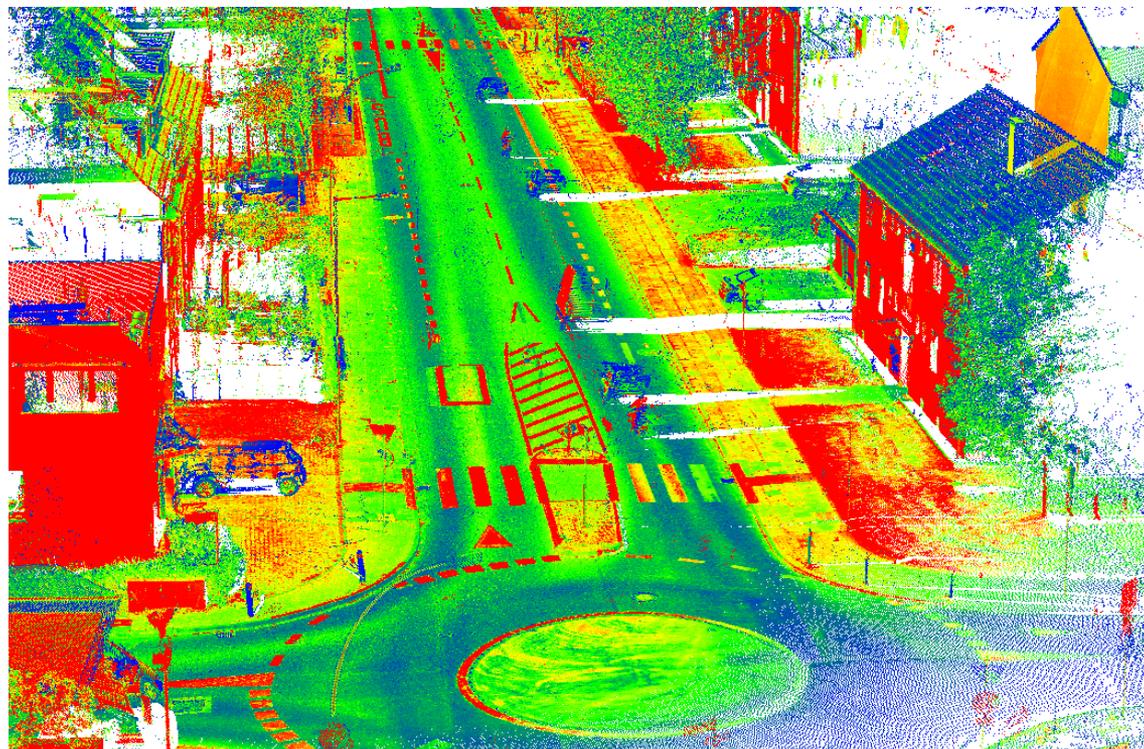
Zielgrößen

- **Bestandsaufnahmen**
- **Digitale Geländemodelle**
- **BIM**
- **Detektion von Straßenschäden**
- **Untersuchung des Lichtraums**
- **...**



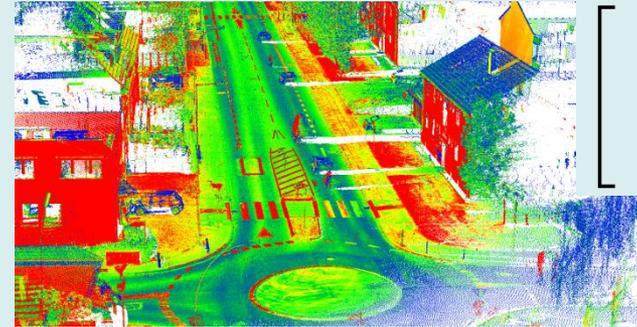
nach [8]

Unsicherheit der
Zielgrößen?



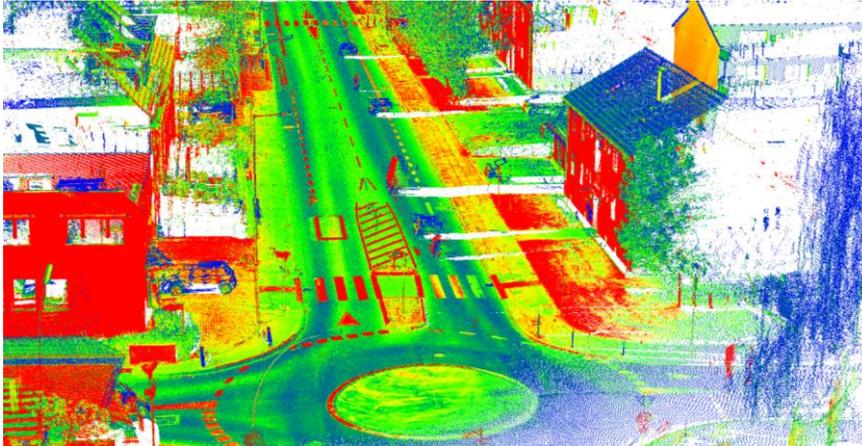
$$\begin{bmatrix} \sigma_{X_e} \\ \sigma_{Y_e} \\ \sigma_{Z_e} \end{bmatrix}_t = ?$$

- 1) Unsicherheit der Punktwolke
→ Abweichungshaushalt



$$\begin{bmatrix} \sigma_{X_e} \\ \sigma_{Y_e} \\ \sigma_{Z_e} \end{bmatrix}_t$$

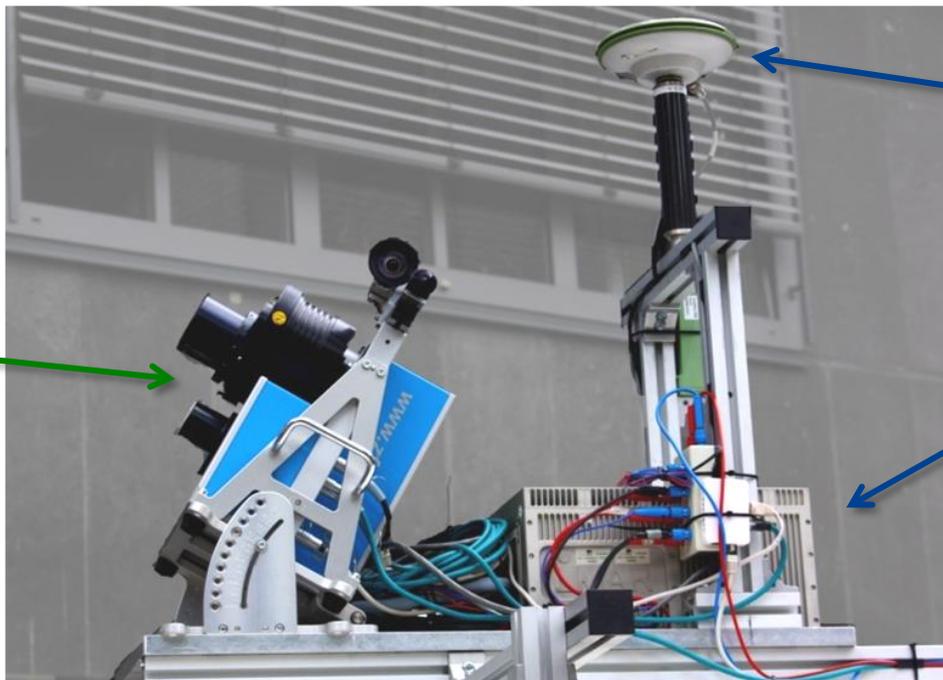
Unsicherheit der Punktwolke



$$\begin{bmatrix} \sigma_{X_e} \\ \sigma_{Y_e} \\ \sigma_{Z_e} \end{bmatrix}_t$$

- Theorie: Varianzfortpflanzung
 - Sensoren:
 - Messgrößen
 - Abweichungshaushalt
 - Berechnungsschritte:
 - Verknüpfung der Sensoren
 - Von Beobachtungen zu Parametern

Profil-
laserscanner

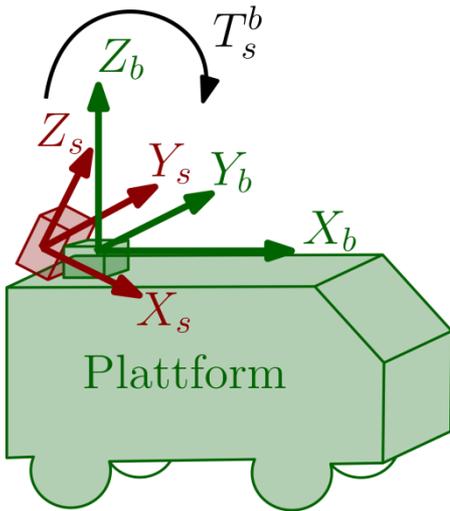


GNSS

IMU
(Beschleunigungs-,
Drehratensensoren)

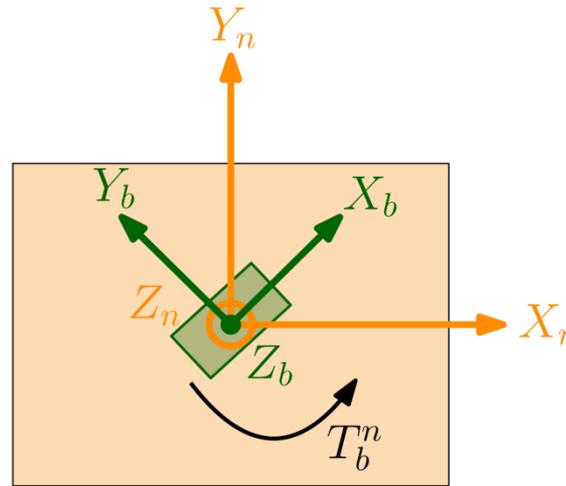
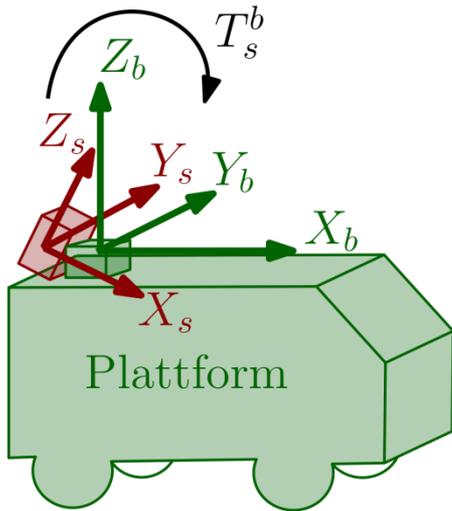
+ Systemkalibrierung

Vorwärtsmodell



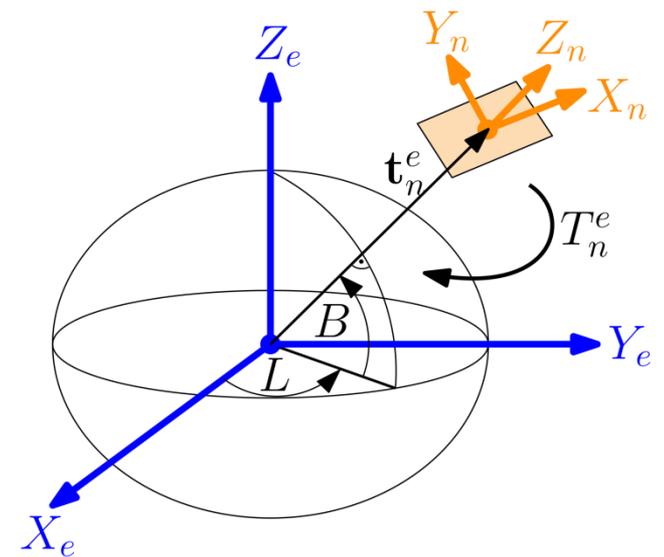
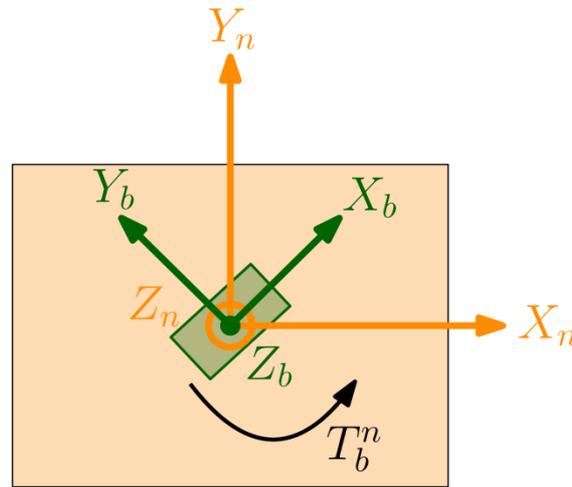
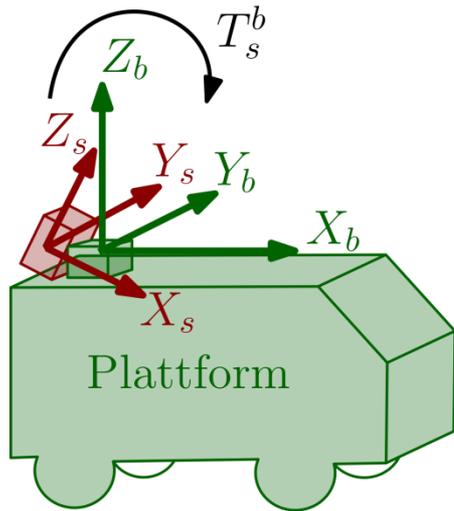
$$T_s^b \cdot \mathbf{P}_s$$

Vorwärtsmodell



$$T_b^n \cdot T_s^b \cdot \mathbf{P}_s$$

Vorwärtsmodell



$$\mathbf{P}_e = T_n^e \cdot T_b^n \cdot T_s^b \cdot \mathbf{P}_s$$

Vorwärtsmodell

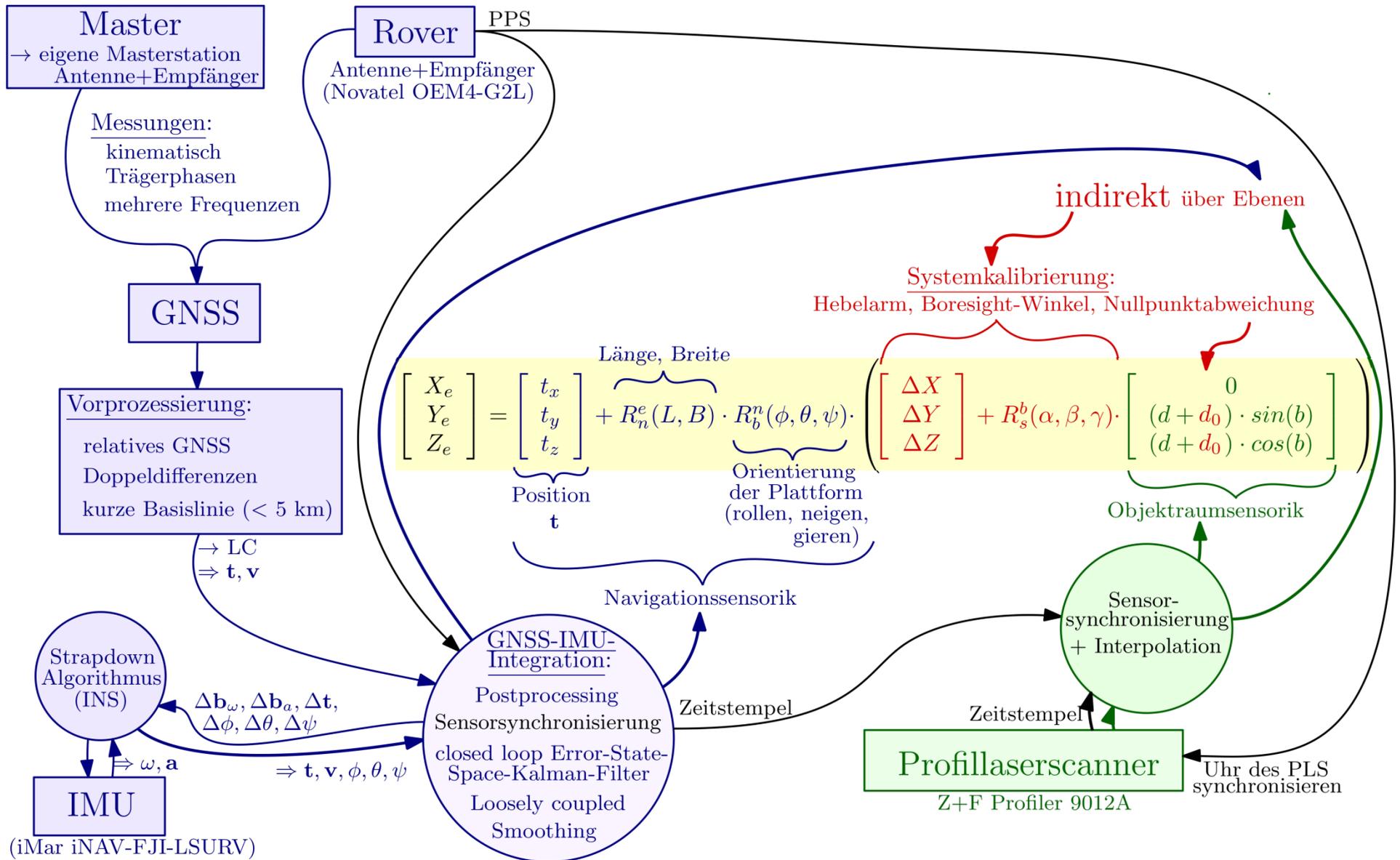
Navigations-
sensorik

System-
kalibrierung

Objektraum-
sensorik

$$\begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + R_n^e(L, B) \cdot R_b^n(\phi, \theta, \psi) \cdot \left(\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + R_s^b(\alpha, \beta, \gamma) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ d \cdot \sin(b) \\ d \cdot \cos(b) \end{bmatrix} \right)$$

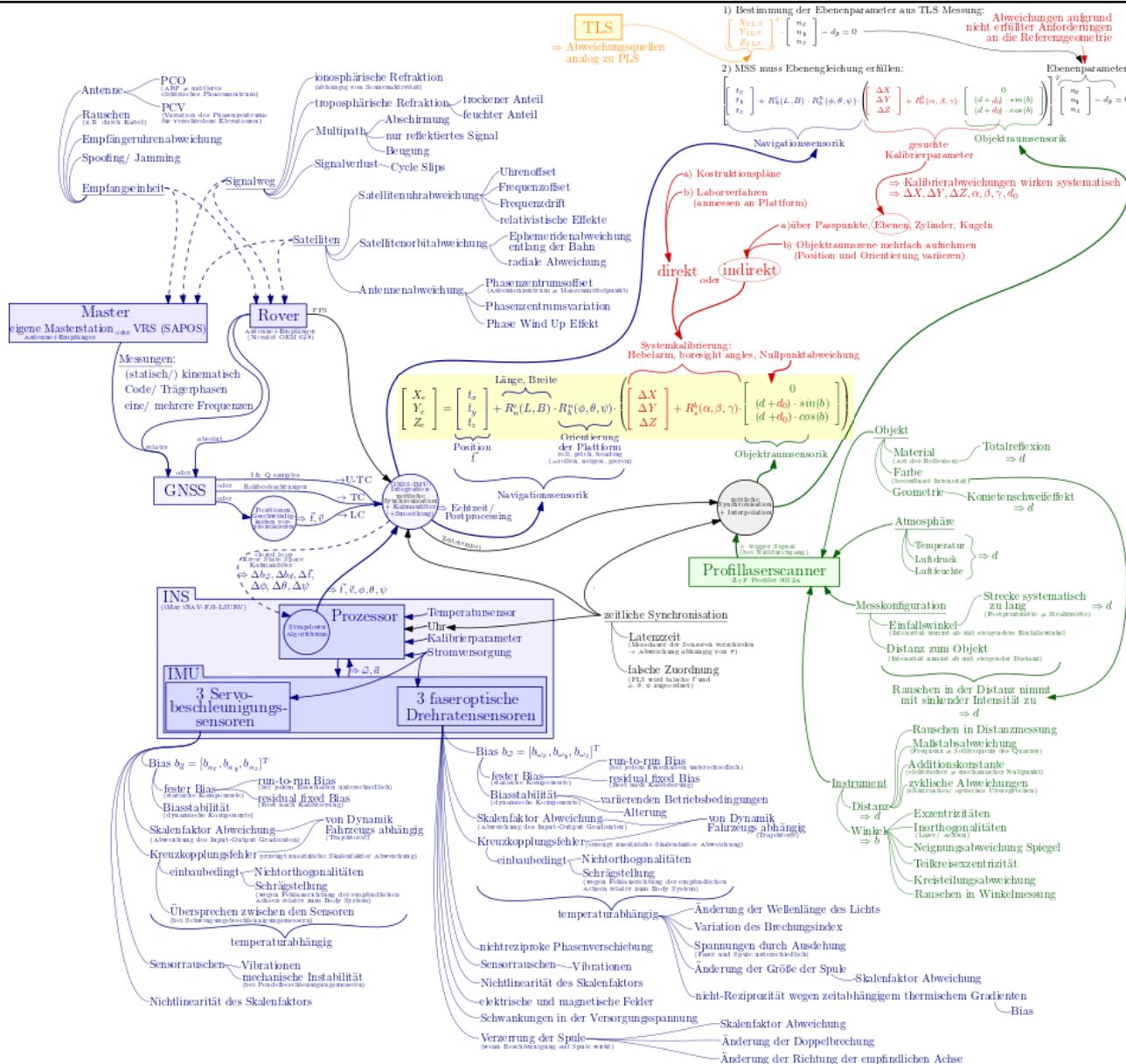
$$\mathbf{P}_e = T_n^e \cdot T_b^n \cdot T_s^b \cdot \mathbf{P}_s$$

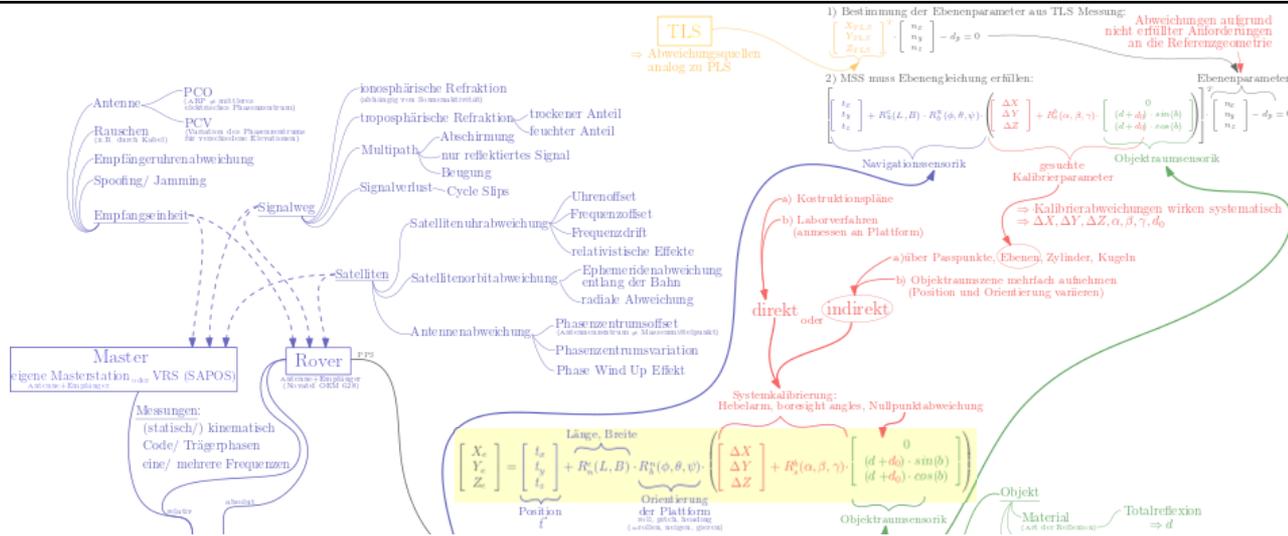


Abweichungshaushalt

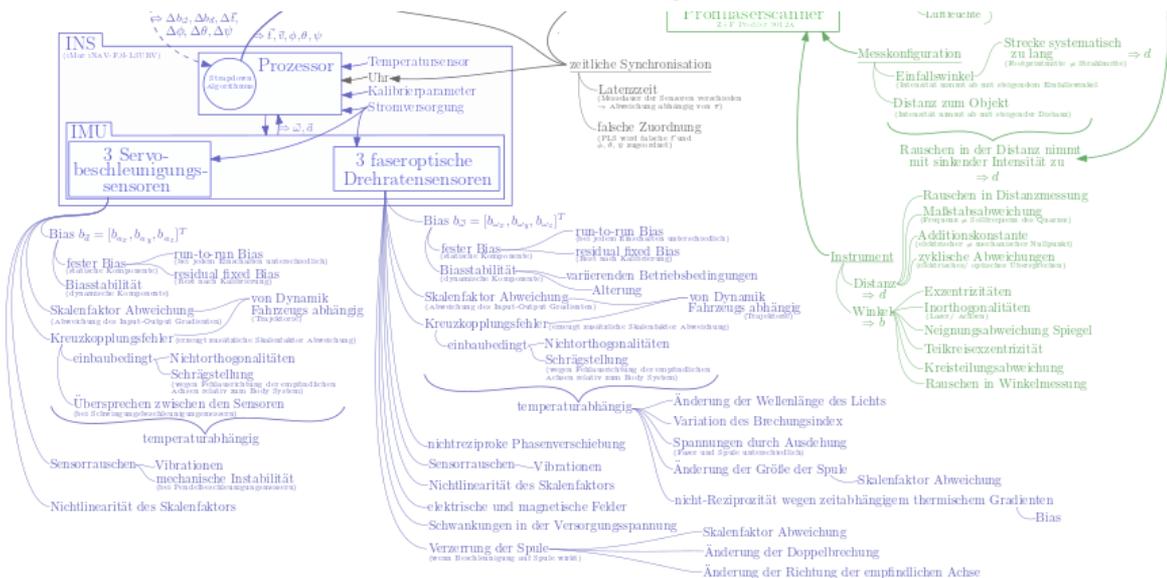
- Profillaserscanner
- GNSS
- IMU:
 - Beschleunigungssensoren
 - Drehratensensoren
- Ebenenbasierte Systemkalibrierung
- Zeitliche Synchronisierung

→ Auswirkung abhängig von Prozessierung und Berechnungsschritten

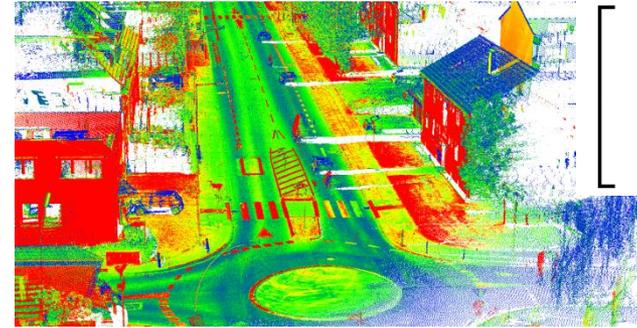




Varianzfortpflanzung sehr komplex

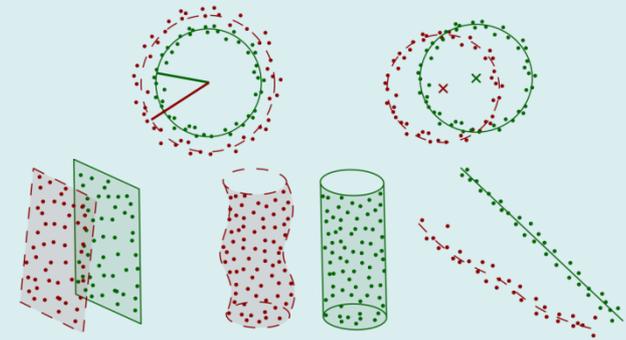


- 1) Unsicherheit der Punktwolke
→ Abweichungshaushalt

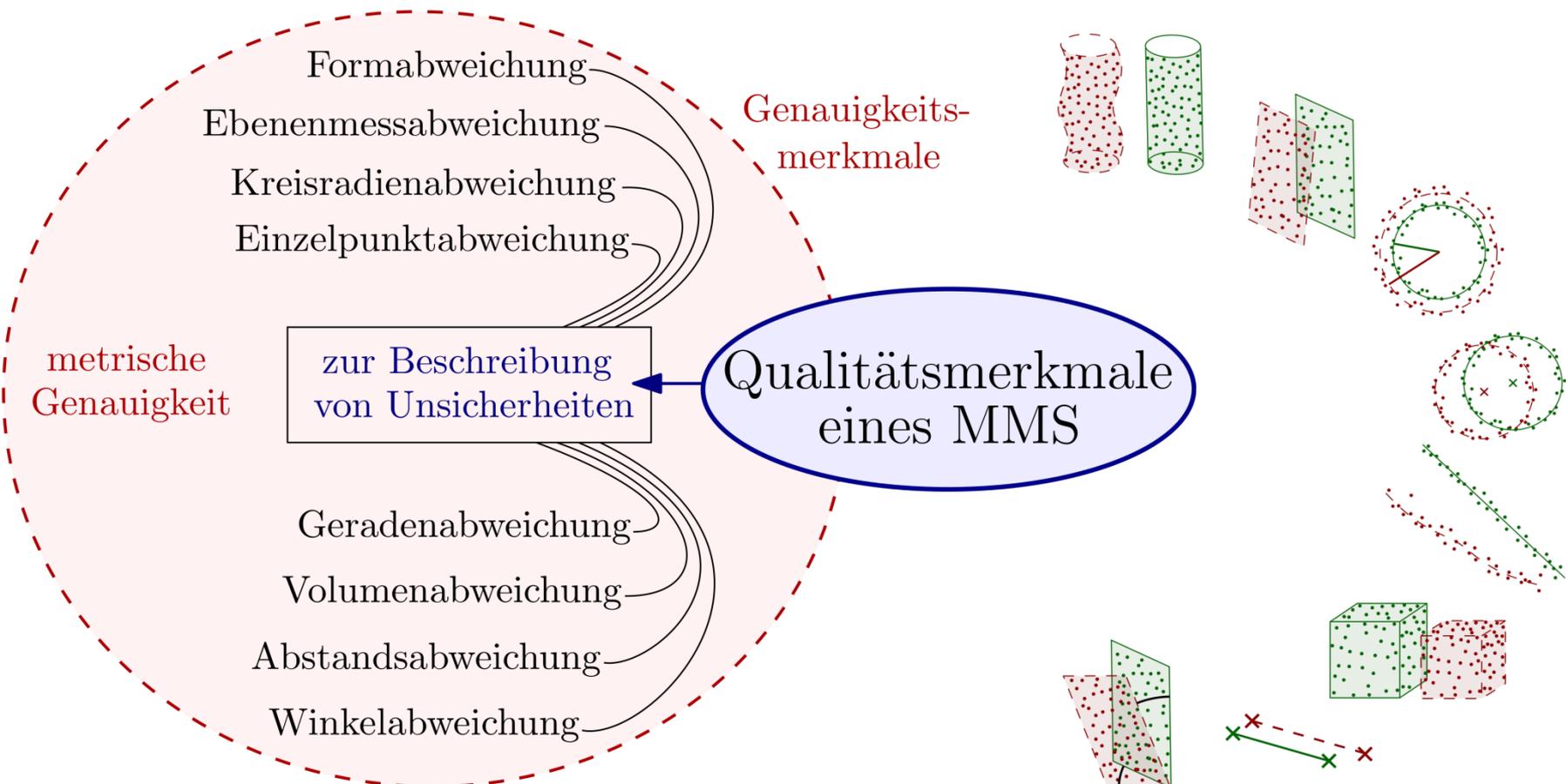


$$\begin{bmatrix} \sigma_{X_e} \\ \sigma_{Y_e} \\ \sigma_{Z_e} \end{bmatrix}_t$$

- 2) Definition von Qualitätsmerkmalen
→ als empirische Unsicherheitsmaße
→ Frage: welche sind möglich?



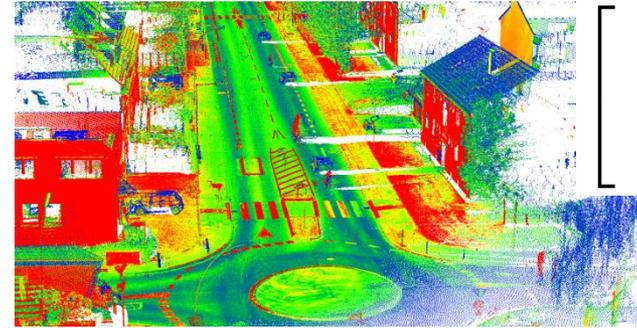
- Definition von Qualitätsmerkmalen für MMS



- Definition von Qualitätsmerkmalen für MMS

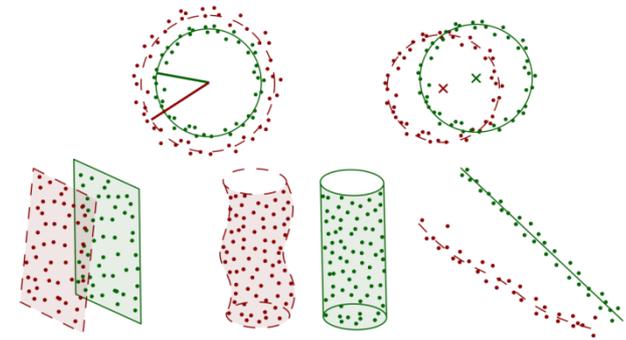


- 1) Unsicherheit der Punktwolke
→ Abweichungshaushalt



$$\begin{bmatrix} \sigma_{X_e} \\ \sigma_{Y_e} \\ \sigma_{Z_e} \end{bmatrix}_t$$

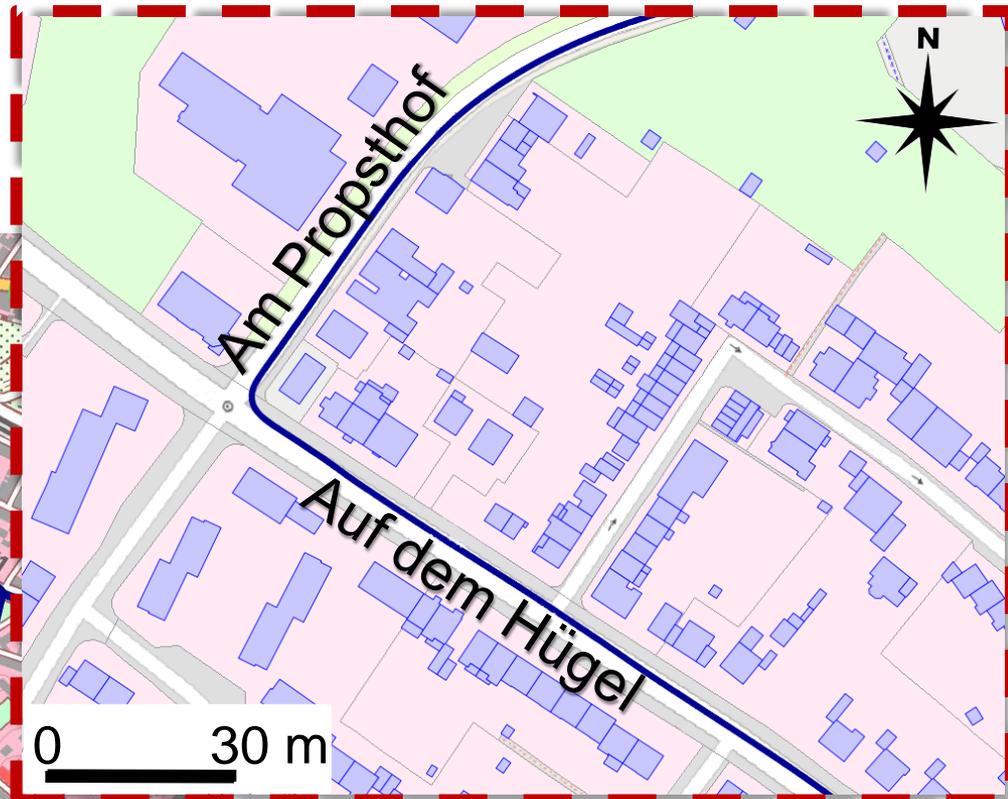
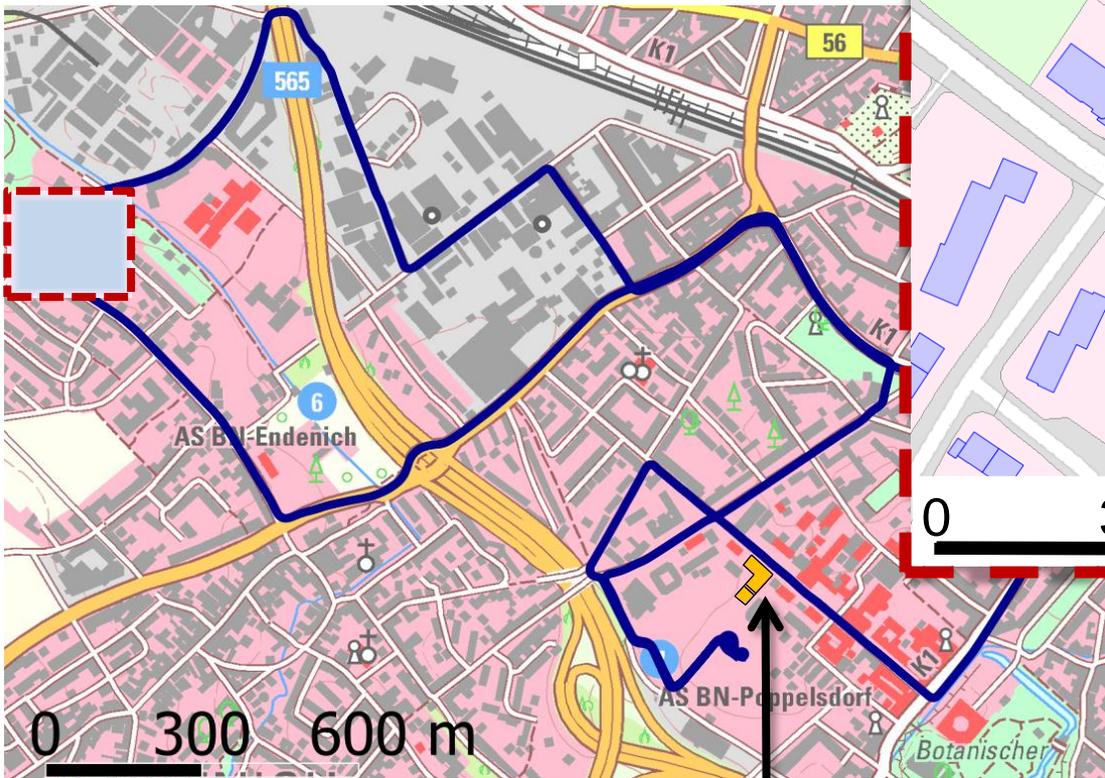
- 2) Definition von Qualitätsmerkmalen
→ als empirische Unsicherheitsmaße
→ Frage: welche sind möglich?



- 3) Durchführung:
 - Simulation von Abweichungen
 - Analyse des Verhaltens der Qualitätsmerkmale



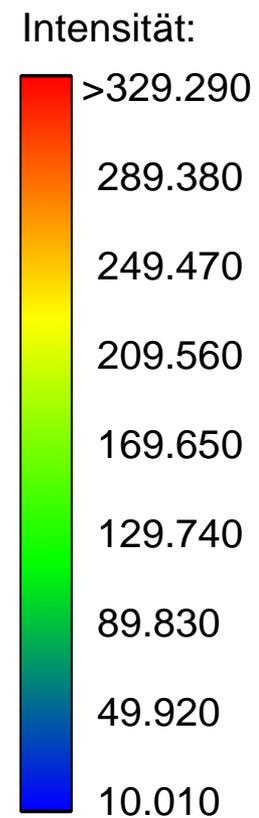
Gebietswahl

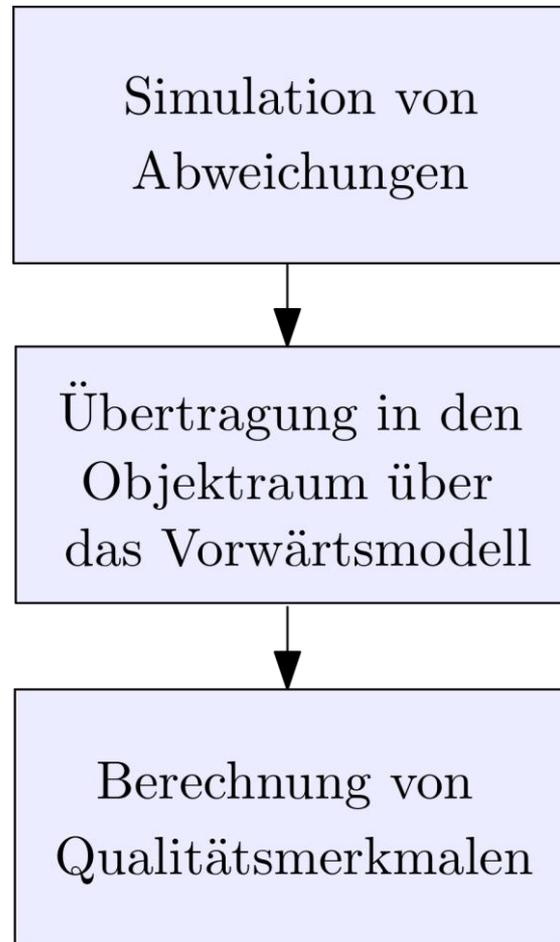


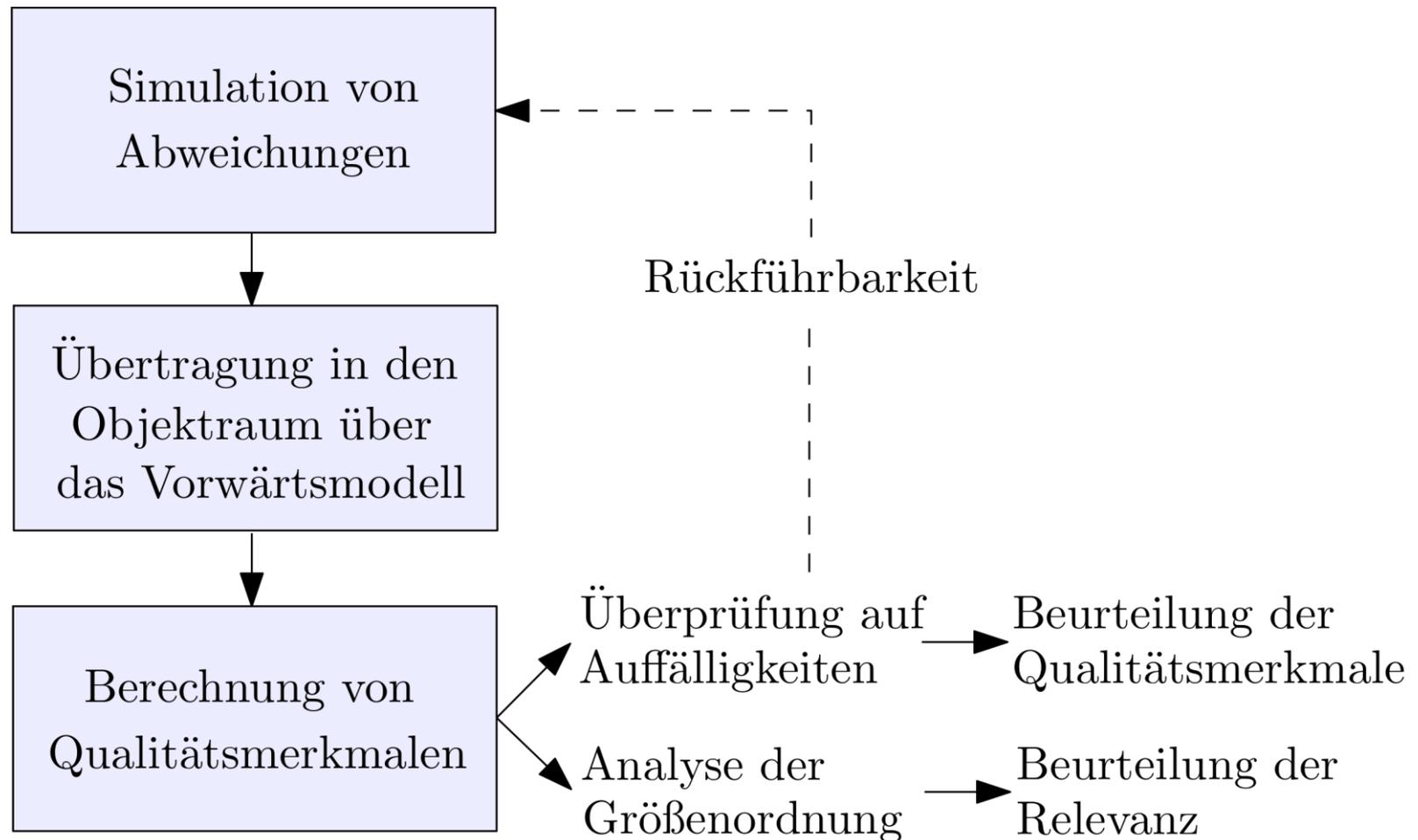
Karten: [9]

IGG

Gebietswahl

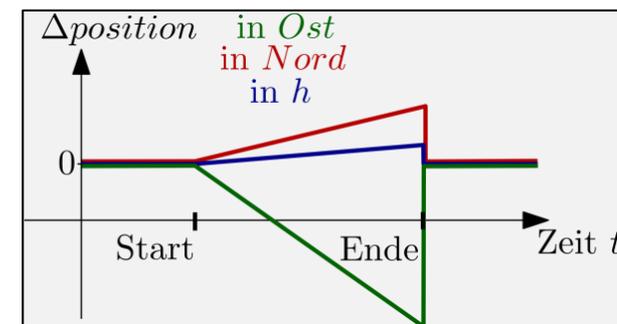
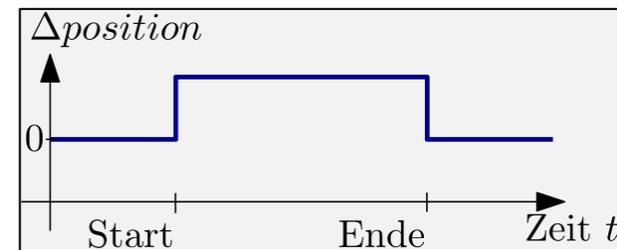
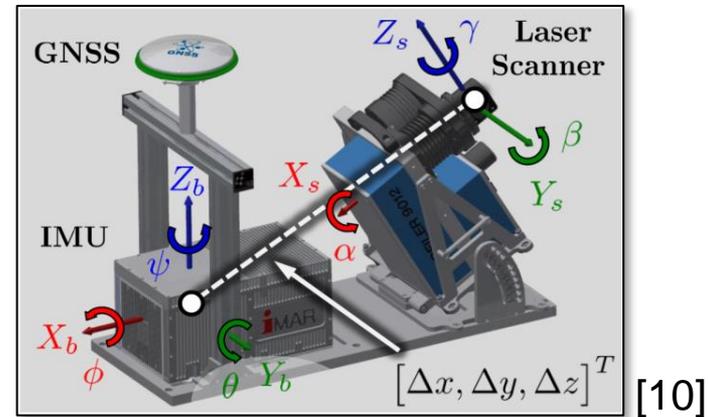


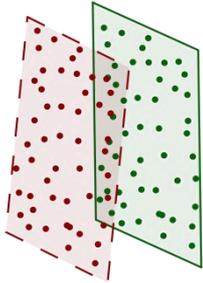




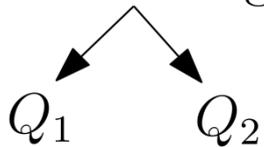
Abweichungen

- Systemkalibrierung
 - Boresight-Winkel α, β, γ
 - Hebelarm $\Delta x, \Delta y, \Delta z$
- Multipath/ falsche Fixierung der Mehrdeutigkeiten
- GNSS-Ausfall, Drift der IMU

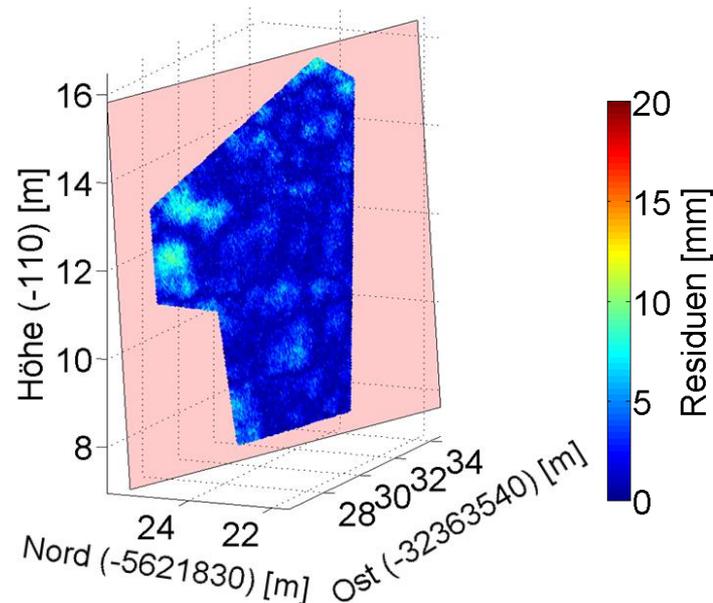


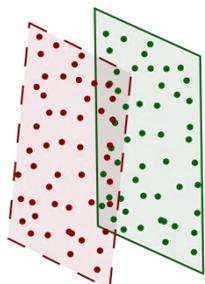


Ebenenmess-
abweichung

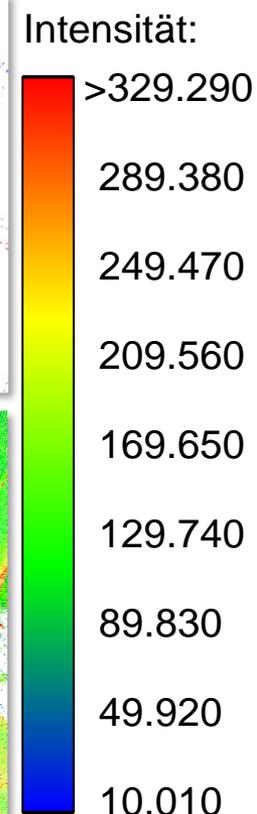
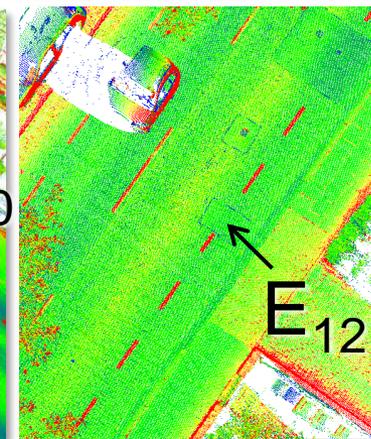
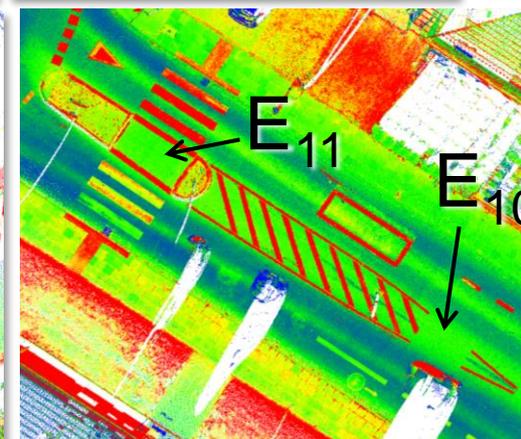
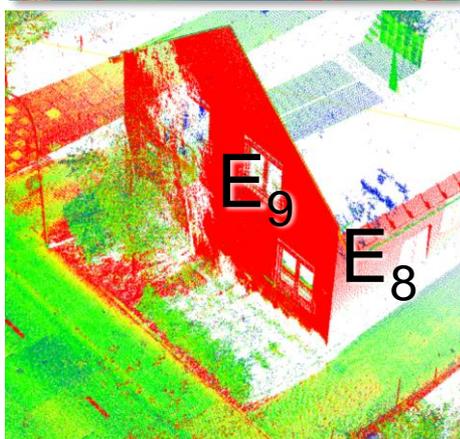
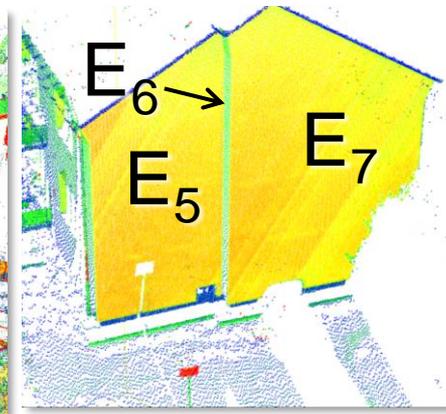
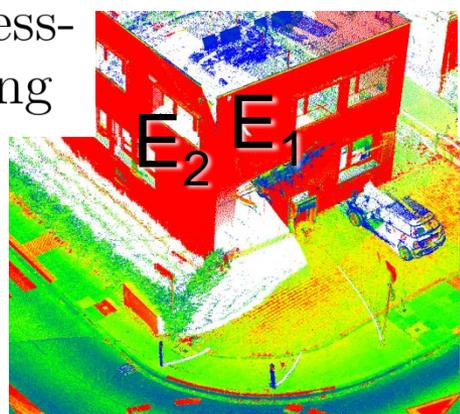


- Auswahl von Ebenen im Gebiet
- Schätzung der Ebene im Referenzdatensatz
- Selektion identischer Punkte
- Berechnung der Residuen zur Referenzebene
 - Q_1 : Standardabweichung der Residuen
 - Q_2 : Mittelwert der Residuen



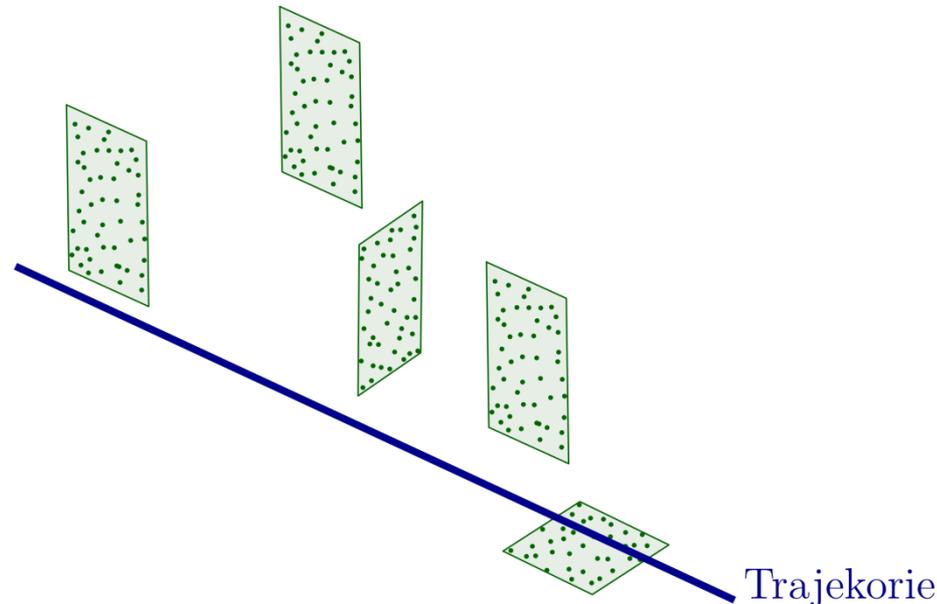
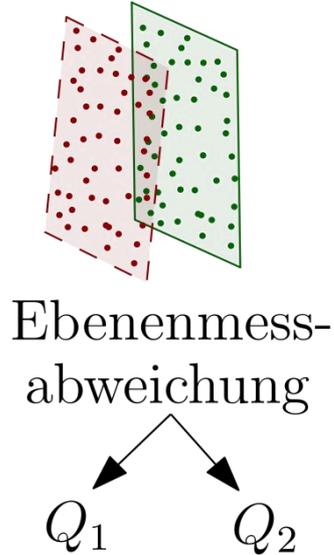


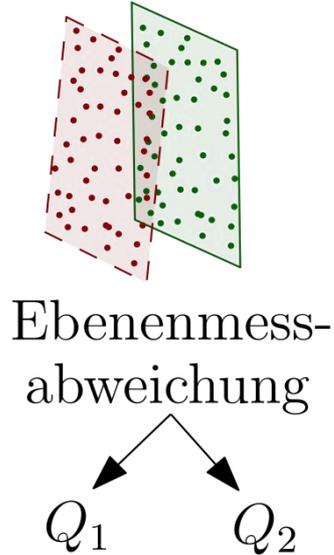
Ebenenmess-
abweichung



Ergebnisse:

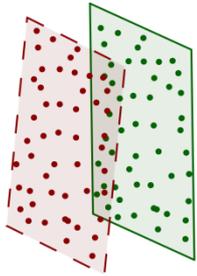
- Unter Abweichungen in überhöhter Größenordnung:
 - Auswirkung Abhängig von Ausrichtung und Entfernung der Ebenen relativ zur Trajektorie
 - Alle Raumrichtungen betrachten





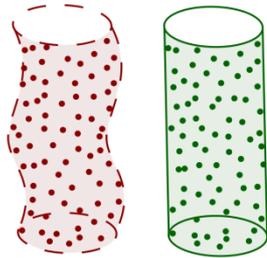
Ergebnisse:

- Unter Abweichungen in überhöhter Größenordnung:
 - Auswirkung Abhängig von Ausrichtung und Entfernung der Ebenen relativ zur Trajektorie
→ Alle Raumrichtungen betrachten
- Abweichungen in realistischer Größenordnung:
 - Abweichungen in der Systemkalibrierung → keine Auffälligkeiten in Q_1, Q_2
 - Multipath und GNSS-Ausfall → Auffälligkeiten in Q_1, Q_2



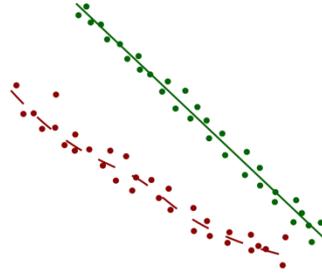
Ebenenmess-
abweichung

Q_1 Q_2



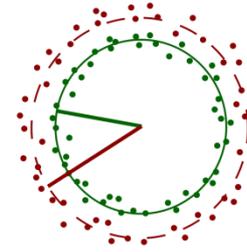
Form-
abweichung

Q_3



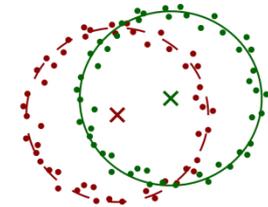
Geraden-
abweichung

Q_4 Q_5



Kreisradien-
abweichung

Q_6



Kreismittelpunkt-
abweichung

Q_7

- Simulierte Abweichungen → Auffälligkeiten bei mehreren Qualitätsmerkmalen
- Auffälligkeiten → keine eindeutige Rückführbarkeit auf einzelne Abweichungen
- Q_i als Empirische Unsicherheitsmaße der Punktwolke geeignet

Abweichungshaushalt von MMS

- Komplex
- Größenordnung vieler Abweichungen nicht genau bekannt/ abhängig von Umgebungsbedingungen
→ Varianzfortpflanzung schwierig

Qualitätsmerkmale

- Keine eindeutige Rückführbarkeit
- Empirische Unsicherheitsmaße der Punktwolke



Qualitätsanalyse eines mobilen Multisensorsystems

Vortrag zur Masterarbeit

Isabel Gelfort

Vermessungswesen aktuell 2021

- [1] <https://de.geospatial.trimble.com/blog/breaking-centimeter-barrier>
- [2] <https://www.vermessung-behr.de/>
- [3] <https://allterra-dno.de/indoor-mobile-mapping-timms/>
- [4] <https://geo-matching.com/category/portable-and-indoor-mobile-mappers/m6>
- [5] <https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>
- [6] <https://www.navvis.com/>
- [7] <https://geo-matching.com/mobile-mappers/hiscan-c>
- [8] Olsen, M. J. (2013). *Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications, Band 748*. Transportation Research Board, Washington D. C.
- [9] Geobasis NRW, Bezirksregierung Köln (2020). Topographische Karten (WMS).
URL: https://www.bezregkoeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/webdienste/geodatendienste/index.html (Abgerufen: 08/2020).
- [10] Beiträge zur Kalibrierung und Evaluierung von Multisensorsystemen für kinematisches Laserscanning. Dissertation, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn. [18] Geobasis NRW, Bezirksregierung Köln (2020). Topographische Karten (WMS).
URL: https://www.bezregkoeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/webdienste/geodatendienste/index.html (Abgerufen: 08/2020).