

# Coordinate Reference Challenges for a potential FCC

## *CRS-Herausforderungen für einen potentiellen FCC*

Prof. Andreas Wieser, Dr. Matej Varga

Please ask your questions via  
Slido  
*Bitte, stellen Sie Ihre Fragen  
über Slido*



[www.sli.do](https://www.sli.do/#918332) #918332

# Coordinate reference needs of FCC

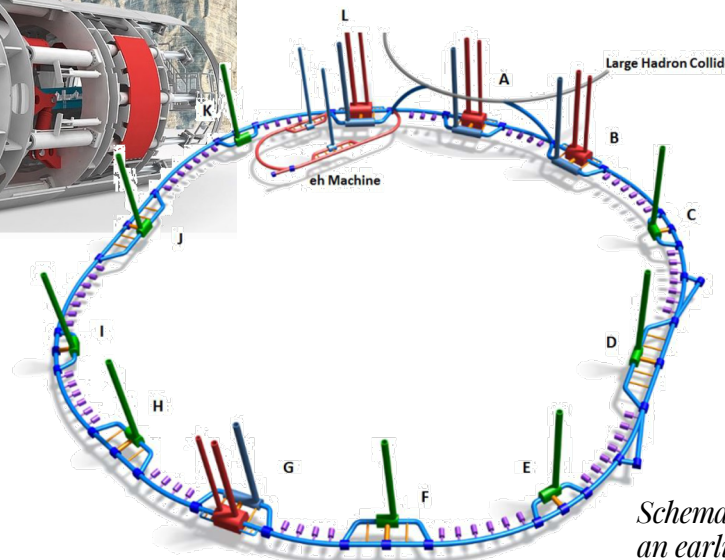
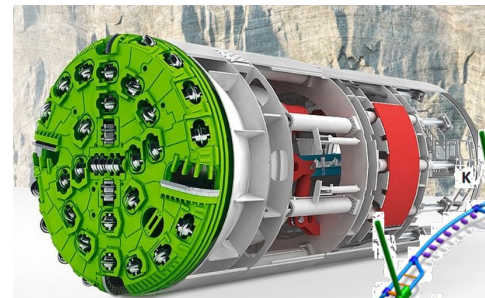
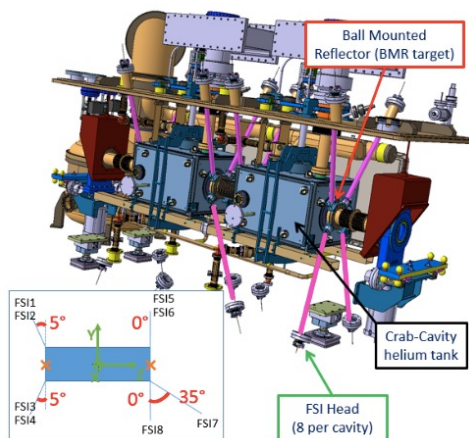
## *Bedarf an Koordinaten Referenz für den FCC*

- Georeferencing and relative positioning with various quality requirements  
*Georeferenzierung und relative Positionierung mit sehr unterschiedlichen Qualitätsanforderungen*
- From site investigations through construction to alignment and operation including connection to existing facilities  
*Von der Erkundung über den Bau bis zu Alignment und Betrieb inklusive Anschluss an bestehende Anlagen*



*Source: Vermessung Schubert*

*Exploration Drilling,  
CERN 2020*



*Schematic diagram of FCC  
an earlier placement study*



© CERN, 2008 (Margot Frenot)

Sosin et al. (2016):  
<https://cds.cern.ch/record/2207426/files/weporor18.pdf>

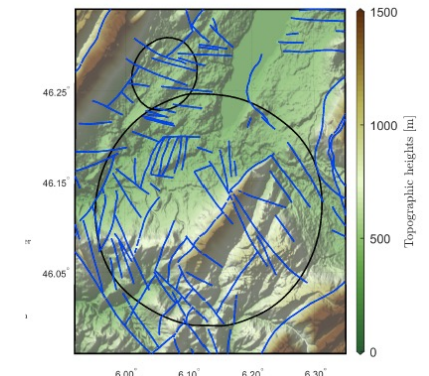
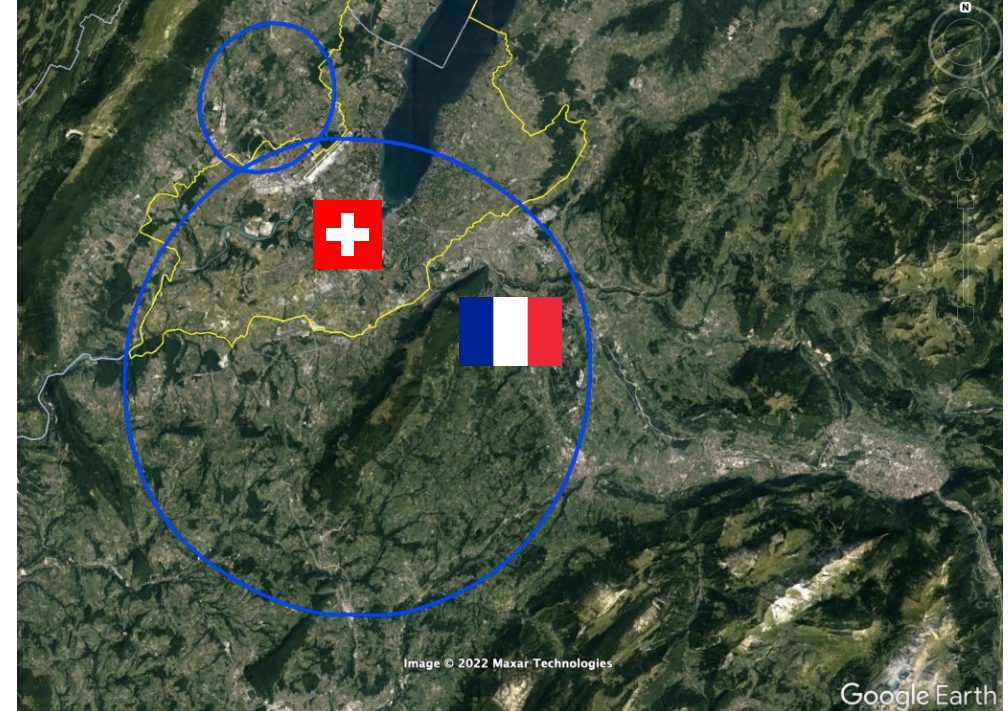
# What is the challenge?

## *Wo liegt die Herausforderung?*

- Materialize fixed points and determine their coordinates  
*Fixpunkte vermarken und Koordinaten bestimmen*
- The two countries have different CRS,  
and no common active GNSS service  
*Unterschiedliche Koordinatensysteme,  
kein gemeinsamer GNSS-Service*

|               |  |  |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Projection    | Lambert conical                                                                   | Oblique conformal cylinder                                                         |
| Datum         | RGF93 (v2b)                                                                       | CH1903+                                                                            |
| Ellipsoid     | GRS80                                                                             | Bessel 1841                                                                        |
| Height system | Normal heights                                                                    | Levelling heights                                                                  |

- The tunnel is long and circular  
*Der Tunnel ist lang und gekrümmt*
- There are many geological faults close to the tunnel  
*Es gibt viele geologische Störzonen im Einzugsbereich des Tunnels*

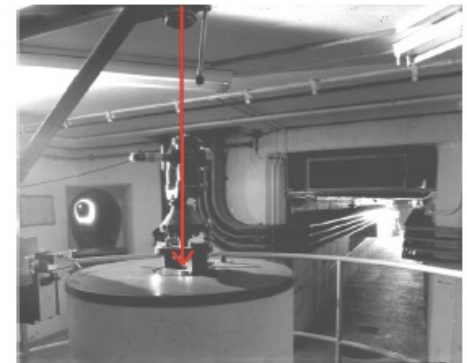


# Existing CRS at CERN

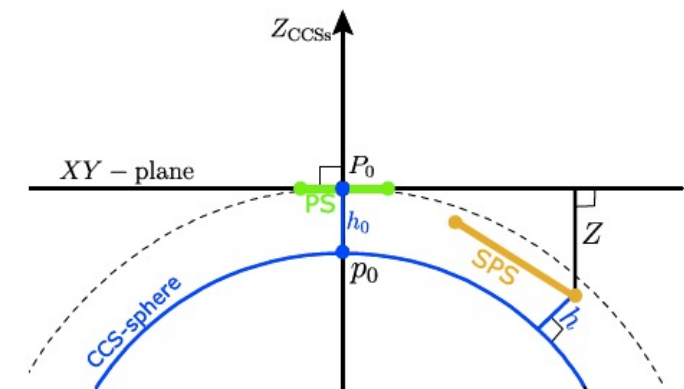
## Von CERN verwendete Koordinaten-Referenzen

- The Coordinate Reference Systems (CRS) at CERN developed according to the needs over time since the PS in 1954  
*Das Koordinatenreferenzsystem wurde seit 1954 (PS) entsprechend den wachsenden Anforderungen entwickelt*

| Parameter                                        | Symbol        | CERN coordinate system |                    |                                      |                      |
|--------------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------|
|                                                  |               | CCS-plane (CCS-p)      | CCS-sphere (CCS-s) | CCS-ellipsoid (CCS-e) [est. in 2001] | CCS-e [est. in 2016] |
| Datum for horizontal coordinates                 | $X, Y$        | plane                  | plane              | plane                                | plane                |
| Datum for vertical coordinates                   | $Z$           | plane                  | plane              | plane                                | plane                |
| Datum for vertical coordinates                   | $h$           | plane                  | sphere             | ellipsoid                            | ellipsoid            |
| Datum for vertical coordinates                   | $H$           | plane                  | geoid/pseudo-geoid | geoid/pseudo-geoid                   | geoid/pseudo-geoid   |
| Local topocentric Cartesian coordinates of $P_0$ |               | in CCS                 |                    |                                      |                      |
|                                                  | $X_{P_0}$ [m] | 2000.00000             | 2000.00000         | 2000.00000                           | 2000.00000           |
|                                                  | $Y_{P_0}$ [m] | 2097.79265             | 2097.79265         | 2097.79265                           | 2097.79265           |
|                                                  | $Z_{P_0}$ [m] | 2433.66000             | 2433.66000         | 2000.00079                           | 2000.00079           |



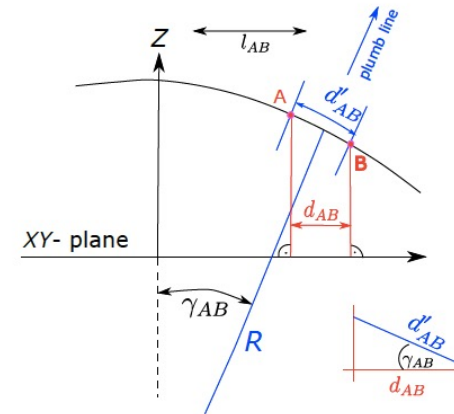
- Core: local Cartesian coordinate systems with fundamental point in pillar P0 underground  
*Kern: locale Kartesische Koordinatensysteme mit Fundamentalpunkt in unterirdischem Pfeiler*
- Horizontal coordinates: orthogonal projection onto (tangential) XY-plane (non-conformal)  
*Lagekoordinaten: orthogonale Projektion in (tangential) XY-Ebene (nicht konform)*
- Heights: plane/spherical/ellipsoidal and later quasi orthometric heights  
*Höhen: ebene/sphärische/ellipsoidische Höhen und später quasi orthometrische*
- CERN Geodetic Reference System (3D) used for CERN Neutrinos to Gran Sasso project: GRS80 ellipsoid, local adapted using fixed transformation w.r.t. ITRF97  
*CGRF (3D) für CNGS-Projekt benutzt: GS80 Ellipsoid, lokal gelagert, def. Transf. von/nach ITRF97*



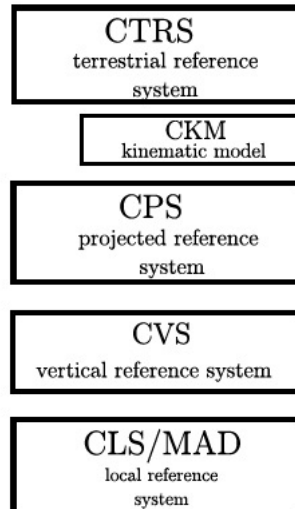
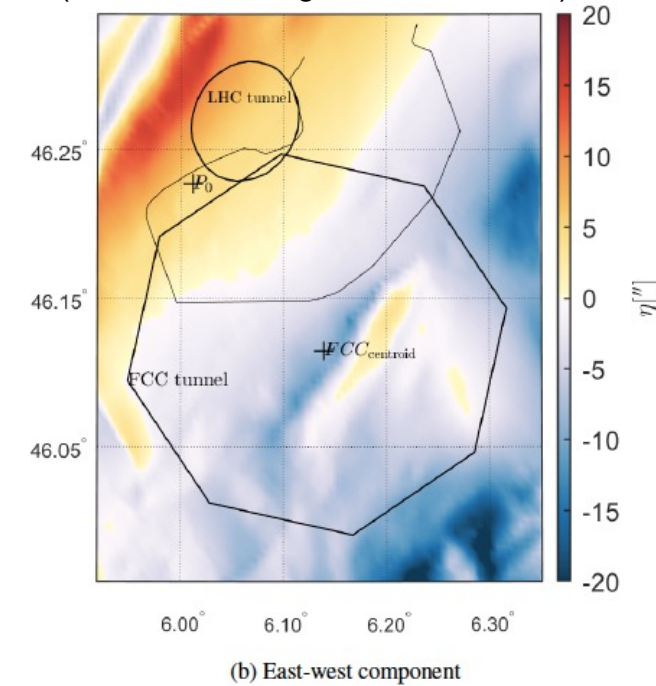
# Proposed CRS for FCC

## Unser Vorschlag für FCC

- Seamless integration of Real-time GNSS across whole LHC/FCC area required (3D, ETRF/ITRF)  
*Nahtlose Verwendung von Echtzeit GNSS im gesamten LHC/FCC Gebiet*
- Construction requires horizontal coordinates and heights with small standard corrections (scale, dov, gravity based heights)  
*Bauarbeiten benötigen locale und horizontal Koordinaten mit kleinen Korrekturen an rohe Messungen*
- Homogeneous coverage over whole LHC/FCC area



Deflections of the vertical  
(EGM2008 w.r.t. geocentric GRS80)



3 layers proposed, 2 of them with new systems/frames:  
3 “Ebenen” vorgeschlagen, 2 davon mit neuen Systemen/Rahmen

- Static CTRS = ETRS89 (frame = ETRFxx at t0): CTRFyy
- Point-wise kinematic model (details tbd., new): CKM
- Projected coordinates (2d, TM, new): CPF
- Gravity-based heights (orthometric, new): CVS
- Local Cartesian Coordinate System (physics): MAD (existing)

$$\mathbf{X}_i^{\text{CTRFyy}}(t) = \mathbf{X}_i^{\text{CTRFyy}} + \Delta \mathbf{X}_i^{\text{CKMyy}}(t)$$

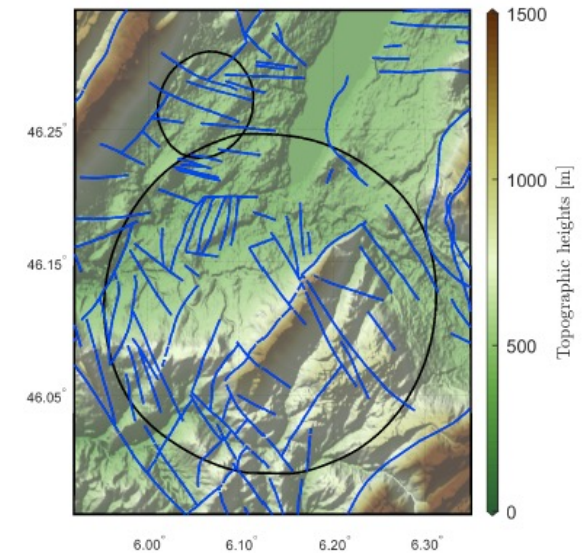
$$m_{\text{CPS}}^{\text{intunnel}} = m_{\text{proj}} + m_{\text{hgt}} + m_{\text{cnv}} \approx 0,$$

# Need for geomonitoring

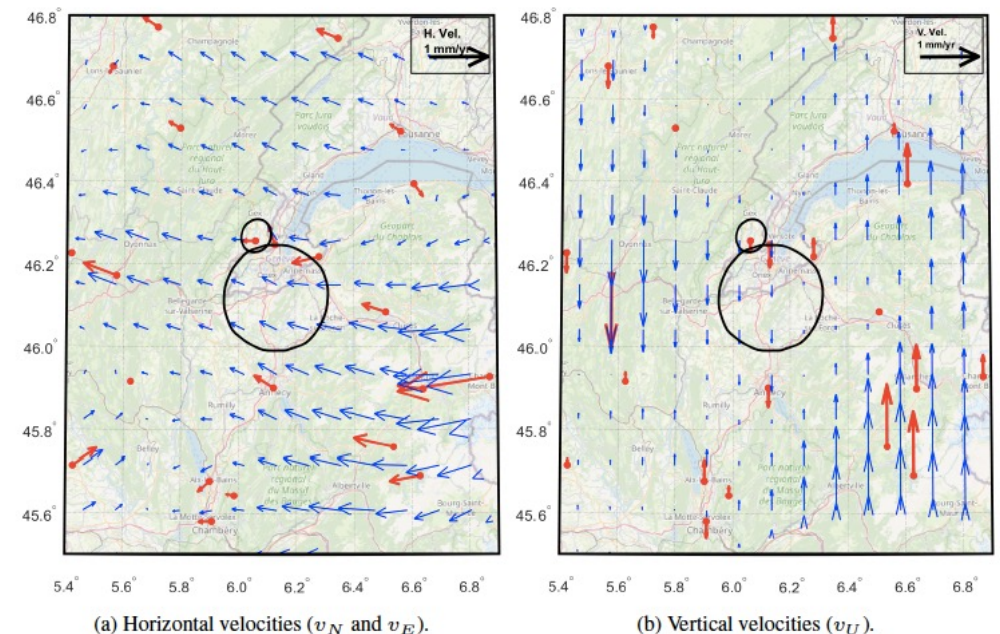
## *Bedarf an Überwachungsmessungen*

- Assurance of stability of Primary Surface Geodetic Network Points  
*Sicherstellung Stabilität der primären geodät. Oberflächen Netzpunkte*
- Determination of kinematic model (CKM)  
*Bestimmung des kinematischen Modells (CKM)*
- Prediction of alignment needs (range) over FCC life-cycle  
*Prognose des Alignment-Bedarfs (Spannweite) für die gesamte FCC-Lebensdauer*
- Concept likely needs to include several years of quasi-permanent GNSS, InSAR and high precision Engineering Geodetic measurements  
*Konzept muss voraussichtlich mehrere Jahre quasi-permanenter GNSS- und InSAR-Messungen umfassen, sowie locale, ingenieurgeodätische Messungen*

Known geological faults  
(Clerc & Moscariello, 2020)  
and topography in the area  
(EROS 2017)



Basis: EUREF WG European Dense Velocities  
(E. Brockmann et al.) (Interpolation for visual impression only)



# Technologies for azimuth transfer during tunnel construction

## Technologien für die Azimutübertragung während des Tunnelbaus

- Azimuth (and coordinate) transfer into the tunnel almost exclusively through the eight vertical shafts  
*Azimutübertragung (und Koordinatenübertragung) in den Tunnel fast ausschliesslich über die acht vertikalen Schächte*

- Gyro-theodolite is the only proven and available technology with sufficient accuracy and useability throughout the tunnels

- Kreisel-Theodolit einzig bewährte und verfügbare Technologie mit ausreichender Genauigkeit und Einsetzbarkeit entlang der gesamten Tunnel*

- Technology analysis for backups or at least means for safeguarding against gross errors is necessary  
*Technologie-Analyse für Kontrolle bzw. zum Schutz vor unerkannten groben Fehlern erforderlich*

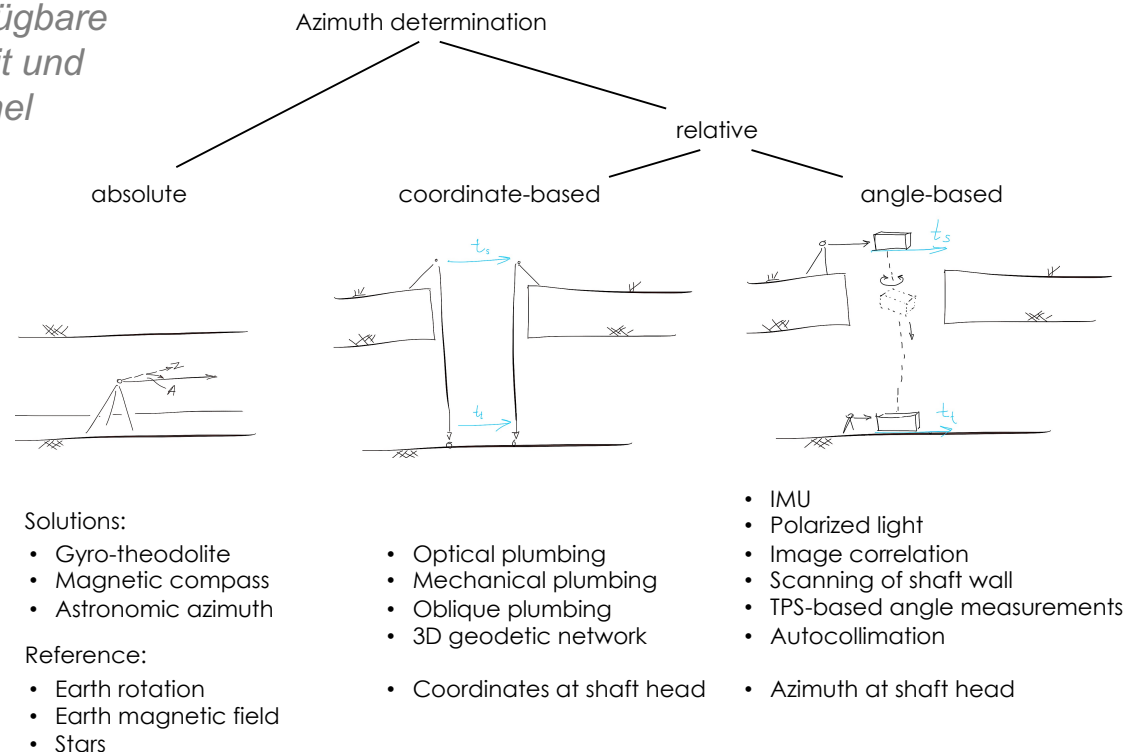
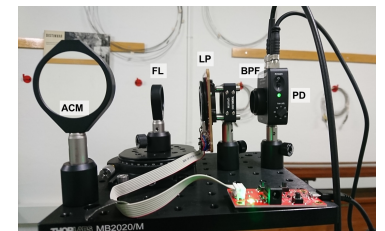
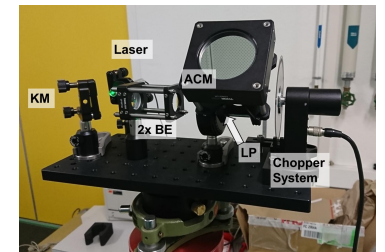


Image source: <https://www.dmt-group.com/de/produkte/geomesssysteme/gyromat.html>

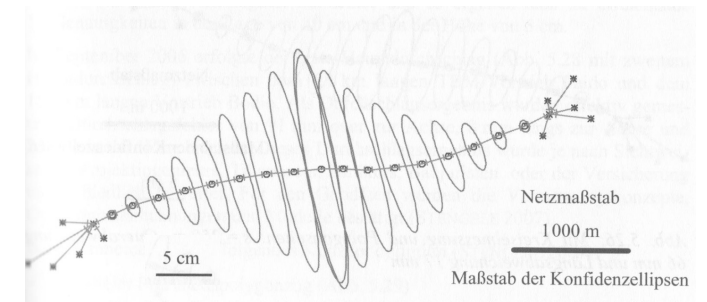
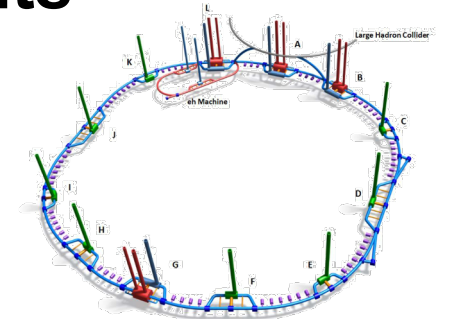


Source: MSc thesis, I. Bai, ETH Zürich (2022)

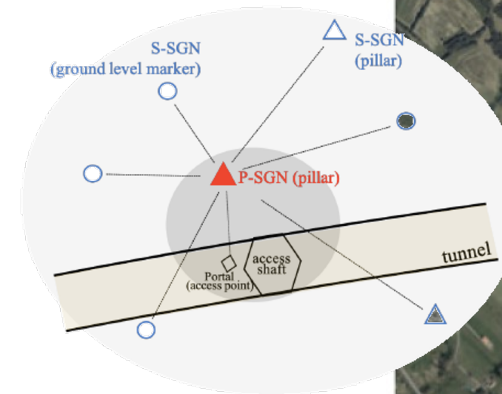
# Needs for testing and calibrating the surveying instruments

## *Bedarf an Tests und Kalibrierung der Messinstrumente*

- Checking and calibration of all geodetic instruments required  
*Überprüfung und Kalibrierung aller geodätischen Instrumente nötig*
- Distances much more critical for FCC tunnel than usual tunnels (curvature)  
*Distanzen wesentlich kritischer für FCC-Tunnel als übliche Tunnel (Krümmung)*
- Test and calibration needs to cover also meteo sensors  
*Auch Meteo-Sensoren müssen getestet und kalibriert werden*
- Facilities close to construction site mandatory for gyro and recommended for EDM  
*Einrichtungen in der Nähe der Baustellen nötig für Kreiseltheodolite und empfohlen für EDM*
- Recommended: 2 Gyro-Baselines per shaft, and refurbishment of CERN's EDM pillars (meteo-sensors)  
*Empfohlen: 2 Kreiselbasislinien pro Schacht und Aufrüstung von CERN's EDM Pfeilerbasis (Meteo-Sensoren)*



Source: Möser et al. (2008) Handbuch Ingenieurgeodäsie/Ing.-bau

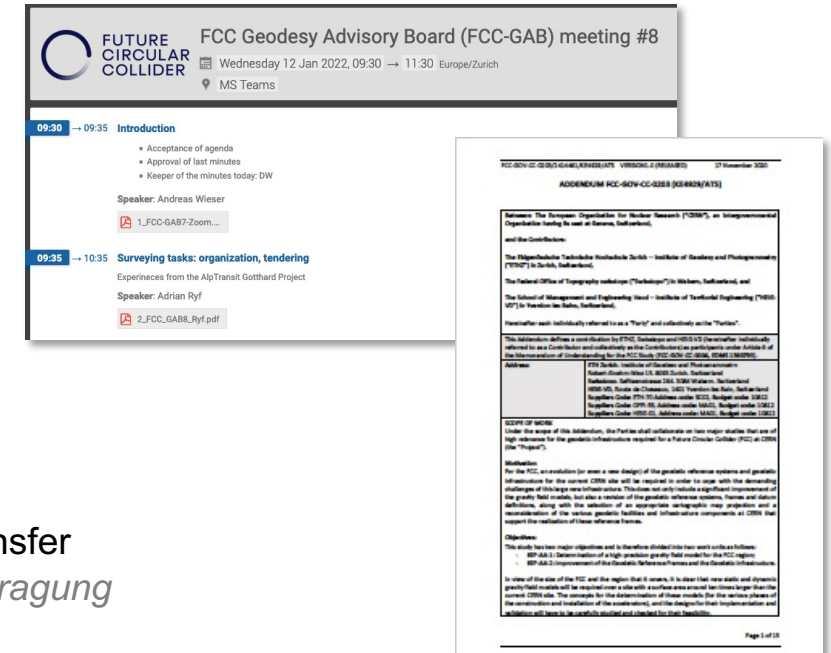


# Required investigations for assuring coordinate references for FCC

## Nötige Untersuchungen zur Gewährleistung der Koordinatenreferenz für den FCC

- Coordinate Reference Systems and Frames  
*Koordinaten Referenzsysteme und -rahmen*
- Gravity field modeling (see next presentation, Prof. M. Rothacher)  
*Schwerefeldmodellierung (nächste Präsentation, Prof. M. Rothacher)*
- Materialization and determination of geodetic surface reference network  
*Vermarkung und koordinative Bestimmung des geodätischen Oberflächennetzes*
- Concept and realization of geomonitoring across the entire LHC/FCC area  
*Konzept und Realisierung des Geomonitorings über den gesamten LHC/FCC Bereich*
- Assessment of development needs and potential for new technologies for azimuth transfer  
*Abschätzung Entwicklungsbedarf und -potential für neue Technologie zur Azimutübertragung*
- Concept for testing and calibration of all instruments  
*Durchgehendes Konzept für die Instrumententests und –kalibrierungen*
- Concept for repeated or continuous monitoring of the underground geodetic network during the life-cycle of the FCC  
*Monitoringkonzept für das geodätische Untertagenetzwerk und die gesamte Lebensdauer des FCC*
- ...
- ...

### FCC Geodesy Advisory Board



FCC-Geodesy Study

**Prof. Dr. Andreas Wieser**

**Dr. Matej Varga**

Institute of Geodesy and Photogrammetry

Geosensors and Engineering Geodesy

Stefano-Franscini Platz 5

8093 Zürich

[www.gseg.igp.ethz.ch](http://www.gseg.igp.ethz.ch)

Questions: [www.sli.do](http://www.sli.do) #918332

