

Zeitschrift: Cadastre : Fachzeitschrift für das schweizerische Katasterwesen

Herausgeber: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Band: - (2021)

Heft: 35

Artikel: Kampagne 2020 zur Bestimmung der Lotabweichungen in der Schweiz

Autor: Willi, Daniel / Carrel, Jérôme / Marti, Urs

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905757>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kampagne 2020 zur Bestimmung der Lotabweichungen in der Schweiz

Lotabweichungen sind ein effizientes Mittel um die Geoidmodellierung zu unterstützen. Neuerdings steht dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo die Zenitkamera «CODIAC» zur Verfügung. Diese wurde vollständig am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich entwickelt. Im Rahmen der Messkampagne 2020 wurde das einzigartige Instrument erstmals produktiv und erfolgreich auf 27 in der ganzen Schweiz verteilten Punkten eingesetzt.

Lotabweichungsmessungen haben in der Schweiz eine lange Tradition. Lotabweichungen wurden bereits 1890 bei der Berechnung des Schweizerischen Dreiecknetzes berücksichtigt, nachdem ohne Korrektur zu grosse Schlussfehler festgestellt wurden.¹ Im Verlaufe des 20. Jahrhunderts wurden etliche Kampagnen in der Schweiz durchgeführt, sowohl für die Zwecke der Landesvermessung wie auch für wissenschaftliche Untersuchungen.² Bis vor einigen Jahrzehnten lag der hauptsächliche Nutzen der Lotabweichungen in der Korrektur von terrestrischen Messungen mit dem Theodolit. Eine nicht berücksichtigte Lotabweichung wirkt wie ein Stehachsfehler und kann im Gebirge oder bei Netzen mit einer grossen räumlichen Ausdehnung zu grossen Fehlern führen. Seit dem Einzug von globalen Navigations-Satelliten-Systemen (GNSS) in der Vermessung hat die Bedeutung des Geoids als Referenzfläche zugenommen, weswegen Lotabweichungsmessungen wiederum von grossem Interesse sind.

Ein kleiner Exkurs in die Höhenbestimmung

Die meisten Anwendungen erfordern sogenannte physikalische Höhen, zum Beispiel der Strassen- und Eisenbahnbau oder die Erfassung von Gewässern. Physikalische Höhen haben im Gegensatz zu geometrischen Höhen die Eigenschaft, dass sie die Fließrichtung von Wasser abbilden. Ein Beispiel für physikalische Höhen sind die orthometrischen Höhen. Die Höhenbestimmung mit einem GNSS-Instrument ergibt hingegen reine geometrischen Höhen, die ellipsoidische Höhe. Die orthometrischen Höhen H_{ortho} und die ellipsoidischen Höhen h_{ell} sind folgendermassen miteinander verknüpft:

$$h_{ell} = H_{ortho} + N$$

wobei N die Geoidundulation ist. In der Schweiz und gegenüber dem Bessel-Ellipsoid beträgt N zwischen -3 m und +3 m. Die amtlichen Schweizer Höhen, die Geobrauchshöhen LN02, werden danach aus den orthometrischen Höhen abgeleitet. Die Konsistenz der Höhenbe-

stimmung in der Schweiz wird also auch durch ein genaues Geoidmodell sichergestellt. Ohne ein genaues Geoidmodell ist die Höhenbestimmung mittels GNSS nicht möglich.

Nutzen der Lotabweichungen

In diesem Kontext sind die Lotabweichungen von Nutzen, weil sie eine sehr direkte und unabhängige Bestimmung des Geoids ermöglichen. Das Geoid ist die Äquipotentialfläche des Erdschwerefelds, die auf Meereshöhe liegt. Eine Äquipotentialfläche ist eine Fläche, auf der alle Punkte dasselbe Schwerkraftpotential aufweisen. Die Lotabweichung ist der Winkel zwischen dem lokalen Lotvektor und dem Normalvektor des Ellipsoids (Abb.1). Um die Lotabweichung zu bestimmen, wird die Zenitkamera nachts auf einem bekannten Punkt aufgestellt. Das nach oben gerichtete Objektiv und der digitale Fotosensor fotografieren den Sternenhimmel. Die Zenitkamera ist mit Präzisions-Inklinometern (Neigungsmessern) ausgerüstet, die den Bezug zum Lot herstellen. Aus der kombinierten Auswertung der astronomischen Beobachtungen (Fotos des Nachthimmels) und der Inklinometermessungen ergibt sich der lokale Lotvektor. Der Normalvektor des Ellipsoids wird aus der GNSS-Position des Punktes bestimmt.

ξ ist die Nord-Süd-Komponente der Lotabweichung, η ist die Ost-West-Komponente. Sie sind wie folgt definiert:

$$\xi = \phi - \varphi$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \phi$$

ϕ und Λ sind die astronomische Breite und Länge, die mit der Zenitkamera bestimmt werden, φ und λ sind die geodätische Breite und Länge, die sich mit GNSS bestimmen lassen.

Um in die Geoidberechnung einzufliessen, müssen die beobachteten Lotabweichungen auf Meereshöhe reduziert werden. Die reduzierten Lotabweichungen entsprechen, bis auf die Messungenauigkeiten, der Neigung des Geoids. Das Geoidmodell kann somit aus der Integration der Lotabweichungen bestimmt werden. Für das offizielle Geoidmodell der Schweiz wurden neben den Lotabweichungen noch weitere Daten integriert, insbe-

¹ Wolf R. (1890) Astronomische Beobachtungen im Tessiner Basisnetz, auf Gärbris und Simplon; definitive Dreiecksseitenlängen; geographische Koordinaten. Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich

² Marti U. (1997) Geoid der Schweiz 1997. Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich, S. 21

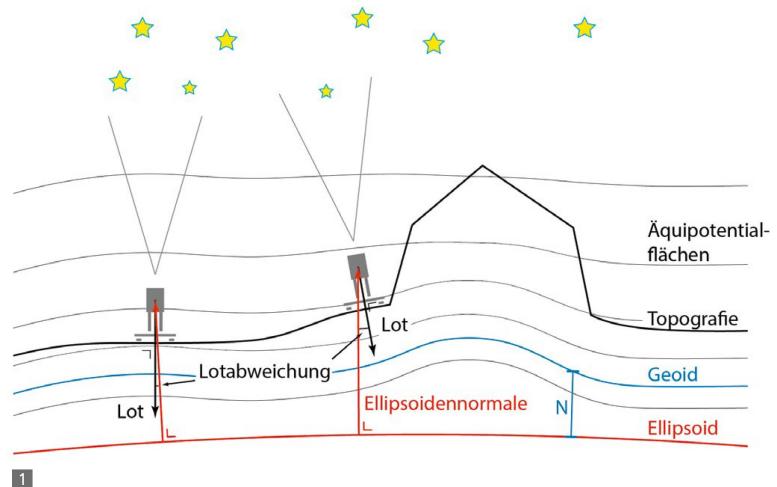
sondere GNSS-Nivellement-Daten und Schweremesungen.³ Die Lotabweichungen leisten aufgrund ihrer Präzision und ihrer Eigenschaften einen wichtigen Beitrag zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Schweizerischen Geoidmodells.

Die Zenitkamera «CODIAC»

Wurde früher noch mit Theodoliten und später mit analogen Digitalkameras gemessen, steht dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo heute ein hochautomatisiertes und hochgenaues Instrument zur Verfügung. Die Zenitkamera «CODIAC» (**C**ompact **D**igital **A**strometric **C**amera, Abb. 2) wurde vollständig am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich entwickelt. Es wurden nur zwei Exemplare gebaut. Beide befinden sich momentan bei swisstopo.

Das Objektiv ist durch Invarstäbe mit der Drehplatte verbunden, auf der die vier Inclinometer befestigt sind. Jedes Inclinometerpaar liefert eine unabhängige Lösung. Dadurch, dass zwei verschiedene Inclinometertypen mit unterschiedlichen Eigenschaften verwendet werden (Typ «Lippmann» und Typ «Wyler»), wird die Lösung verbessert. Die Drehplatte ist motorisiert und misst automatisch in zwei Lagen (0° und 180°), um systematische Fehler zu beseitigen. Die Kamera wird durch Servomotoren automatisch horizontiert. Um verbleibende, systematische Fehler zu eliminieren, wird eine sogenannte azimutale Kalibration durchgeführt.⁴ Dabei wird der gesamte Aufbau wiederum auf eine drehbare Basisplatte montiert. Jede Station wird vier Mal gemessen, in vier verschiedenen Azimuten (0° , 90° , 180° , 270°). Nach dieser Prozedur wird eine Genauigkeit von ca. 0.04 Bogensekunden erreicht.⁵ Das entspricht einer Neigung von 0.2 mm auf einem Kilometer Distanz. Angesteuert wird die Kamera durch ein kleines Tablet und einen gewöhnlichen Windows-Rechner (Abb. 3). Je nach Anfahrtsweg kann pro Stunde ein Punkt vollständig bestimmt werden.

Die Auswertung der astronomischen Aufnahmen geschieht mit der Software AURIGA (Automatic Realtime Image Processing System for Geodetic Astronomy) des Instituts für Erdmessung der Leibniz Universität



- Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Geoid und Lotabweichungen
- Abbildung 2: Die Zenitkamera «CODIAC» mit ihren Bestandteilen
- Abbildung 3: «CODIAC» im Einsatz auf einem Punkt

Hannover⁶ und MATLAB-Skripten⁷. Die Datenaufbereitung sowie diverse Preprocessing- und Postprocessing-Schritte wurden durch swisstopo automatisiert, so dass die Beobachtungen in wenigen Klicks ausgewertet werden können.

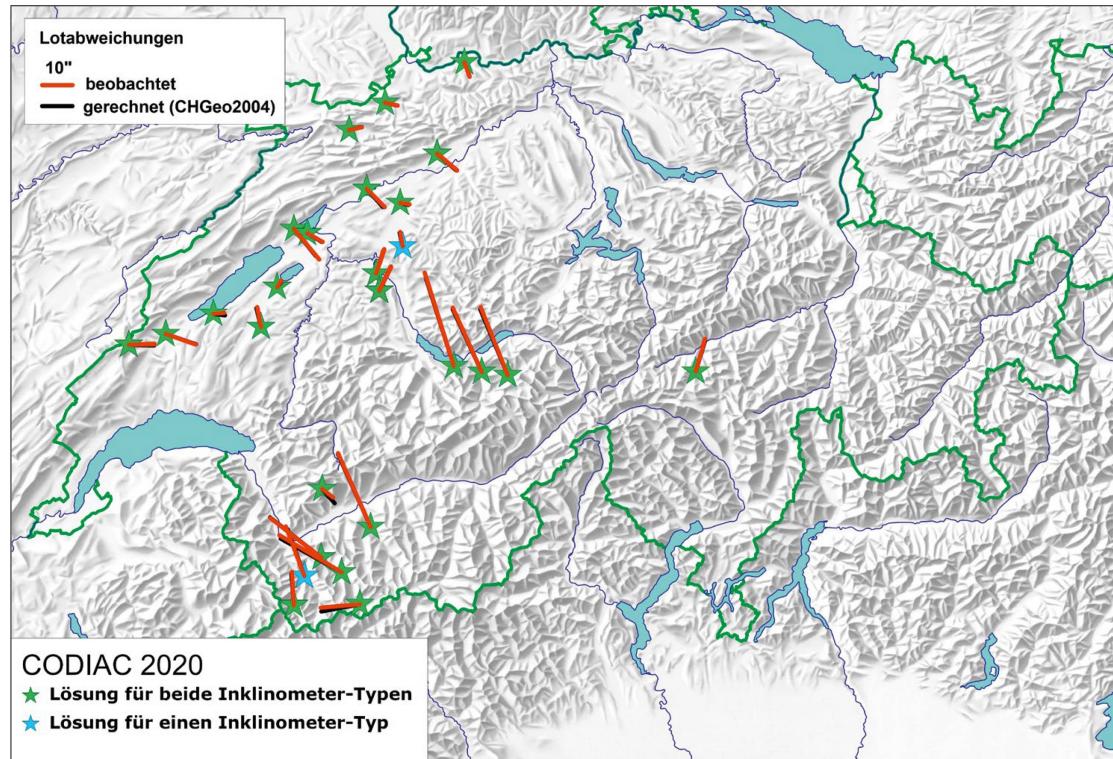
Kampagne 2020 und Resultate

Die produktiven Lotabweichungsmessungen fanden zwischen dem 5. Juni und dem 4. August 2020 statt, hauptsächlich in der Westschweiz. Die Messungen wurden so angesetzt, dass die bestehenden Messungen bestmöglich ergänzt werden. Da es sich um die ersten Erfahrungen mit der neuen Kamera «CODIAC» handelte, wurden Punkte mit kurzen Anfahrtswegen priorisiert. Daneben wurden mehrere Testmessungen in Zimmer-

wald und in Wabern durchgeführt (vgl. Abb. 4 und Tab. 1). Abbildung 5 (S.16) zeigt die Unterschiede zwischen dem Modell und den Beobachtungen. Diese Unterschiede sind einerseits mit Systematik behaftet, andererseits räumlich stark korreliert. Die Ursache hierfür sind lokale systematische Schwächen des Geoidmodells CHGeo2004.

Die Wiederholungsmessungen auf den Stationen Wabern und Zimmerwald (Tab.1) vermitteln einen ersten Eindruck der Wiederholbarkeit. Die Werte liegen mehrheitlich im erwarteten Bereich von 0.05 Bogensekunden. Die erreichbare Genauigkeit wird einerseits durch die Refraktion limitiert⁸, andererseits durch instrumentelle Fehler⁹.

Abbildung 4:
Im Rahmen der Kampagne 2020 gemessene Lotabweichungen (rot) und die aus dem Geoidmodell gerechnete Lotabweichungen (schwarz) zum Vergleich



⁶ Hirt C. (2004) Entwicklung und Erprobung eines digitalen Zenitkamerasystems für die hochpräzise Lotabweichungsbestimmung. Dissertation. Technische Universität München

⁷ Guillaume S. (2020) Auswerteskripte für CODIAC-Beobachtungen (in MATLAB). Persönliche Kommunikation, 3. September 2019

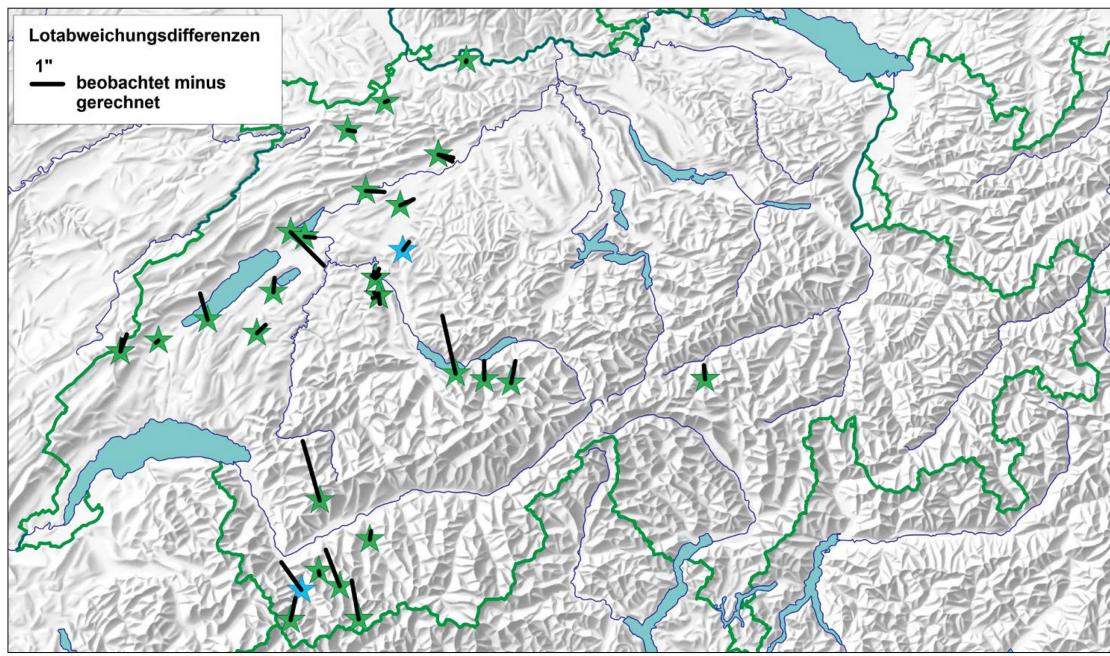
⁸ Hirt C. (2006) Monitoring and analysis of anomalous refraction using a digital zenith camera system. *Astronomy & Astrophysics*, 459, 283-290. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065485>

⁹ Somieski AE. (2008). Astrogéodetic geoid and isostatic considerations in the North Aegean Sea, Greece. Dissertation. ETH Zürich. doi: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005710420>

Tabelle 1: Gemessene Lotabweichungen (ξ_{obs} , η_{obs}), deren formale Fehler (σ_ξ , σ_η), aus dem Geoidmodell CHGeo2004 gerechnete Lotabweichungen (ξ_{Modell} , η_{Modell}) sowie die Differenzen zwischen den Beobachtungen und dem Modell ($\Delta\xi$, $\Delta\eta$). Alle Werte sind in Bogensekunden angegeben.

Station	ξ_{obs}	σ_ξ	η_{obs}	σ_η	ξ_{Modell}	η_{Modell}	$\Delta\xi$	$\Delta\eta$
Wabern	7.87	0.02	2.73	0.02	7.76	2.60	0.11	0.13
Wabern	7.84	0.03	2.48	0.02	7.76	2.60	0.08	-0.12
Wabern	7.96	0.03	2.65	0.02	7.76	2.60	0.20	0.05
Zimmerwald	7.84	0.03	3.70	0.02	7.92	3.89	-0.08	-0.19
Vallorbe	0.09	0.03	8.42	0.03	-0.30	8.37	0.39	0.05
Vallorbe	0.25	0.03	8.58	0.02	-0.30	8.37	0.55	0.21
Orbe	-3.52	0.03	10.02	0.02	-3.45	10.10	-0.07	-0.08
Yvonand	0.33	0.03	3.59	0.02	-0.52	3.83	0.85	-0.24
Avenches	2.16	0.03	1.39	0.02	1.70	1.35	0.46	0.04
Middes	6.53	0.02	-1.29	0.02	6.26	-1.57	0.27	0.28
Wabern	8.06	0.02	2.71	0.01	7.76	2.60	0.30	0.11
Sogn Gions	10.81	0.03	3.09	0.02	10.36	3.13	0.45	-0.04
La Neuveville	-10.18	0.03	8.44	0.02	-9.10	7.36	-1.08	1.08
Lüscherz	-2.88	0.03	5.08	0.02	-2.85	4.74	-0.03	0.34
Krauchthal	4.78	0.03	-0.86	0.03	4.51	-1.06	0.27	0.20
Derborence	-2.82	0.05	3.64	0.04	-4.73	4.19	1.91	-0.55
Grenchen	-6.07	0.03	5.98	0.02	-6.04	5.38	-0.03	0.60
Bätterkinden	-0.48	0.03	3.12	0.02	-0.68	2.69	0.20	0.43
Oensingen	-5.65	0.03	6.59	0.02	-5.43	6.14	-0.22	0.45
Oensingen	-5.53	0.03	6.62	0.02	-5.43	6.14	-0.10	0.48
Channion	-1.15	0.02	-13.03	0.02	-2.39	-12.81	1.24	-0.22
Fionnay	12.31	0.03	-20.67	0.02	11.14	-20.22	1.17	-0.45
Le Châble	13.19	0.03	-16.95	0.02	13.32	-16.97	-0.13	0.02
La Fouly	10.96	0.03	-0.62	0.03	10.26	-0.78	0.70	0.16
Orsières	16.36	0.03	-6.12	0.03	15.47	-5.48	0.89	-0.64
Euseigne	24.53	0.02	-10.83	0.02	24.25	-10.87	0.28	0.04
Delémont	0.90	0.03	4.26	0.02	0.94	4.02	-0.04	0.24
Dittingen	-0.94	0.02	4.16	0.01	-0.98	4.05	0.04	0.11
Möhlin	-4.74	0.02	1.77	0.01	-4.68	1.78	-0.06	-0.01
Grindelwald	22.56	0.04	-8.99	0.03	21.86	-9.13	0.70	0.14
Zweilütschinen	21.40	0.03	-9.62	0.02	20.79	-9.61	0.61	-0.01
Meielisalp	30.98	0.03	-9.68	0.02	29.12	-9.25	1.86	-0.43
Zimmerwald	7.66	0.02	3.93	0.02	7.92	3.89	-0.26	0.04
Wabern N	7.89	0.02	2.61	0.01	7.76	2.59	0.13	0.02
Wabern S	7.97	0.02	2.55	0.02	7.76	2.60	0.21	-0.05
Zimmerwald O	7.89	0.03	3.78	0.02	7.79	3.93	0.10	-0.15
Zimmerwald W	7.88	0.02	3.93	0.02	7.79	3.93	0.09	0.00
						Mittel	0.32	0.05
						σ_{Mittel}	0.41	0.22

Abbildung 5:
Unterschiede zwischen
den gemessenen und den
aus dem offiziellen Geoid-
modell gerechneten Lot-
abweichungen



Ausblick

Im Jahr 2021 wird die angestrebte Verdichtung und der Ersatz der ältesten Lotabweichungsmessungen in der Schweiz fortgeführt. Kurzfristig kann damit das bestehende Geoidmodell überprüft werden. Das mittelfristige Ziel ist die Berechnung eines neuen Geoidmodells für die Schweiz. Dadurch wird auch in Zukunft die Konsistenz der Höhenbestimmung mittels GNSS garantiert.

Durch die Verfügbarkeit von zwei Kameras eröffnen sich neue Möglichkeiten für die Validierung und die Untersuchung der limitierenden Faktoren. So sind im Verlaufe des Frühlings 2021 gleichzeitige Testmessungen mit beiden Kameras geplant. Mit der Fundamentalstation in Zimmerwald stehen swisstopo geeignete Testpunkte zur Verfügung.

Ab Frühling 2021 wird die Zenitkamera im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem CERN im Raum Genf eingesetzt. Das Ziel des Projekts ist die Bestimmung eines hochgenauen lokalen Geoids für das neue Partikelbeschleunigerprojekt des CERN¹⁰.

Daniel Willi, Dr. sc. ETH

Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion
swisstopo, Wabern
daniel.willi@swisstopo.ch

Jérôme Carrel, dipl. Ing. FH

Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion
swisstopo, Wabern
jerome.carrel@swisstopo.ch

Urs Marti, Dr. sc. techn. ETH

Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion
swisstopo, Wabern
urs.marti@swisstopo.ch

¹⁰ CERN (2021) FCC-Projekt-Webpage, www.home.cern → science → accelerators → future accelerators → Future Circular Collider