

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

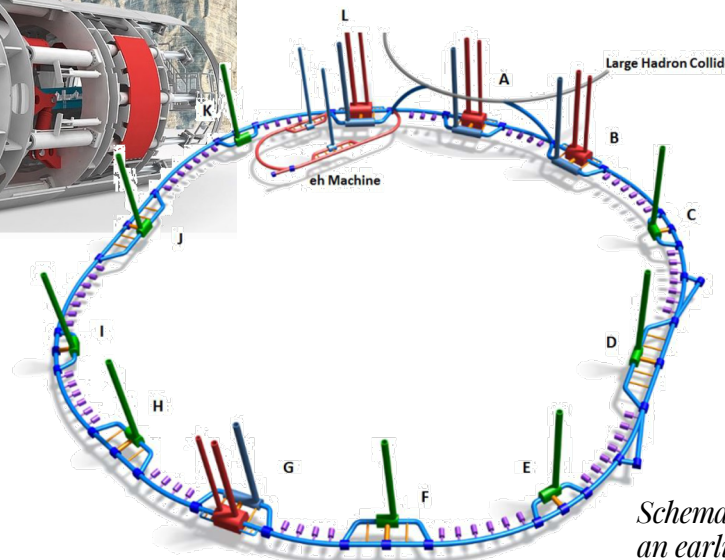
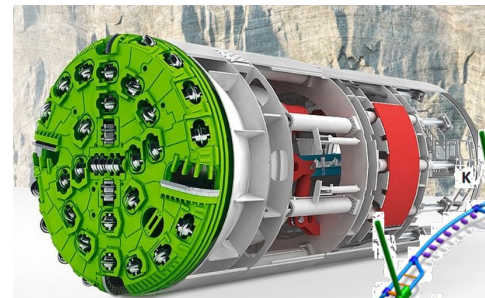
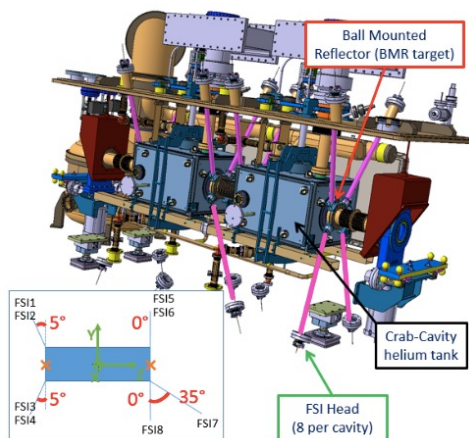
Bedarf an Koordinaten Referenz für den FCC

- 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>

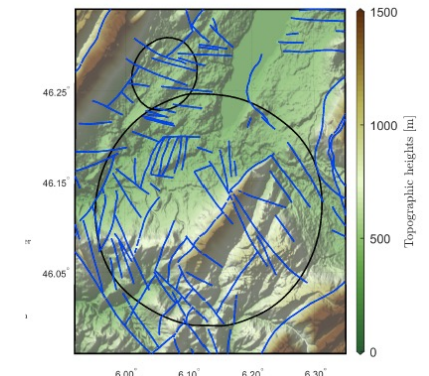
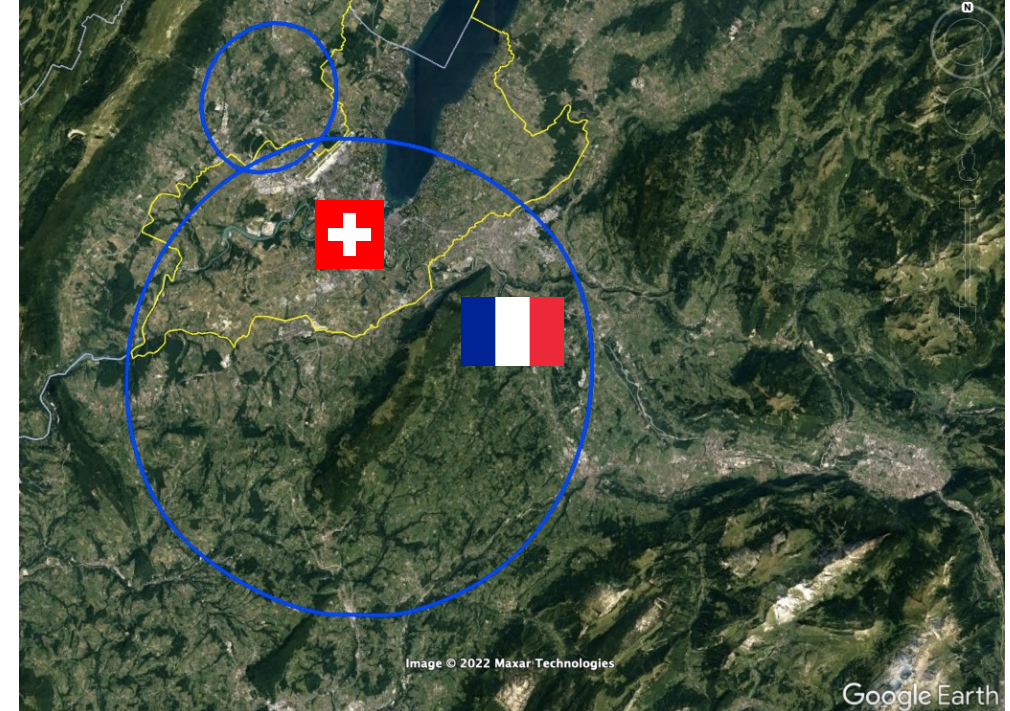
What is the challenge?

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

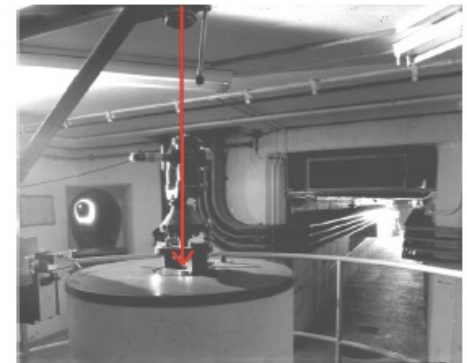


Existing CRS at CERN

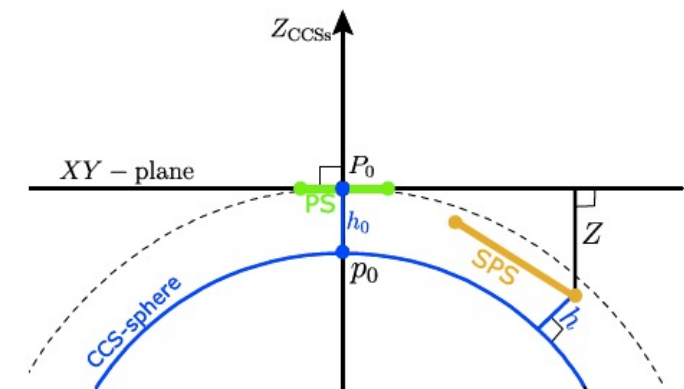
Von CERN verwendete Koordinaten-Referenzen

- 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



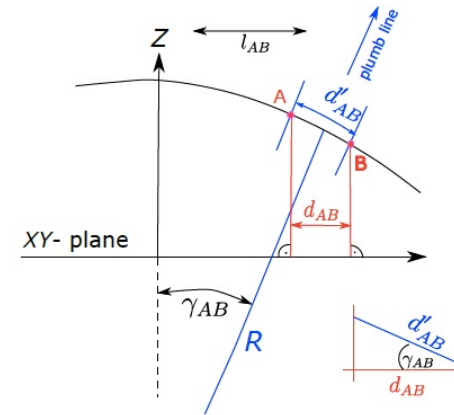
- Core: local Cartesian coordinate systems with fundamental point in pillar P0 underground
Kern: locale Kartesische Koordinatensysteme mit Fundamentalpunkt in unterirdischem Pfeiler
- Horizontal coordinates: orthogonal projection onto (tangential) XY-plane (non-conformal)
Lagekoordinaten: orthogonale 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



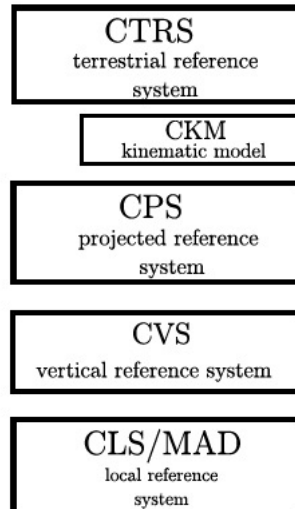
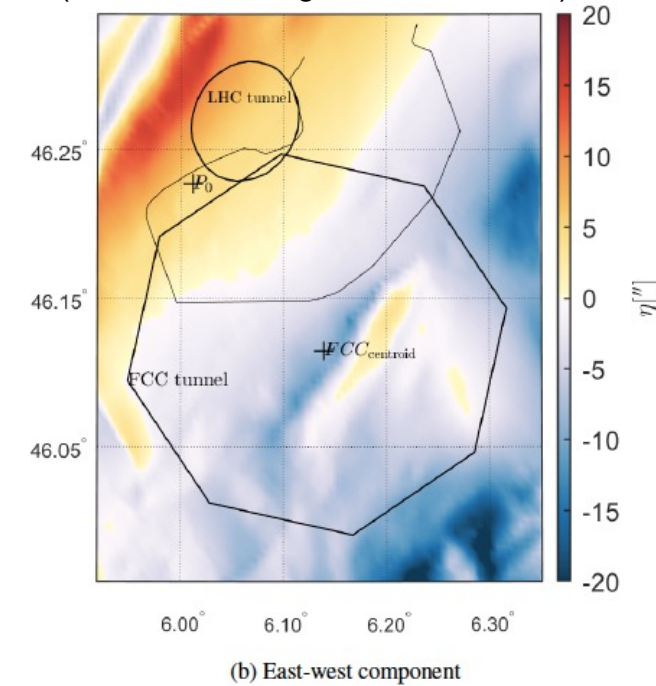
Proposed CRS for FCC

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)

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

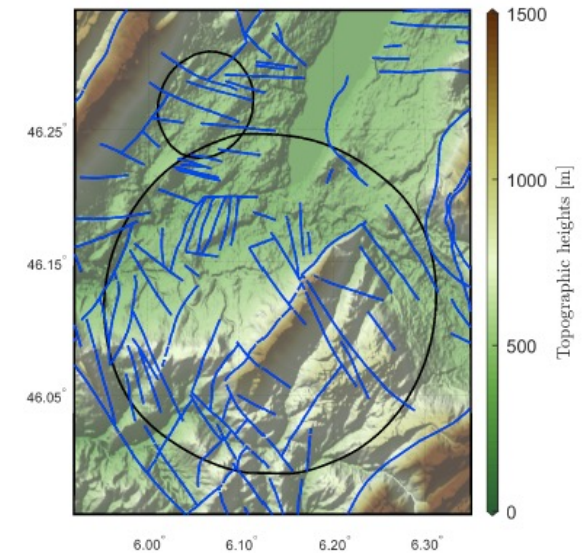
$$m_{\text{CPS}}^{\text{intunnel}} = m_{\text{proj}} + m_{\text{hgt}} + m_{\text{cnv}} \approx 0,$$

Need for geomonitoring

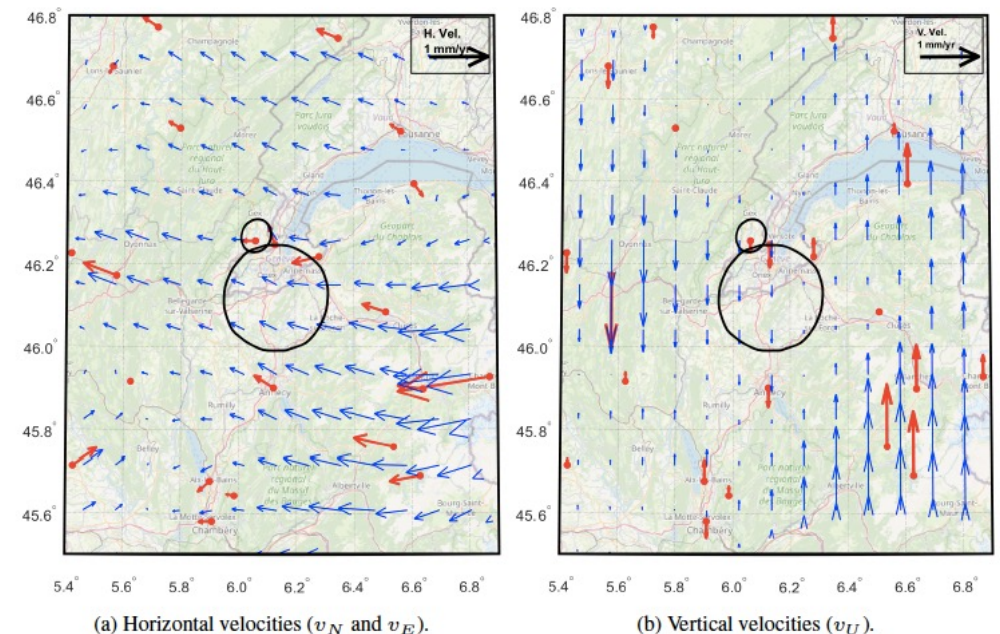
Bedarf an Überwachungsmessungen

- 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

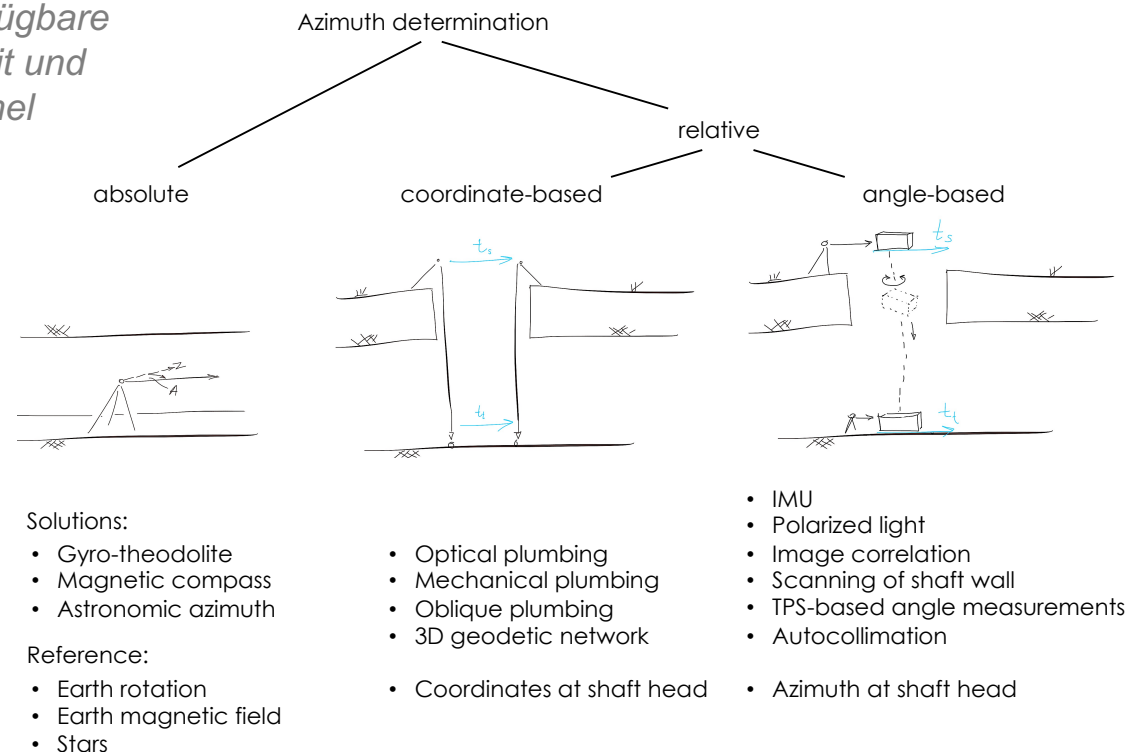
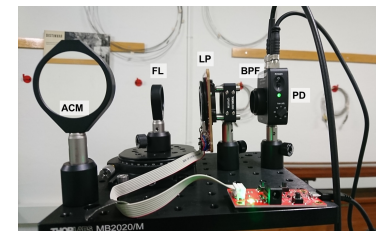
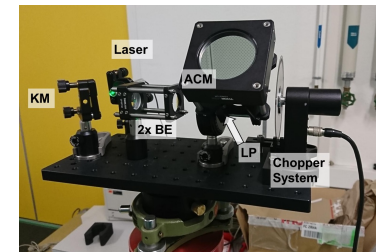


Image source: <https://www.dmt-group.com/de/produkte/geomesssysteme/gyromat.html>

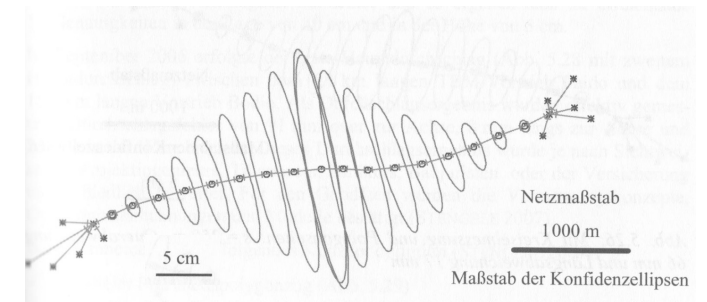
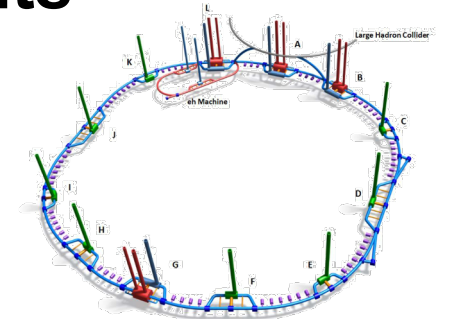


Source: MSc thesis, I. Bai, ETH Zürich (2022)

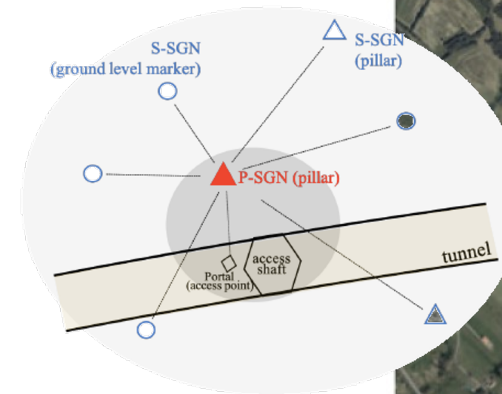
Needs for testing and calibrating the surveying instruments

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

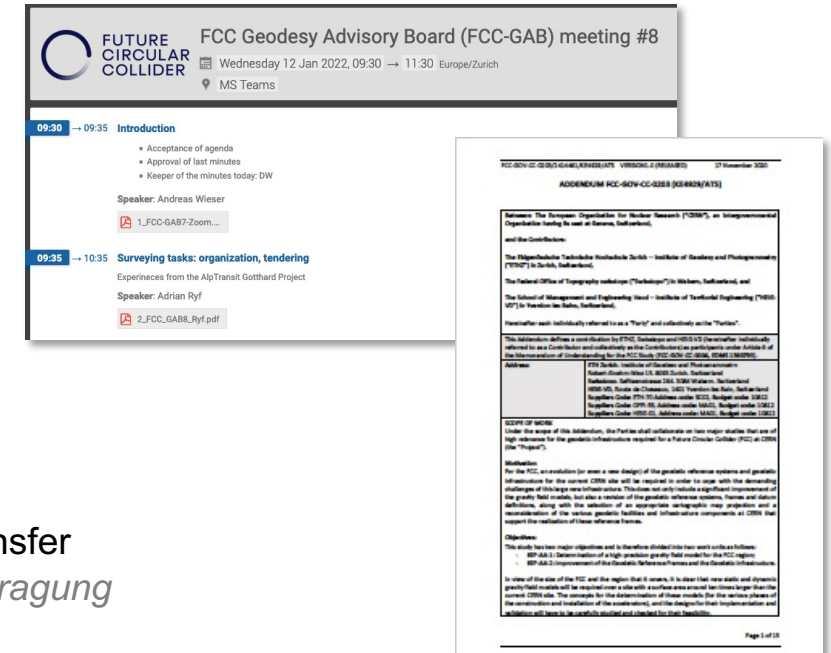


Required investigations for assuring coordinate references for FCC

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

Questions: www.sli.do #918332

