



Accelerating Science

CERN und die Teilchenbeschleuniger



Accelerating Science

29. November 2024

Dr. Alexander Huschauer, Dr. Michael Benedikt, CERN

Auf der Suche nach Antworten auf grundlegende Fragen

**Warum besteht das
Universum aus Materie
und kaum aus
Antimaterie?**

**Warum ist die Gravitation
so viel schwächer als die
anderen fundamentalen
Wechselwirkungen?**

**Gibt es nur ein Higgs
Boson und verhält es sich
wie theoretisch
vorhergesagt?**

**Woraus besteht unser
Universum? 80% der
Materie im Universum ist
unbekannt (Dark Matter).**

**Die Werkzeuge der Teilchenphysiker:
Teilchenbeschleuniger und -detektoren**

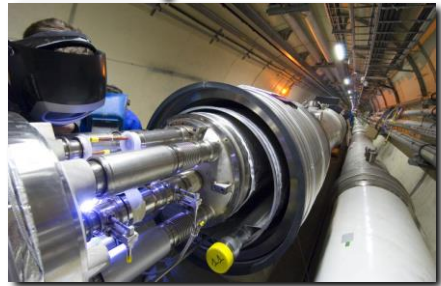
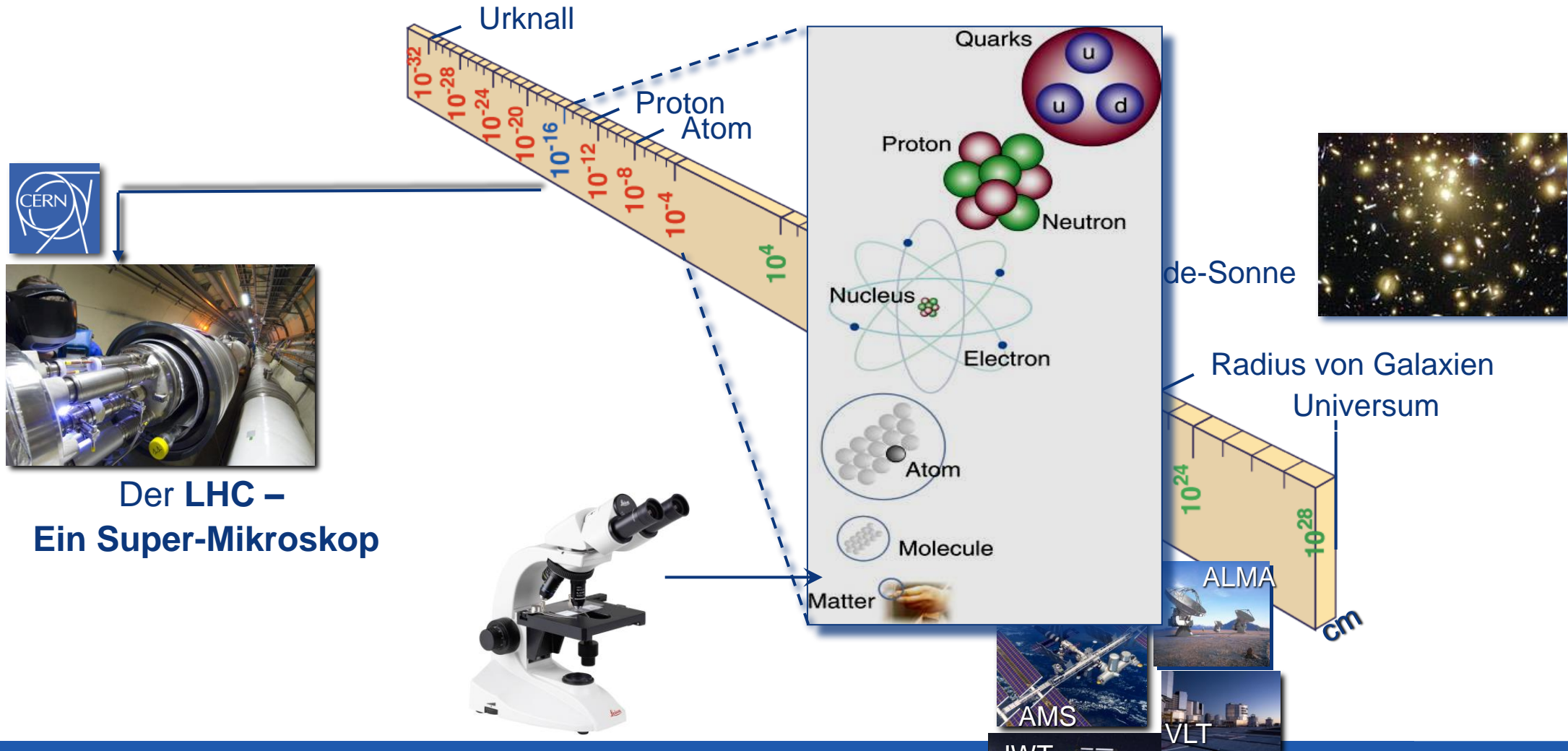
Inhalt

- **Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik**
- **Die CERN Beschleunigerkette – von der Ionenquelle zum LHC**
- **Die Zukunft der Beschleuniger am CERN**

Inhalt

- **Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik**
- Die CERN Beschleunigerkette – von der Ionenquelle zum LHC
- Die Zukunft der Beschleuniger am CERN

Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik

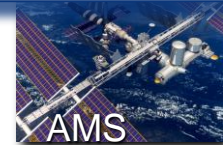


Der LHC – Ein Super-Mikroskop

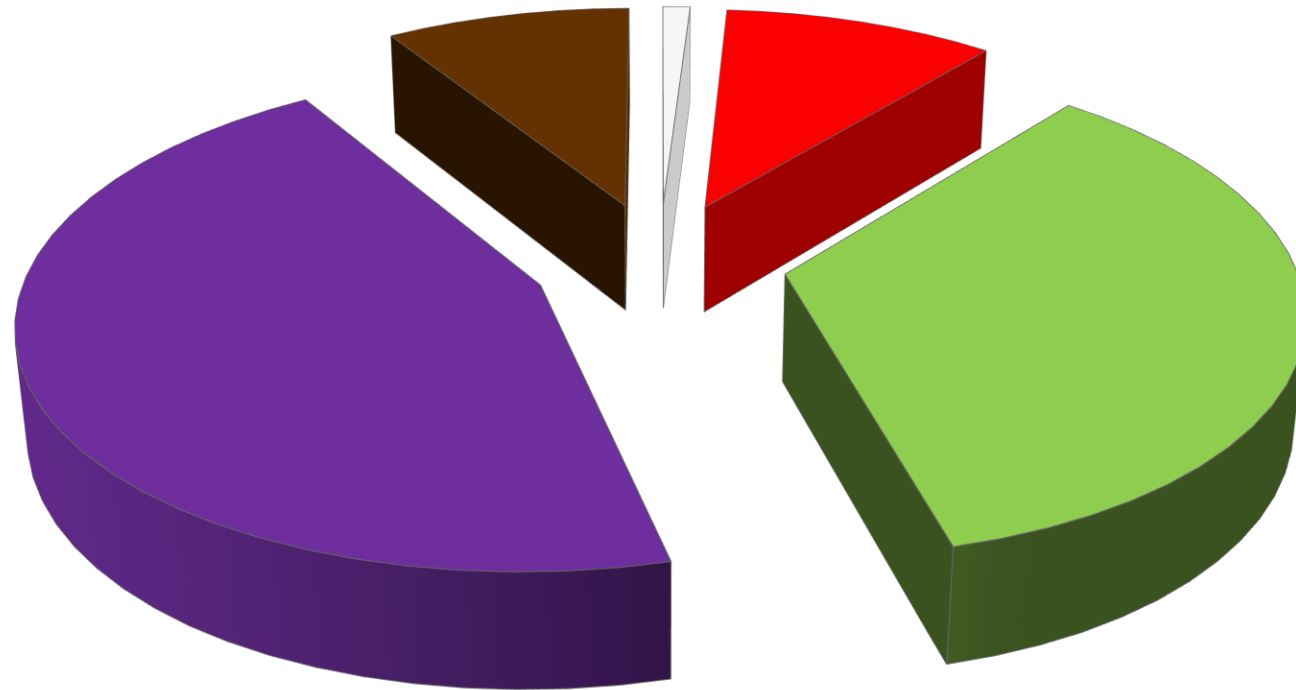


de-Sonne

Radius von Galaxien
Universum



Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik



- Grundlagenforschung Physik
- Forschung Biologie und Chemie
- Gesundheitswesen
- Oberflächen- und Materialbehandlungen
- Andere industrielle Anwendung

Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik

• Erzeugung hoher Energiedichte (auf kleinstem Raum)

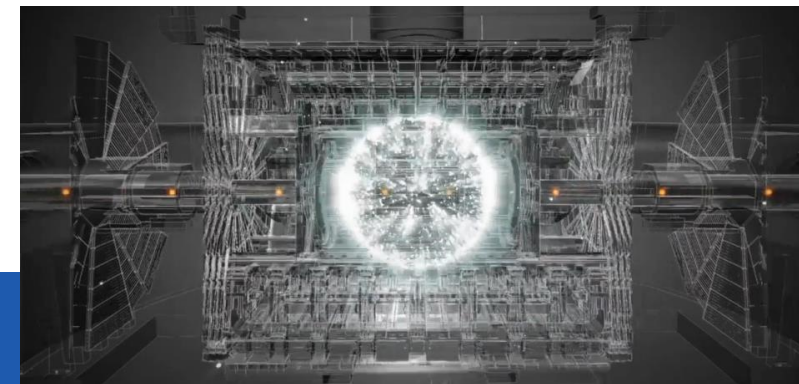
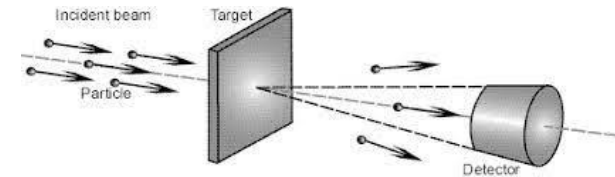
- Erzeugung von Teilchen nach Masse – Energie Äquivalenz: $E = m \cdot c^2$
- „Urknallsimulation“ -> gleiche Bedingungen, gleiche Teilchen.

• Verwendung von Teilchen als Sonden

- Teilchen-Welle Dualismus: $E = h\nu$, $\lambda\nu = c$, $\lambda \propto 1/E$.
- Benötigt ebenfalls höchste Teilchenenergien.

• Prinzip – warum Teilchenbeschleuniger

- Teilchenbeschleuniger erteilt Teilchen (hohe) kinetische Energie.
- Teilchen auf **ruhendes Ziel** geschossen: **“fixed target” Methode**
- Teilchen mit **gegenlaufenden Teilchen** kollidiert: **“collider” Methode**
- Beobachtung mit Detektoren um oder hinter dem Kollisionpunkt.

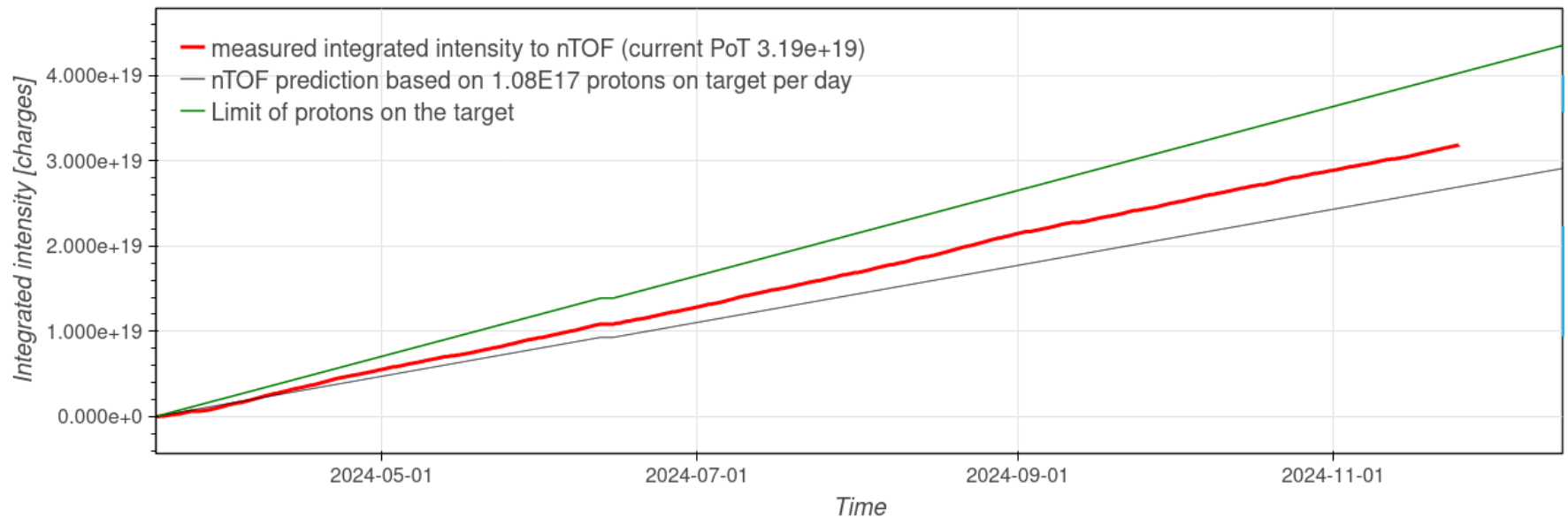
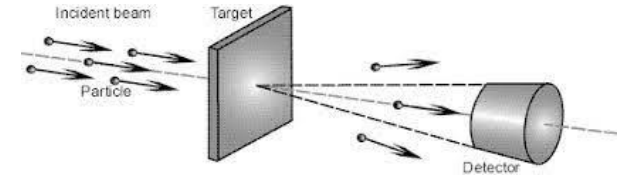


Leistungsfähigkeit von Teilchenbeschleunigern

- Spezifische Kennzahlen zur Quantifizierung der Performance für

- **Fixed Target Experimente**

- Protons on Target (**PoT**)
 - Beispiel: n_TOF Experiment am Proton Synchrotron (PS)



Leistungsfähigkeit von Teilchenbeschleunigern

- Spezifische Kennzahlen zur Quantifizierung der Performance für

- Collider Experimente

- Anzahl der Kollisionen

Wirkungsquerschnitt

$$n_c = \mathcal{L}_{\text{int}} \times \sigma_p$$

integrierte Luminosität

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = \int_0^T \mathcal{L} dt$$

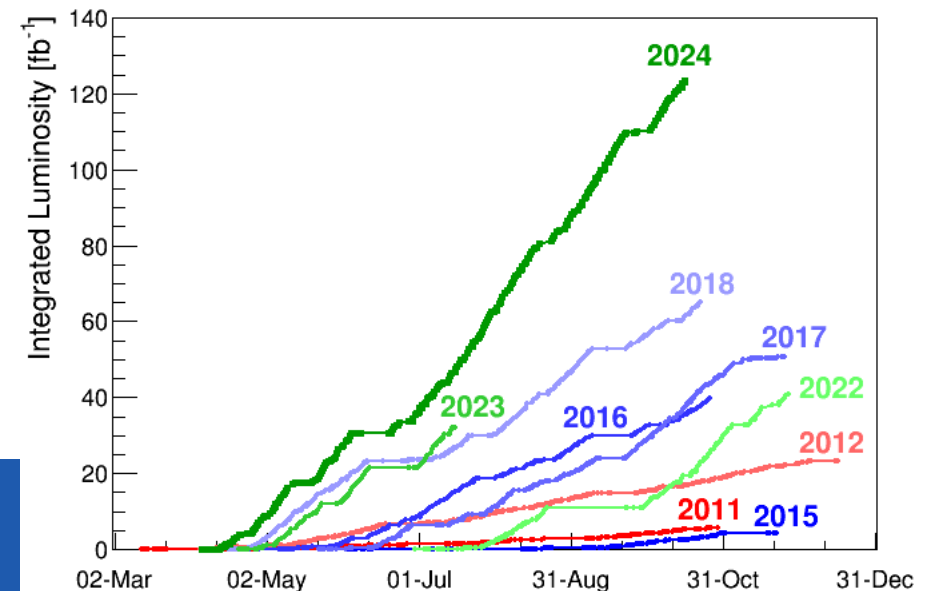
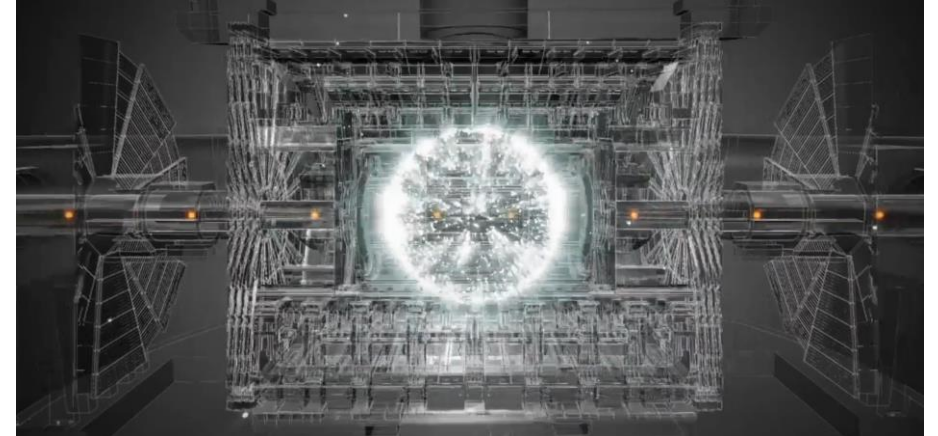
$$\mathcal{L} = \frac{N_1 N_2 n_b f_{\text{rev}}}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$

N_1, N_2 ... Anzahl der Teilchen pro Paket/Bunch ($\approx 1.6 \times 10^{11}$ p)

n_b ... Anzahl der Pakete (max. 2808)

f_{rev} ... Umlauffrequenz (≈ 11000 Hz)

σ_x, σ_y ... horizontale und vertikale Strahlgrösse ($\approx 10 \mu\text{m}$)



2 Haupttypen von Teilchenbeschleunigern

- **Linearbeschleuniger (Linear Accelerator – LINAC)**

- Teilchen von Hochfrequenz-/RF Kavitäten (und somit durch elektrische Felder) beschleunigt
 - **Aber nur einmal!**



- **Kreisbeschleuniger (Synchrotron oder Zyklotron)**

- Teilchen laufen im Kreis und passieren Kavitäten mehrmals
 - Hunderte Millionen Male im LHC
 - Magnetische Felder benötigt um Teilchen auf Kreisbahn zu halten



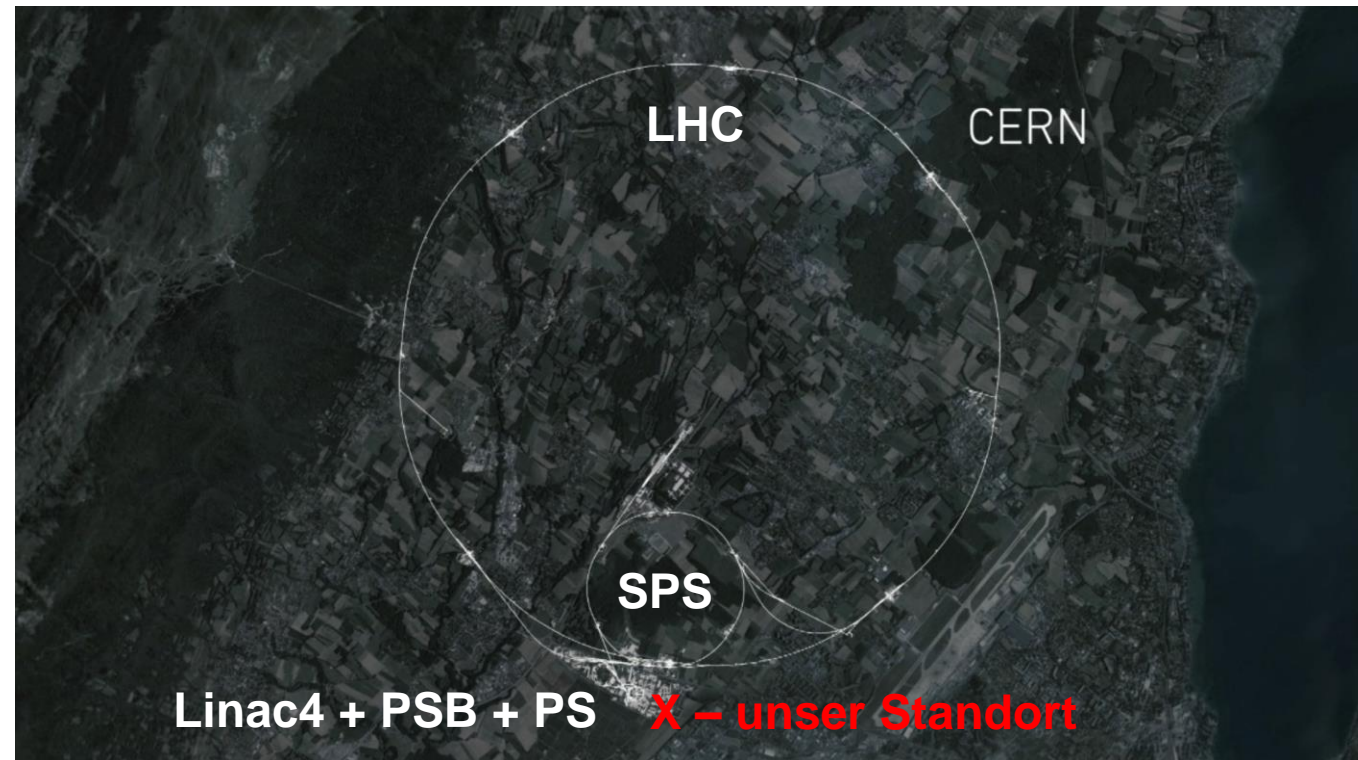
Inhalt

- Teilchenbeschleuniger für Hochenergiephysik
- **Die CERN Beschleunigerkette – von der Ionenquelle zum LHC**
- Die Zukunft der Beschleuniger am CERN

Die CERN Beschleunigerkette

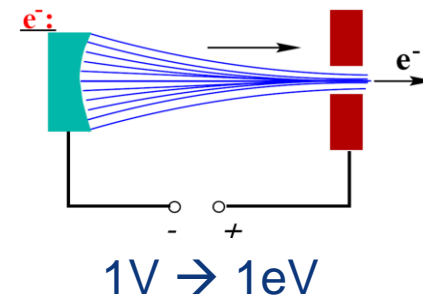
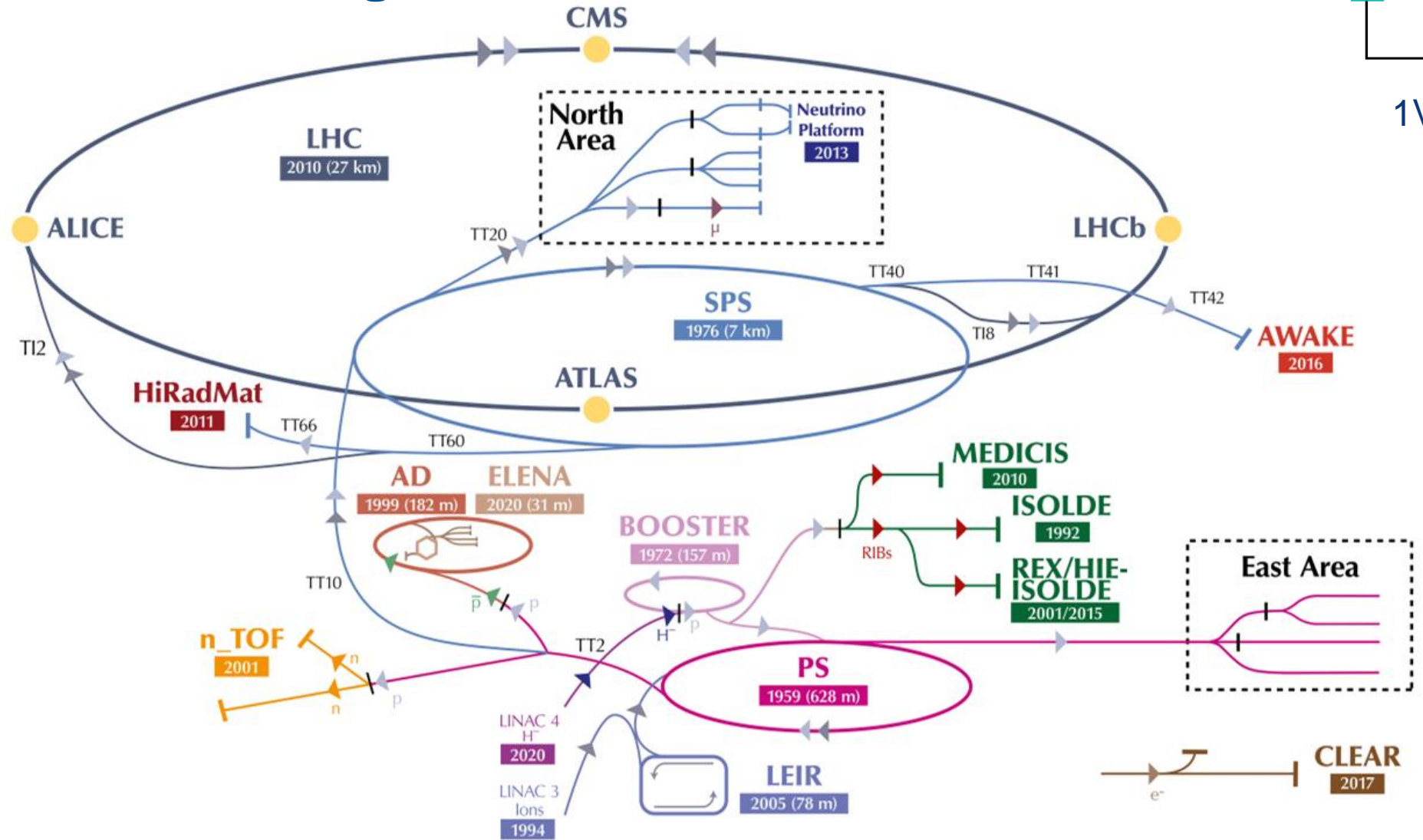
- Funktionsprinzip ähnlich der Gangschaltung beim Auto...

- Je “schneller” (je mehr Energie/Impuls) - desto höher der Gang (größer der Beschleuniger)
- Limitierter dynam. Arbeitsbereich: Stromversorgungen, Magnete, RF ($\beta < 1$)
- Typischerweise Erhöhung der Energie um 1 Größenordnung pro Stufe.



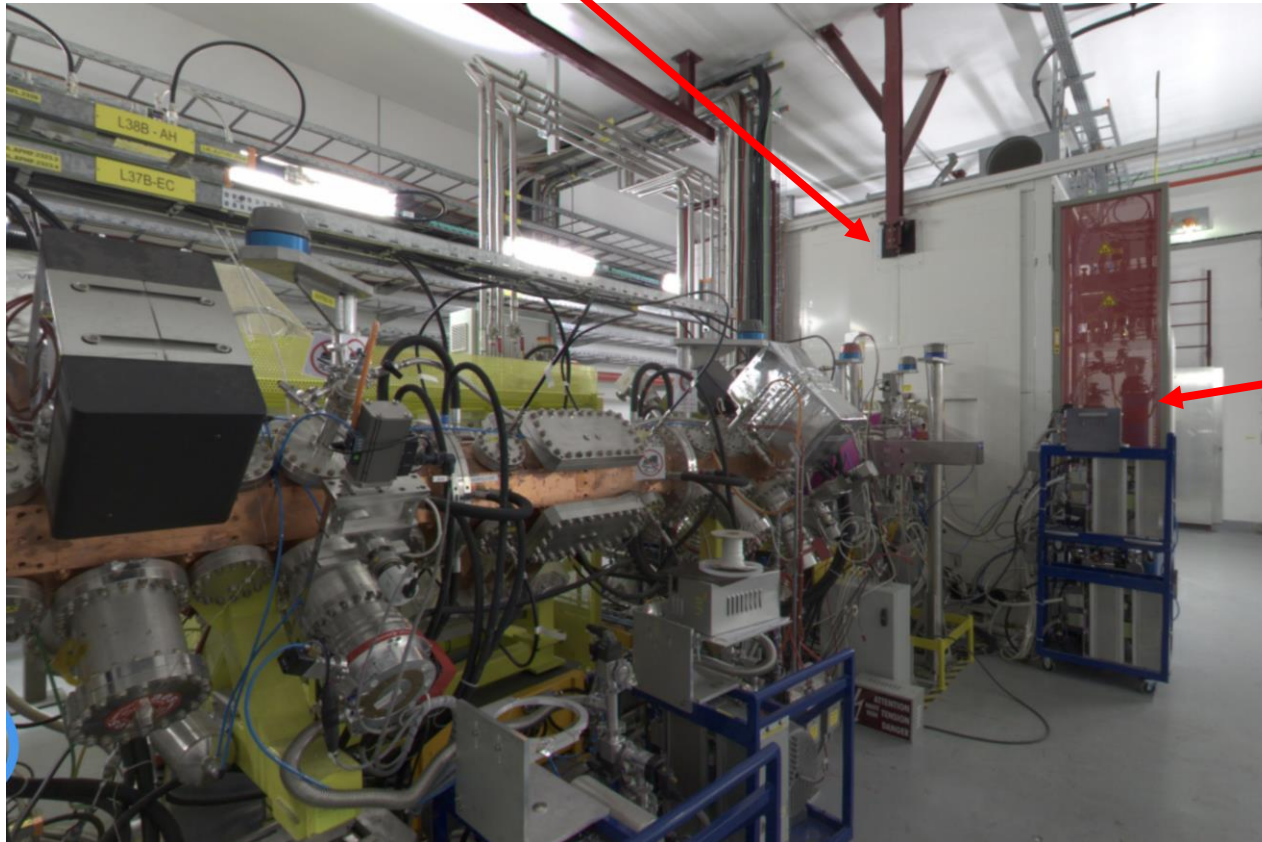


Die CERN Beschleunigerkette

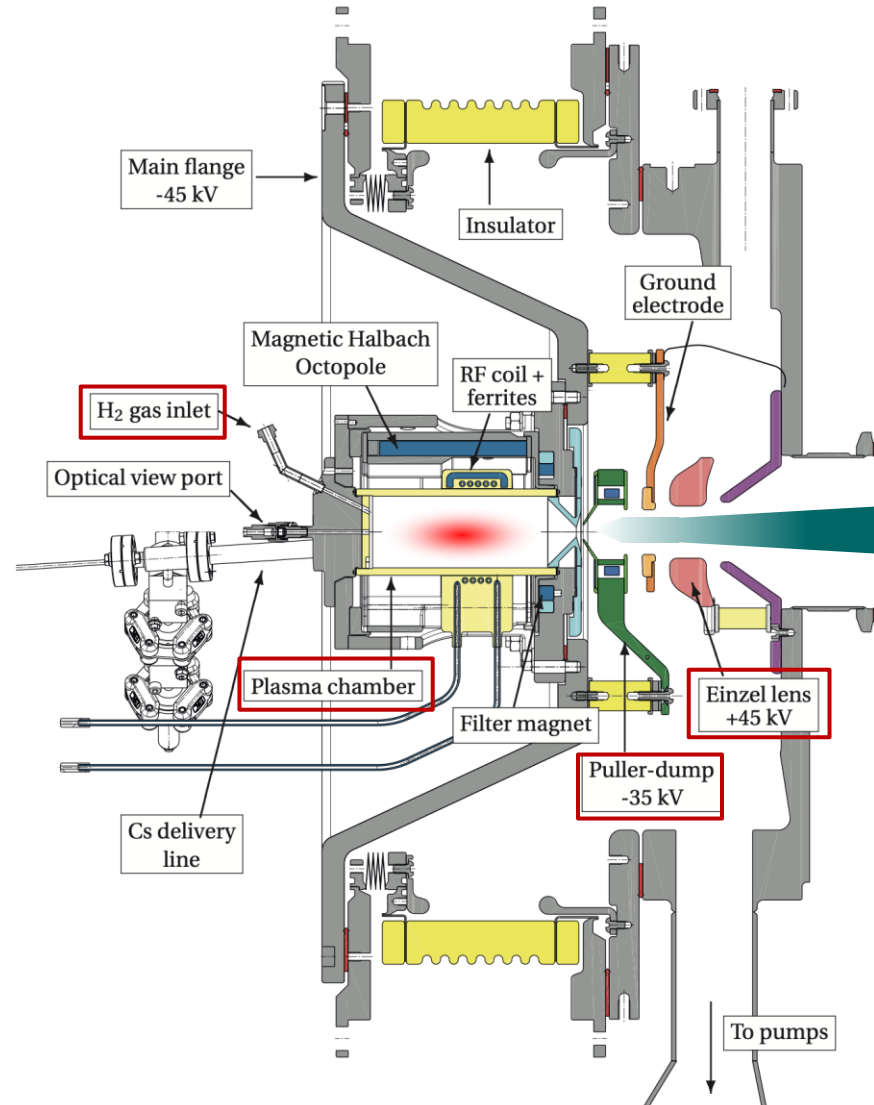


Startpunkt...

- 45 kV Hochspannungsplattform im Faraday-Käfig.

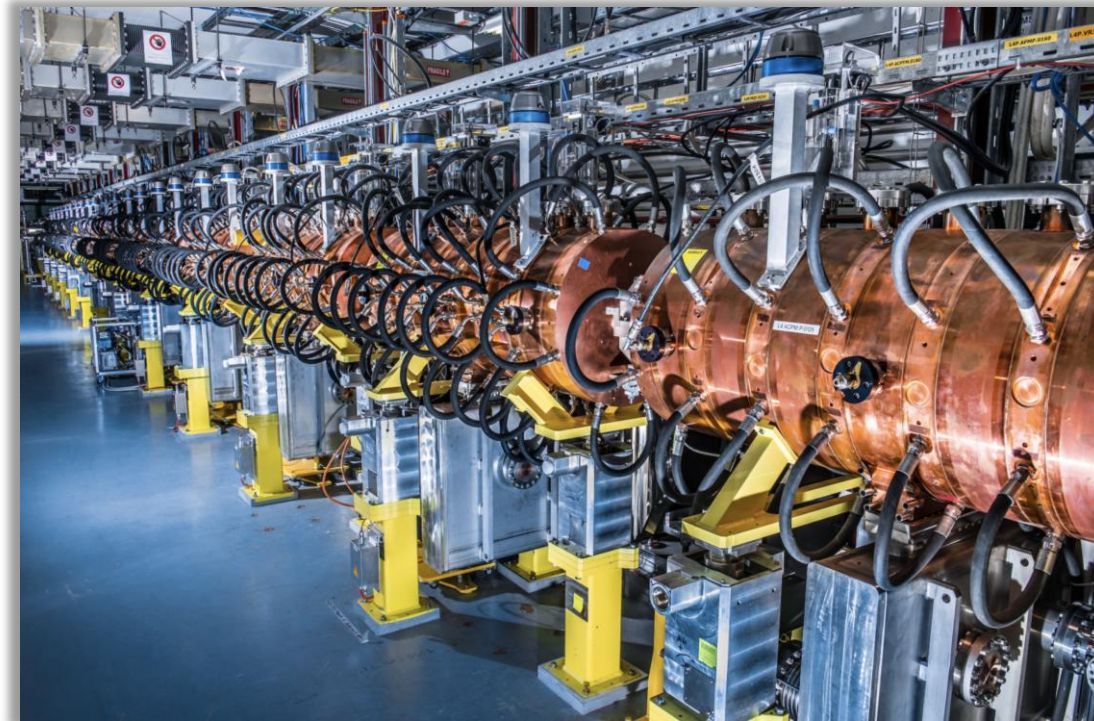


H⁻ Ionenquelle

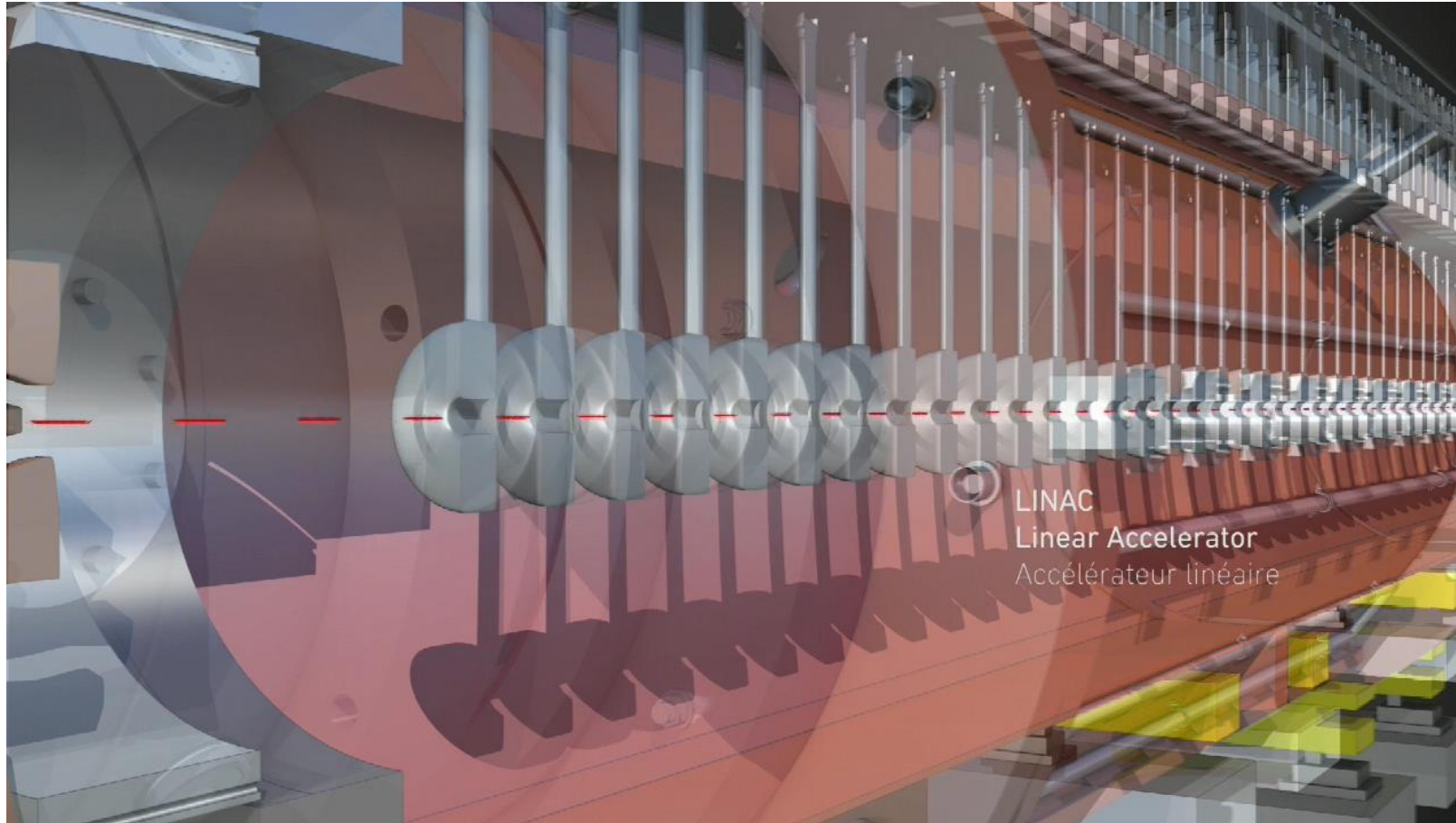


Linac4

- Effiziente Beschleunigung direkt nach der Ionenquelle, Beschleunigung auf 160 MeV
- Beschleunigung mit elektrischem Feld, Fokussierung mit magnetischem Quadrupolfeld
- Strahl durchläuft Beschleuniger nur ein Mal
- Länge: 86 m



Alvarez Linearbeschleuniger - Prinzip

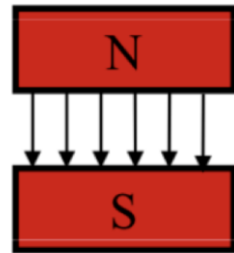


Teilchen werden zwischen den Driftröhren beschleunigt und darin vom elektrischen Feld abgeschirmt.

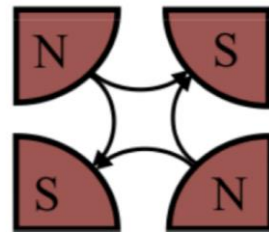
Hauptkomponenten von Kreisbeschleunigern / Synchrotrons

• Fixer Bahnradius, viele Umläufe

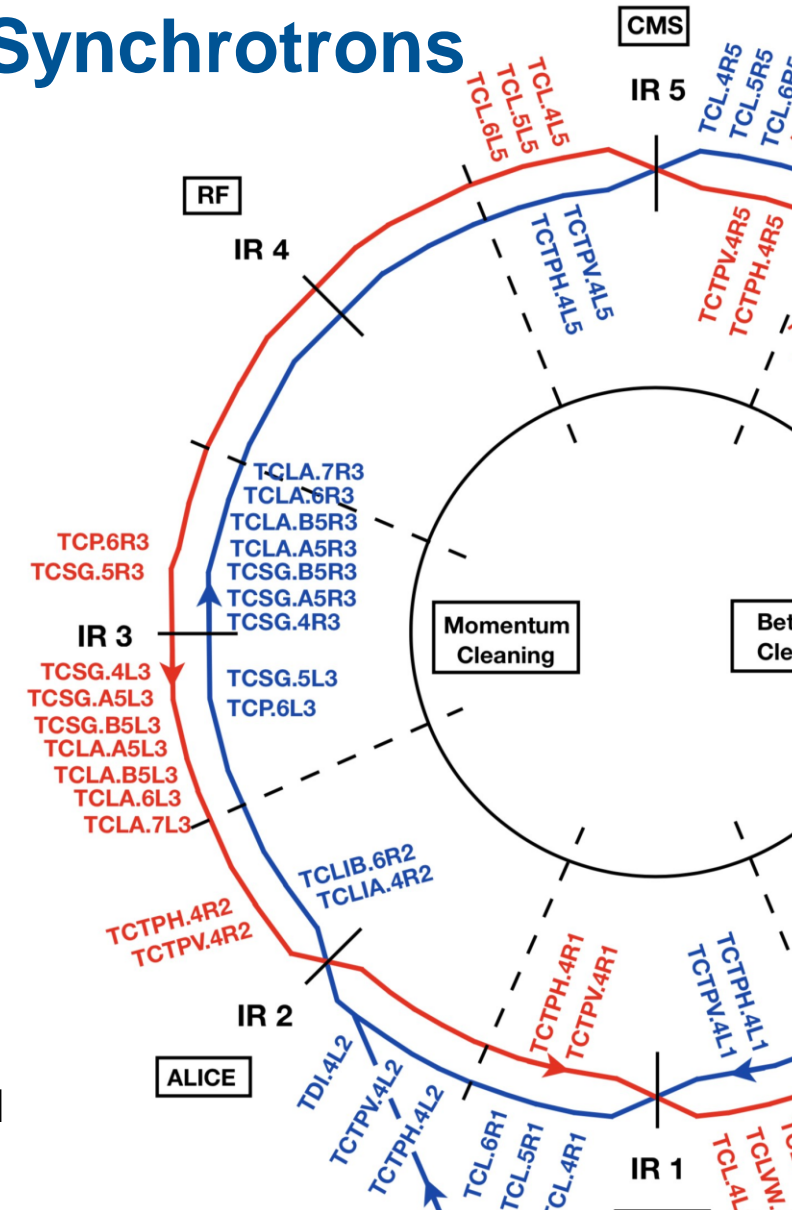
- **Ablenkmagnete (Dipole)** um den Strahl auf der Umlaufbahn zu halten
- Sollbahn definiert durch Ablenkmagnete und gerade Verbindungen.



- **Fokussiermagnete (Quadrupole)** um den Strahl stabil zu halten.
- Nicht alle Teilchen sind genau auf Sollbahn, Injektionsfehler, Ablenkfehler in Dipolmagneten (limitierte mechanische und elektrische Präzision)



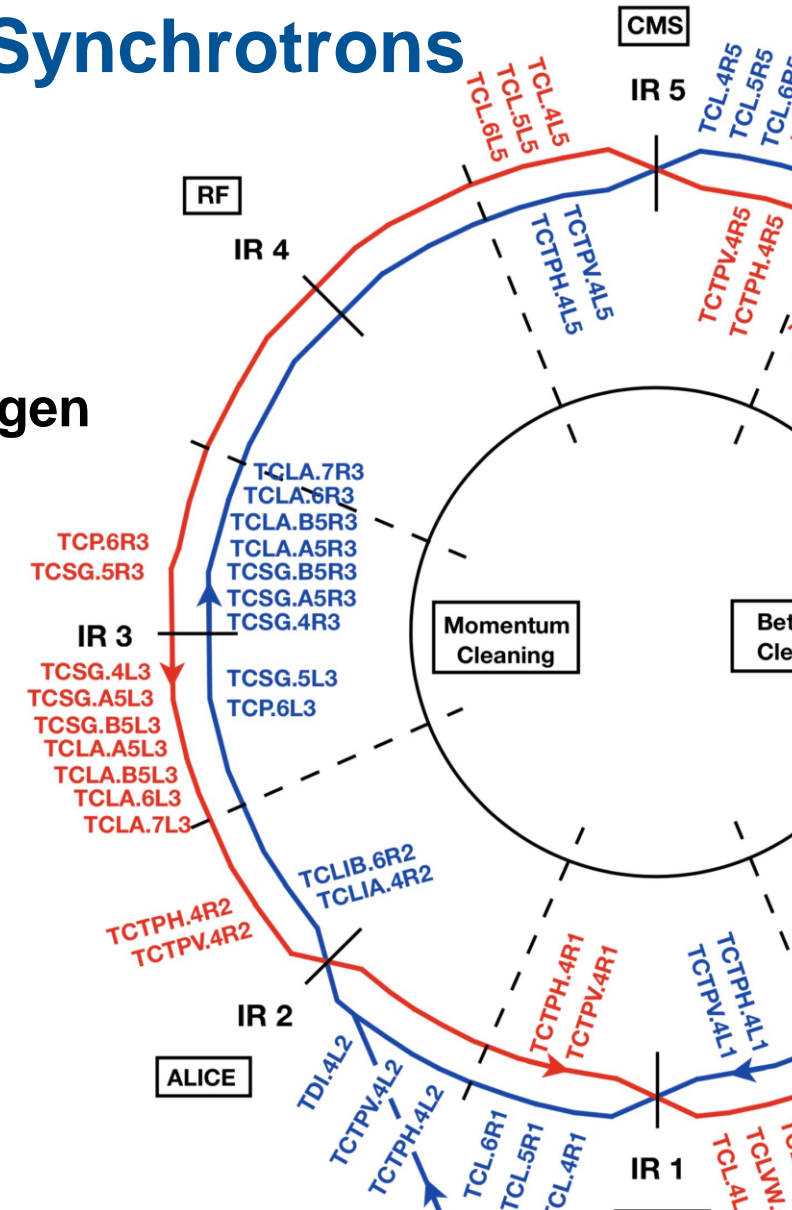
- **Beschleunigungsstrukturen (Hochfrequenz/RF-Kavitäten)** um den Strahl mit hochfrequenten elektrischen Wechselfeldern zu beschleunigen.



Hauptkomponenten von Kreisbeschleunigern / Synchrotrons

• Prinzip:

- Synchrotrons arbeiten mit **niedrigen Beschleunigungsspannungen** (viele Umläufe, Energiegewinn pro Umlauf $q \cdot U$)
- **Dipolfeld** wird **synchron** mit der **Teilchenenergie** erhöht um Strahl auf Sollbahn zu halten → **Synchrotron**
- **Hohe Teilchenenergien** benötigen Dipole mit sehr **hohen Magnetfeldern**



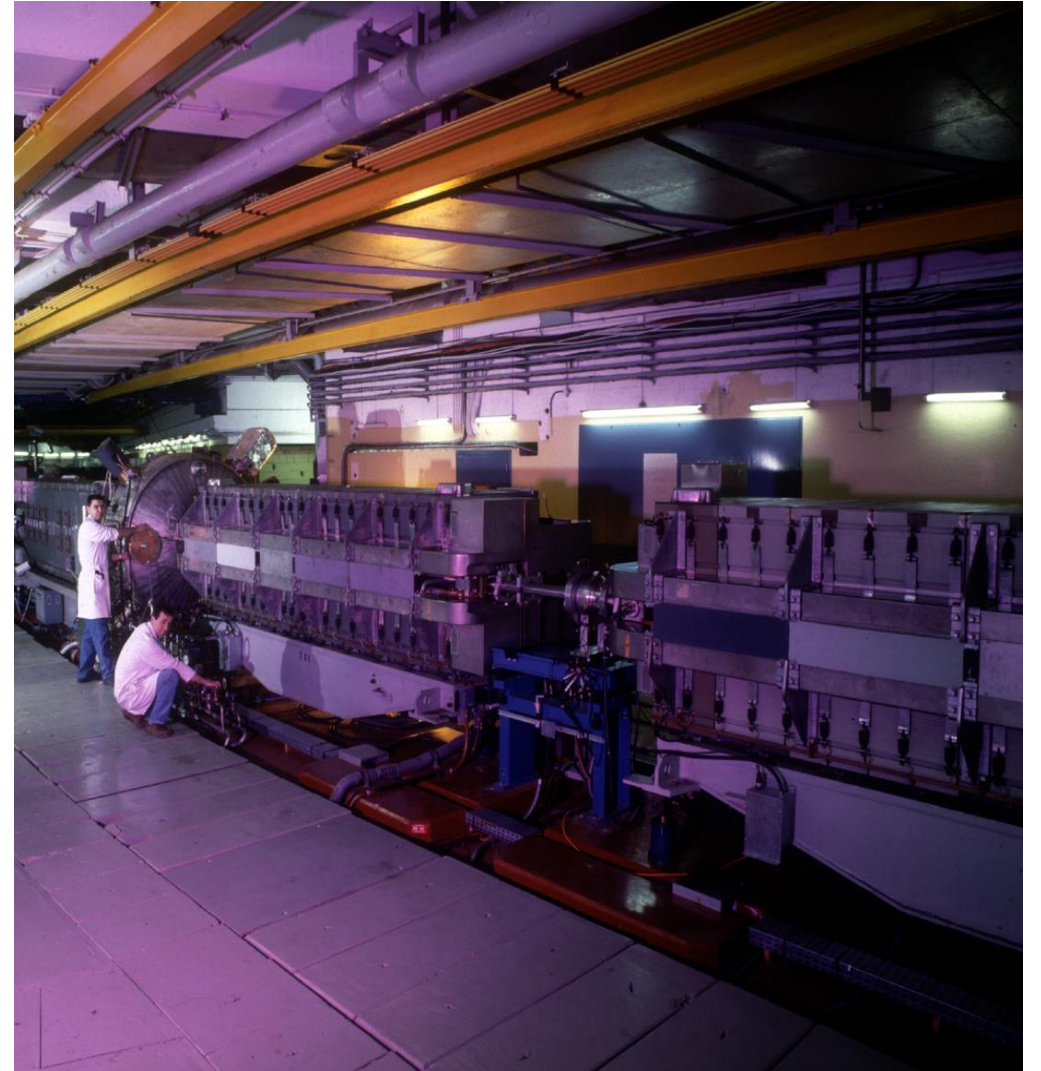
Proton Synchrotron Booster (PSB)

- Erster Kreisbeschleuniger der Beschleunigerkette
- Synchrotron mit 4 vertikal separierten Ringen (Radius 25 m)
 - Umfang $\frac{1}{4}$ des Proton Synchrotrons
- Injektion des Linacstrahles nacheinander in die 4 Ringe
 - PSB definiert transversale Strahlgröße für nachfolgende Beschleuniger und insbesondere den LHC
- Beschleunigung 160 MeV \rightarrow 2 GeV



Proton Synchrotron (PS)

- Synchrotron (Radius 100 m)
- Longitudinale Aufspaltung der Pakete mit RF Kavitäten
 - PS erzeugt Zeitstruktur für LHC-Strahlen (Teilchenpakete im Abstand von 7.5 m)
- Extraktion der Pakete zum SPS
- Beschleunigung 2 GeV → 25 GeV

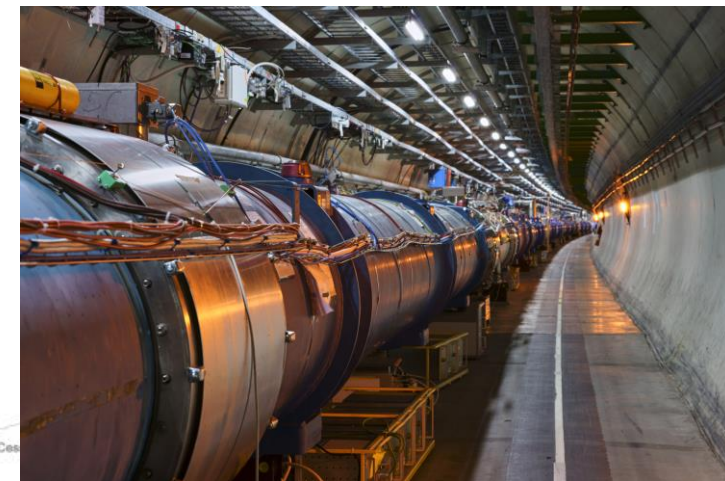


Super Proton Synchrotron (SPS)

- Synchrotron (Radius 1100 m)
- Beschleunigung
 - SPS definiert die Injektionsenergie für den LHC
- Beschleunigung 25 GeV → 450 GeV
- Überprüfung der Strahlqualität



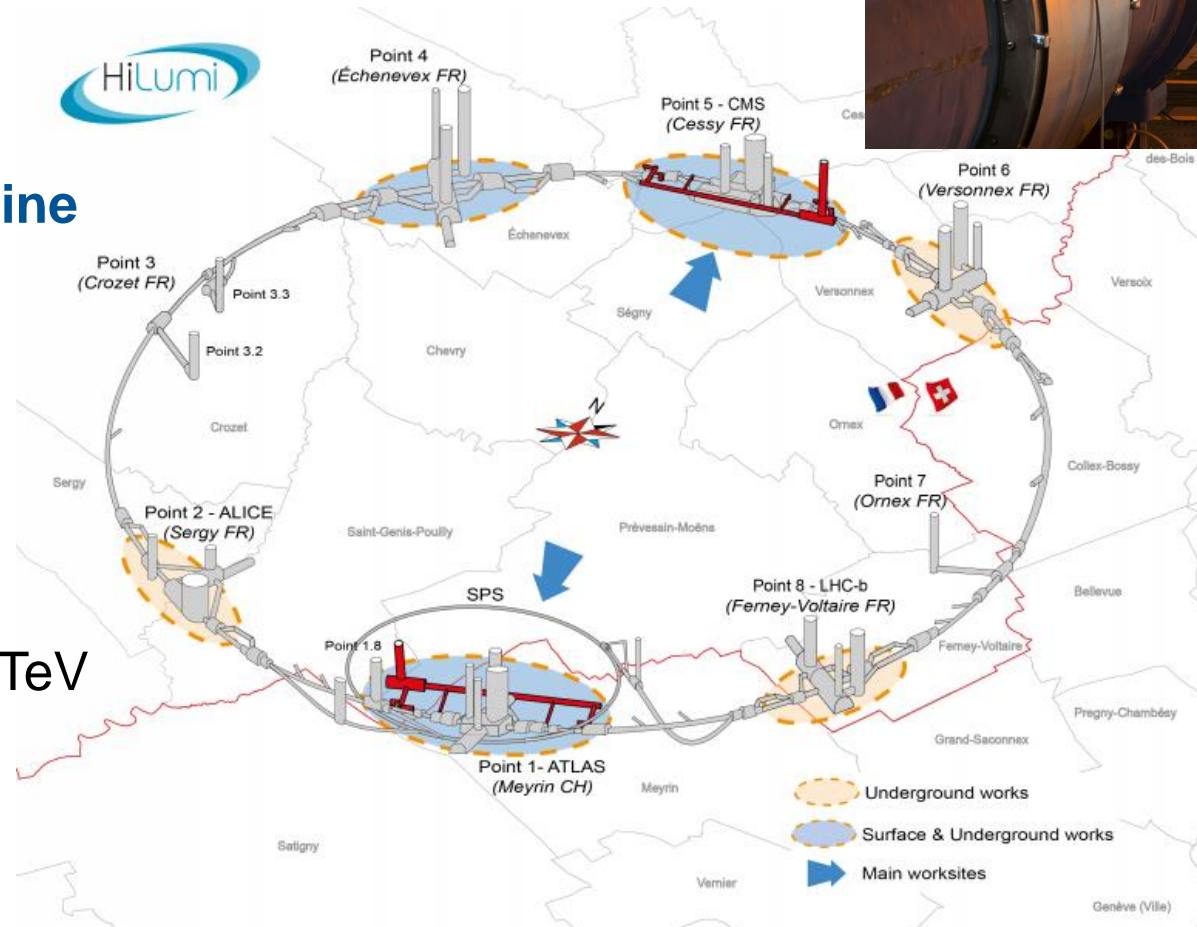
Large Hadron Collider (LHC)



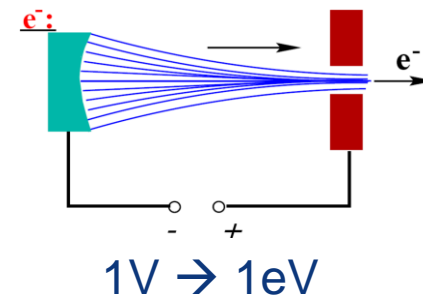
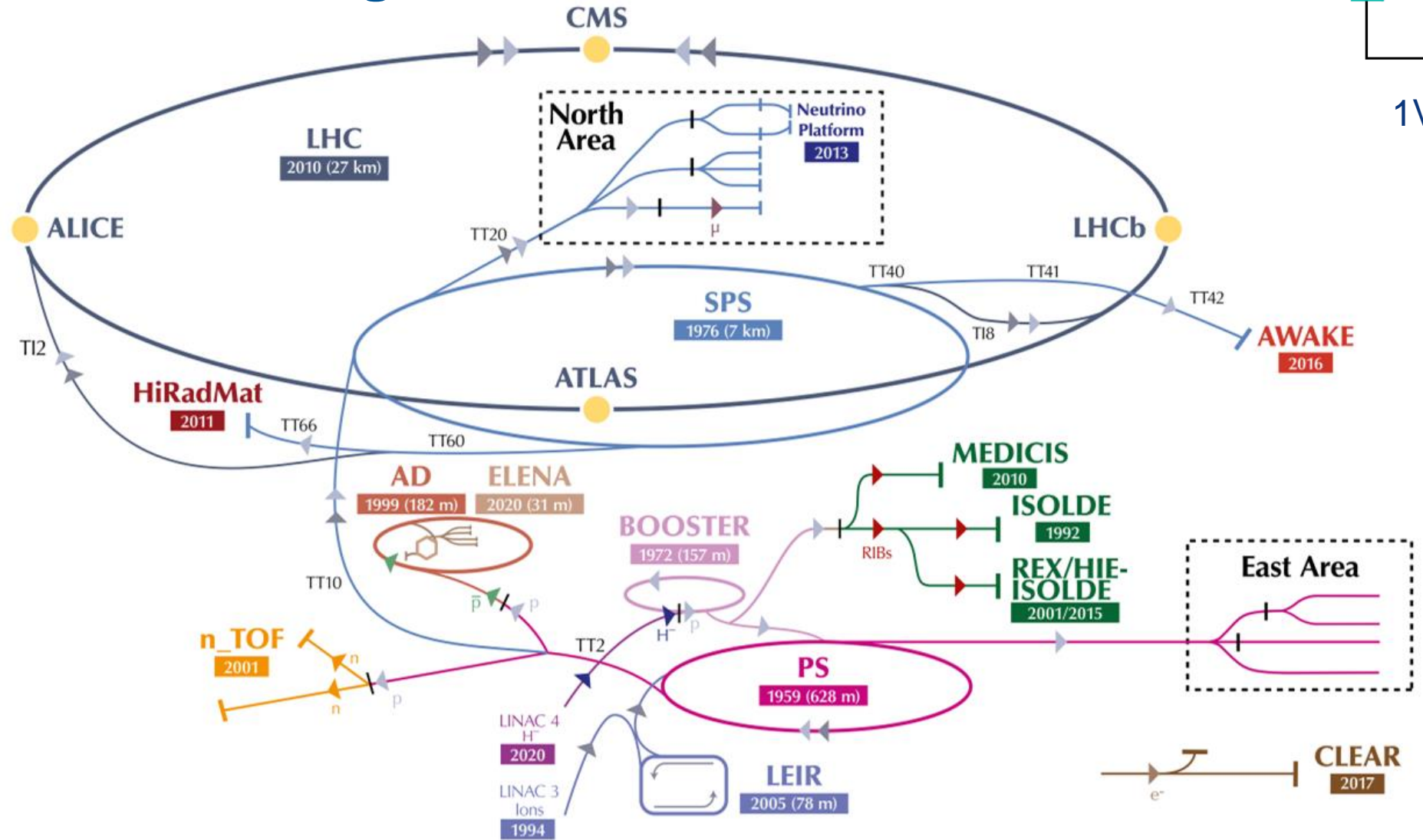
- **Synchrotron und Kollisionsmaschine (Radius 2803 m, 26.6 km Umfang)**

- **Kollisionen von Protonen und schweren Ionen:**

- Protonen – Protonen 7 + 7 TeV
- Bleiionen – Bleiionen 574 + 574 TeV

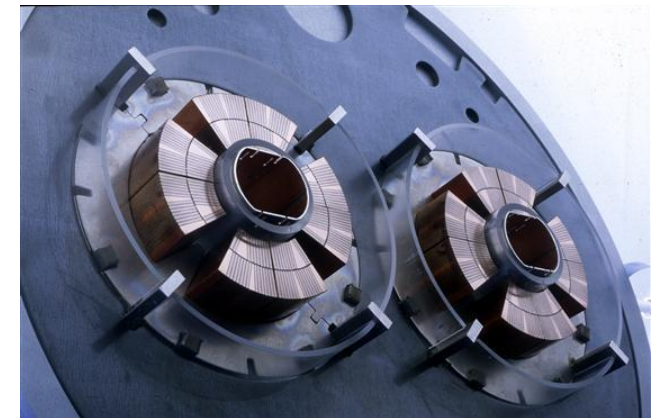
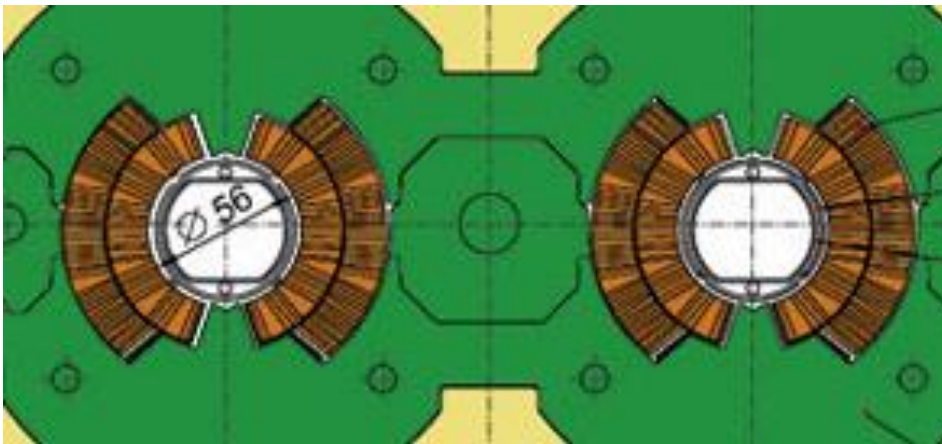


Die CERN Beschleunigerkette



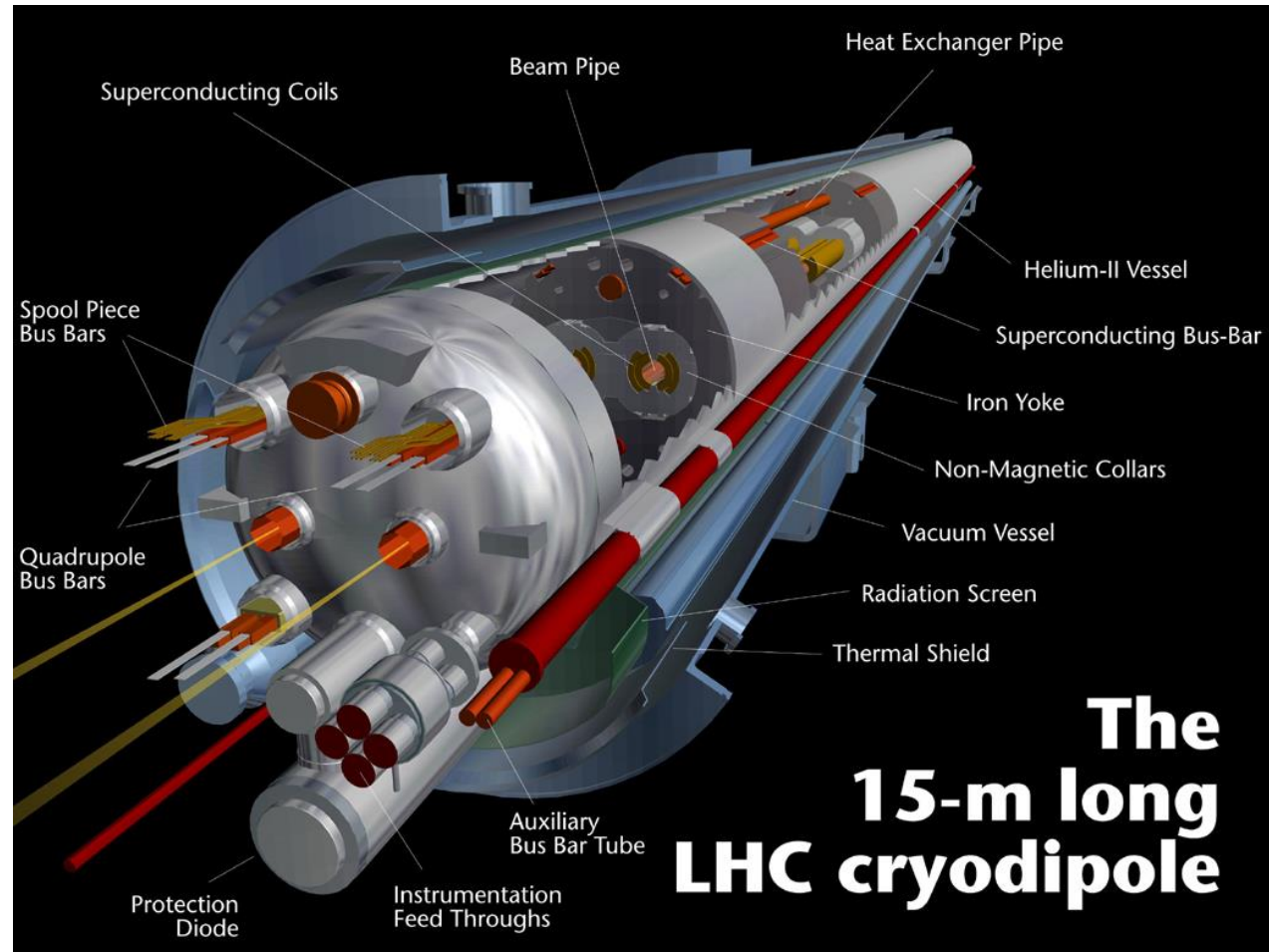
Dipolmagnete für hohe Felder

- **Hohe Energien → supraleitender Dipolmagnet ($B \leq 10$ T)**
 - Sehr hohe Ströme notwendig → Supraleitung ermöglicht hohe Stromdichten und vermeidet Ohm'sche Verluste.
 - Temperatur in den Dipolen: **1.9 K = - 271.25 °C** (einer der kältesten Orte im Universum)
- **Geometrie der Magnete**



LHC – Dipolmagnet

- 1232 Magnete im Tunnel installiert
- Ultra-hohes Vakuum in den Strahlkammern
 - So leer wie der Weltraum ...



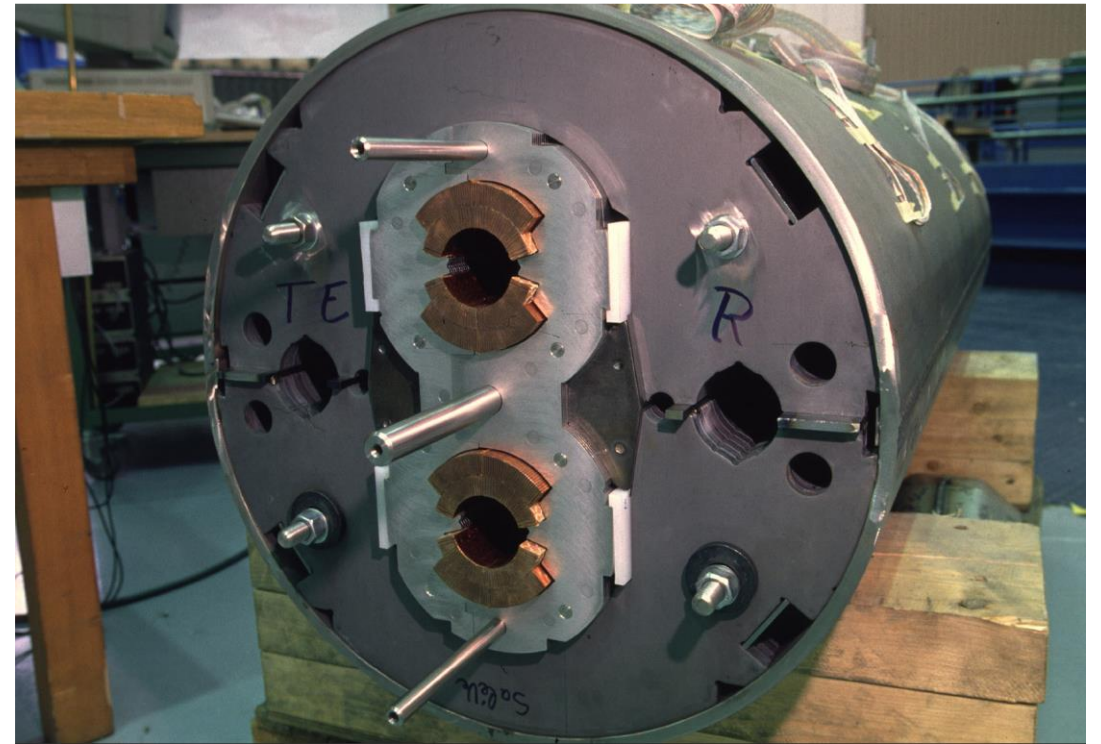
Kraftwirkung auf die Dipole

- Kraft auf stromführenden Leiter in Magnetfeld (rechtwinkelig dazu):

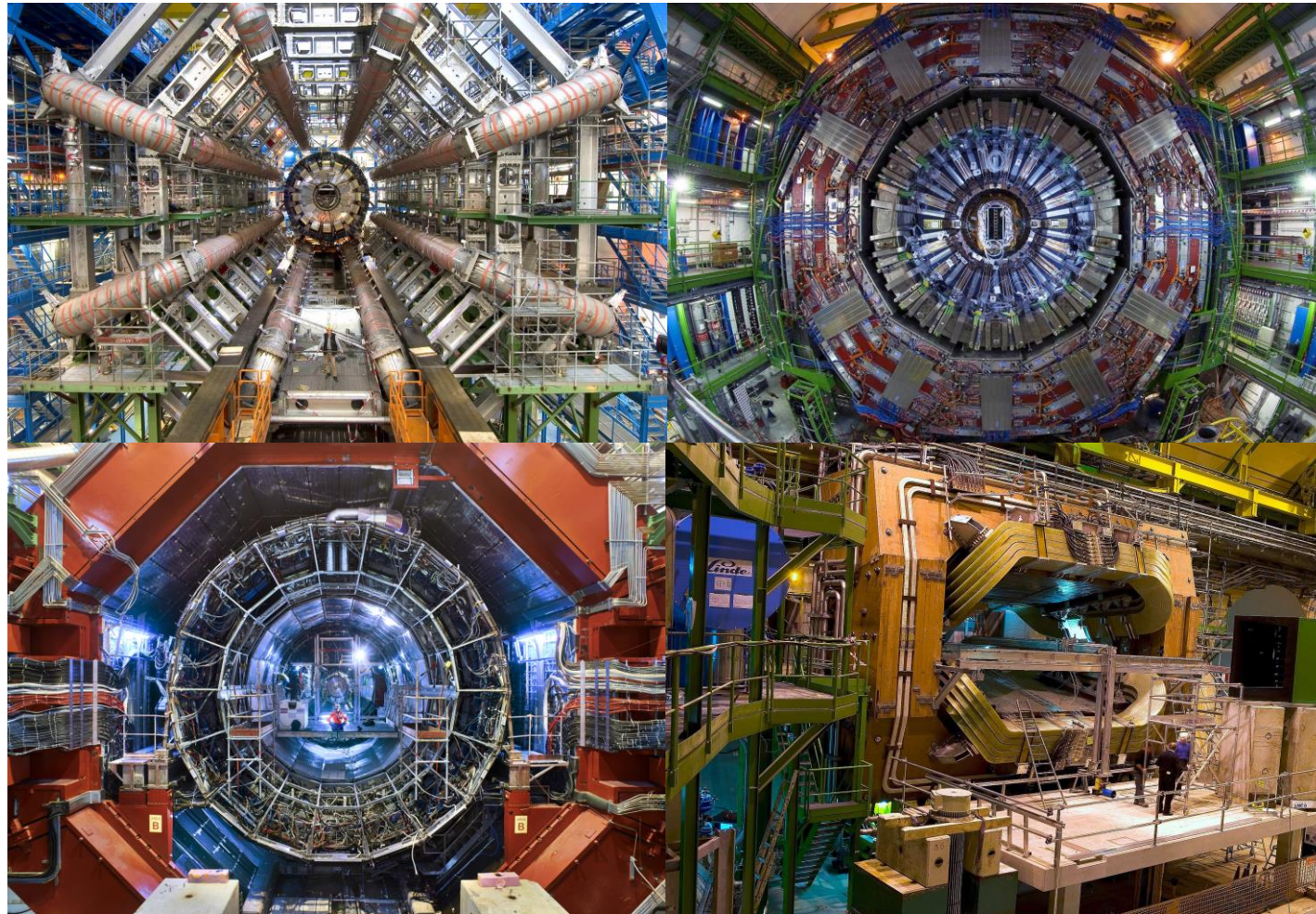
$$F = q \cdot v \cdot B = I \cdot l \cdot B \quad \text{mit } I = 11 \text{ kA}$$

$$F = 44000 \text{ N / m / Windung}$$

- Mit insgesamt 80 Windungen ergibt sich eine Kraft von **400 Tonnen pro m Spule**
 - Gewichtskraft von 4 E-Loks!
 - Sehr hohe mechanische Anforderungen



Kollisionen im LHC



T12

T18

• Kreuzungspunkte:

- Die zwei Strahlen kollidieren an 4 Kreuzungspunkten (300 mrad).
- Bis zu 2808 Teilchenpakete pro Ring (ein Paket alle 7.5 m, 30 cm Länge).
- Um jeden Kollisionspunkt ist ein Experiment angeordnet.

Teilchen legen den Weg Erde-Sonne 7 mal pro Stunde zurück

4 große Experimente:

- ATLAS, CMS, LHC-b, ALICE

Maschinenschutzsystem im LHC

- **Strahl selbst ist gefährlich für den Beschleuniger:**

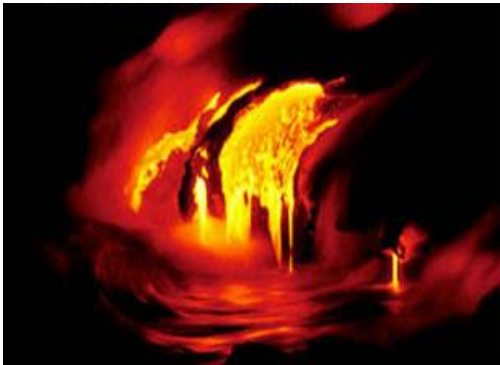
- Pro Strahl gespeicherte Energie bei 7 TeV (2 Strahlen insgesamt):

$$E_{\text{Strahl}} = 2808 \cdot 1.4 \times 10^{11} \cdot 7 \times 10^{12} \cdot 1.602 \times 10^{-19} = 440 \text{ MJ}$$

Teilchenpakete Teilchenenergie
Teilchen / Paket Ladung eines Protons

- **Energie der beiden Strahlen zusammen entspricht ...**

...der Energie um eine Tonne Kupfer zu schmelzen



...der Bewegungsenergie eines Flugzeugträgers bei 15 km/h



...der Bewegungsenergie des TGV bei 200 km/h



Maschinenschutzsystem im LHC

- **Maschinenschutz ist deswegen von höchster Bedeutung für den LHC!**
 - Unkontrollierter Teilchenverlust führt zur Zerstörung des Beschleunigers.
 - Spezielle Strahl- und Beschleunigerüberwachungssysteme.



Geplanter Materialtest (Cu, 2mm)
72 (48) LHC Pakete, 450 GeV

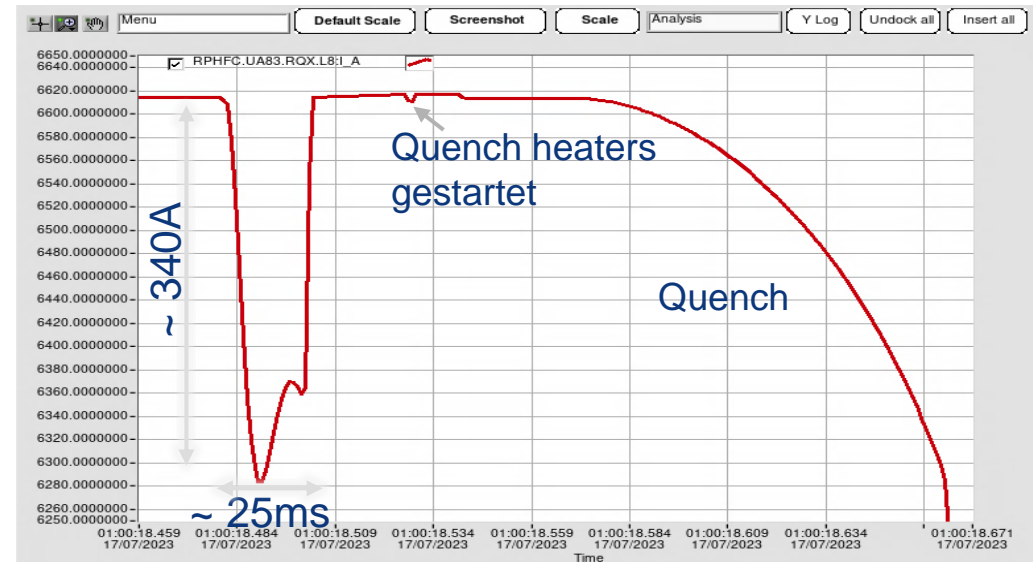
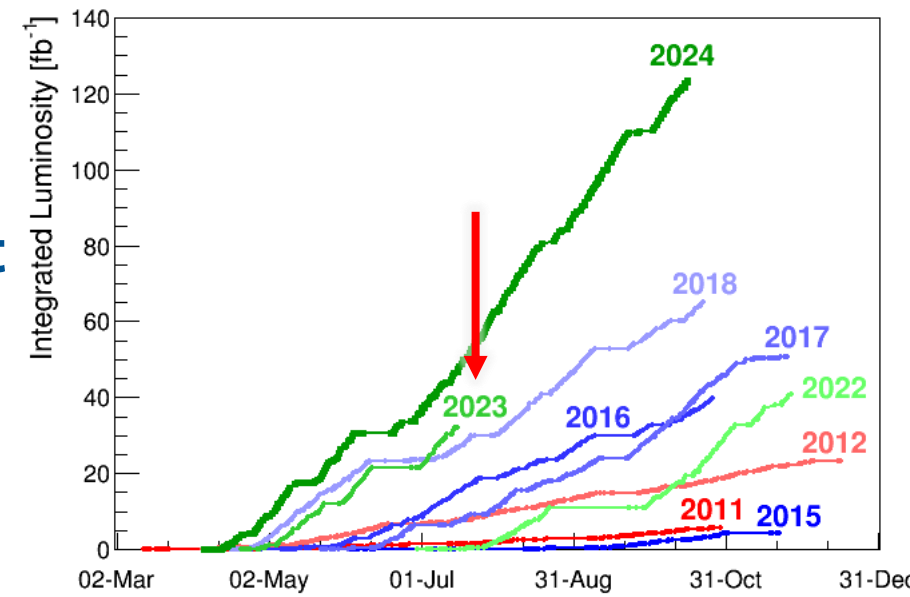


Nicht geplanter Materialtest (2004, SPS Extraktionsfehler, Stahl, 1.5mm)
288 LHC Pakete, 450 GeV: 25 cm Schnitt in Vakuumkammer, SPS Extraktionskanal.

Maschinenschutzsystem im LHC

- **LHC Protonen Run 2023 früher als geplant beendet**

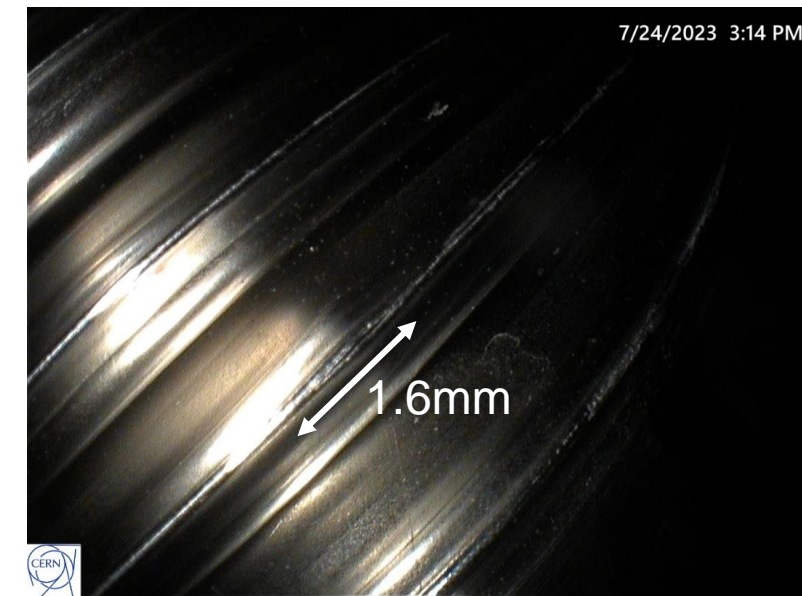
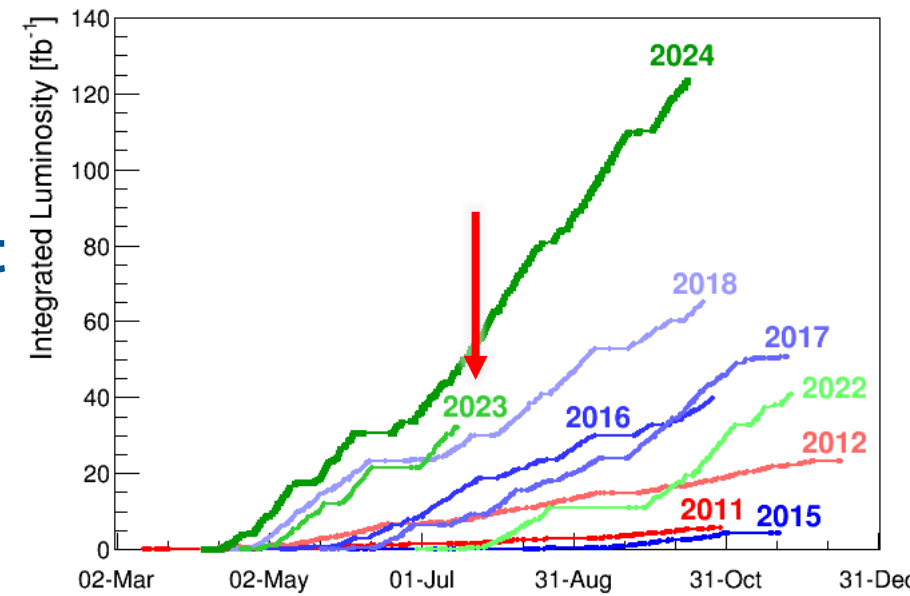
- **Elektrische Störung im Schweizer Netz mit grossem Impact:**
 - **Verlust der supraleitenden Eigenschaften (Quench)**
 - Erwartetes Verhalten - vorhergesehener Schutzmechanismus!

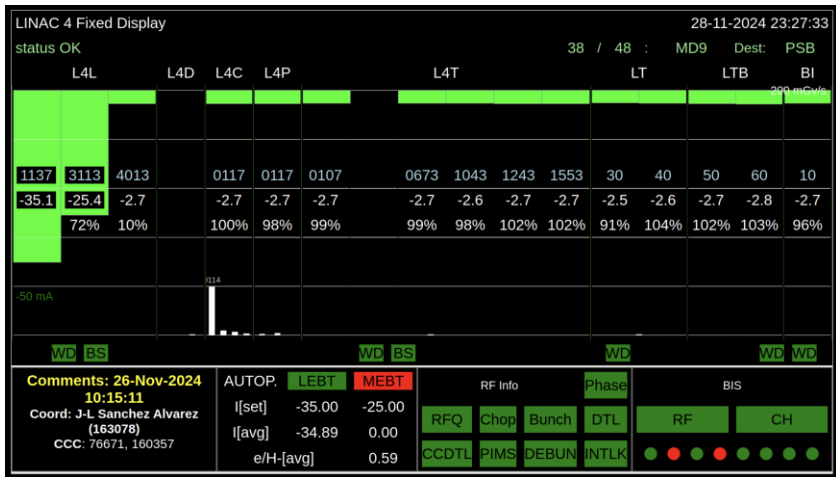


Maschinenschutzsystem im LHC

• LHC Protonen Run 2023 früher als geplant beendet

- **Elektrische Störung** im Schweizer Netz mit grossem Impact:
 - **Verlust der supraleitenden Eigenschaften (Quench)**
 - Erwartetes Verhalten - vorhergesehener Schutzmechanismus!
 - Grosse mechanische Kräfte während des Quench führten zu einem Heliumleck

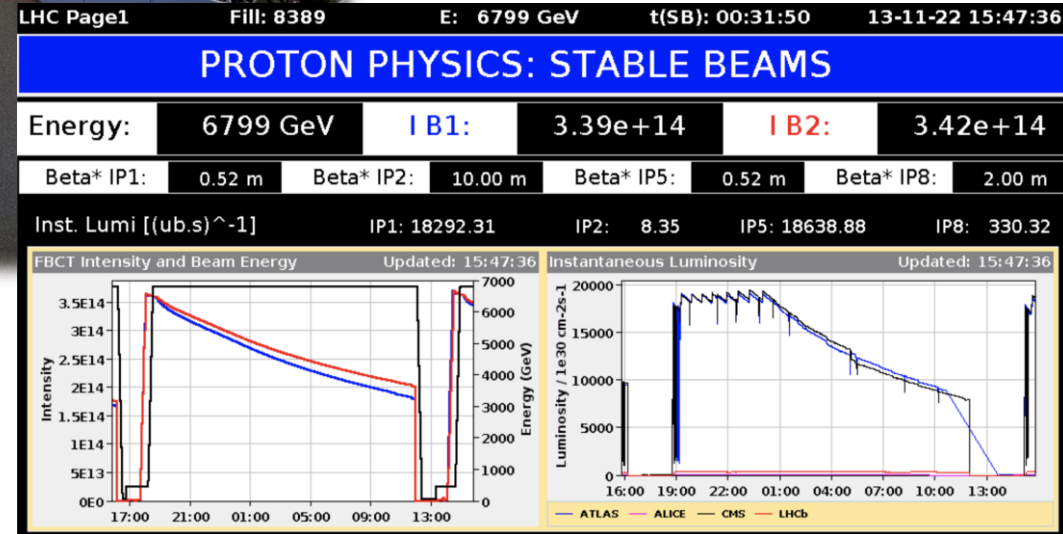
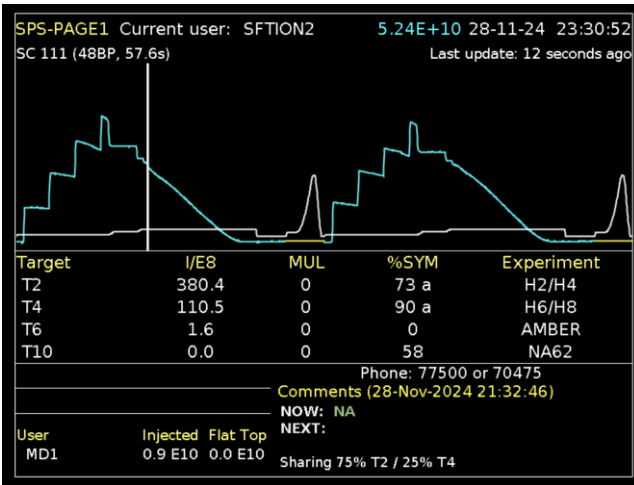
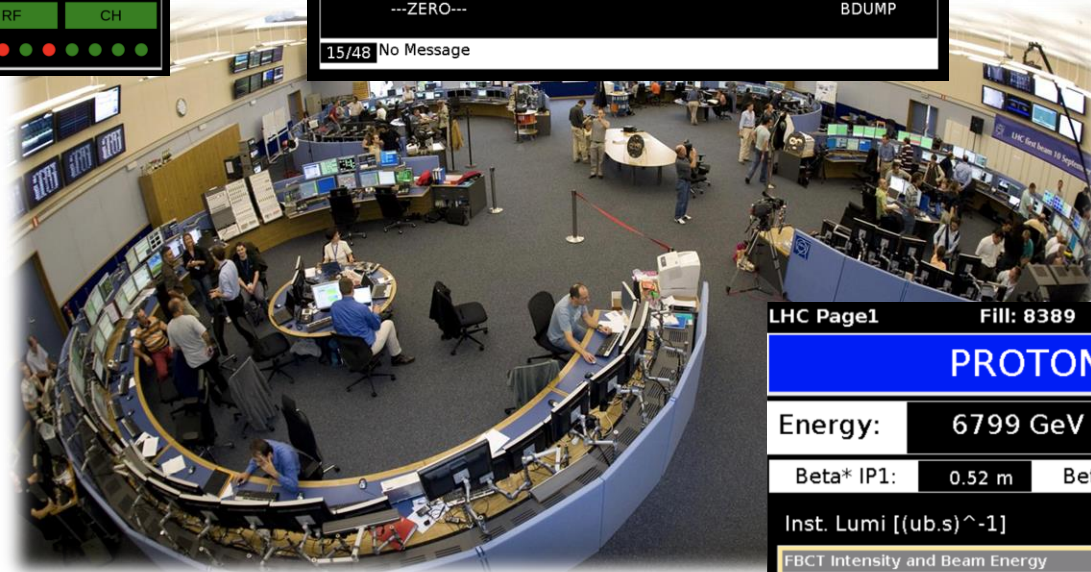
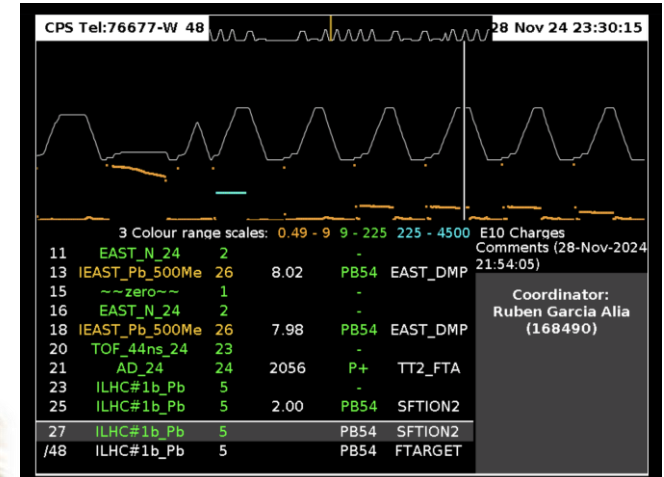




PSB Fixdisplay - W 48 28-Nov-2024 23:29:01
Comments (28-Nov-2024 10:14:47)
Coordinator : G.P. Di Giovanni (167744)
Operator : CCC: 76671, 160357

BP	User	Pls	Inj.	Acc.	b.Ej.E10	Ej.E10	Dest.
3	ISOHRS_2024	19	○○○○	○○○○	0.00	7.19	ISOHRS
4	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.27	BDUMP
5	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.69	BDUMP
6	AD_Mini_2024	31	●●●●	●●●●	13.11	14.98	BDUMP
7	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.22	BDUMP
8	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.21	BDUMP
9	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.25	BDUMP
10	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.26	BDUMP
11	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.14	BDUMP
12	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	3.70	BDUMP
13	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.03	BDUMP
14	---ZERO---	1	○○○○	○○○○	0.00	0.31	BDUMP
	---ZERO---						BDUMP

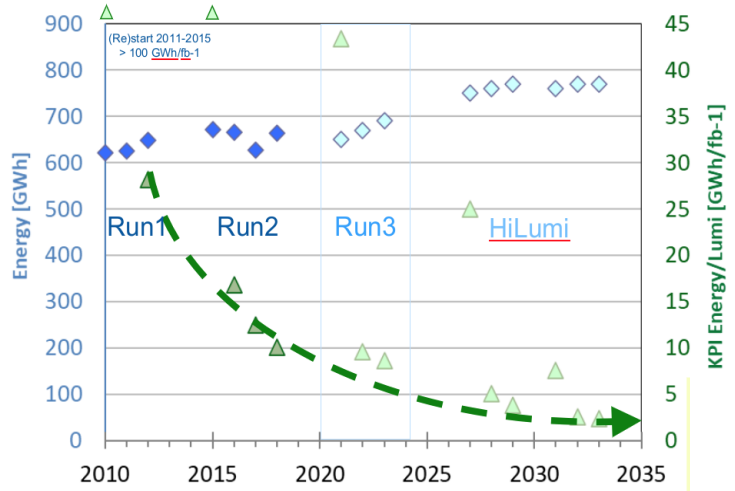
15/48 No Message



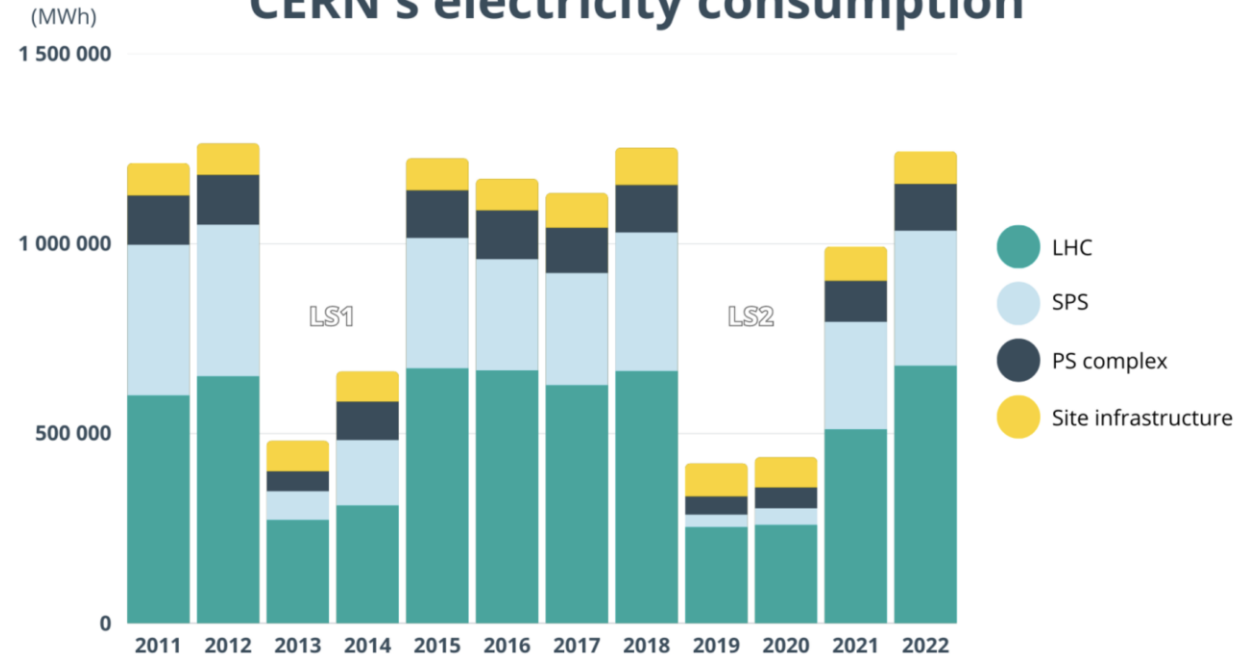
CERN Energiemanagement

• ISO 50001 Zertifizierung seit Ende 2022

- Kontinuierliche **Verbesserung der Energieeffizienz** durch Aufbau eines systematischen Energiemanagements basierend auf wesentlichen Kennzahlen (**KPIs**)
 - **Beispiel LHC:** Jährlicher Stromverbrauch pro integrierter Luminosität

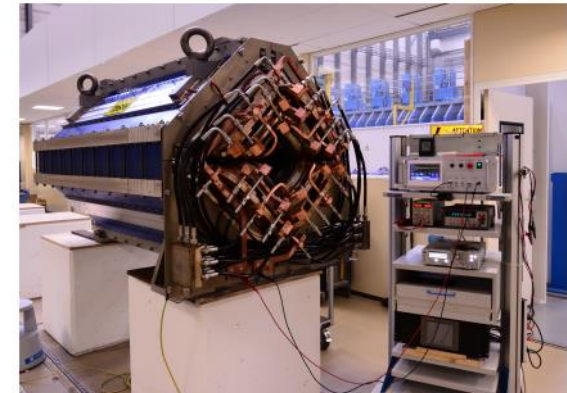


CERN's electricity consumption



• Renovierung und Konsolidierung

- **DC zu gepulsten Magneten:** Beispiel **EAST Area**, 90% reduzierter Stromverbrauch durch modern Magnete, Stromversorgungen und Kontrollsysteme



Von der Gegenwart
in die Zukunft

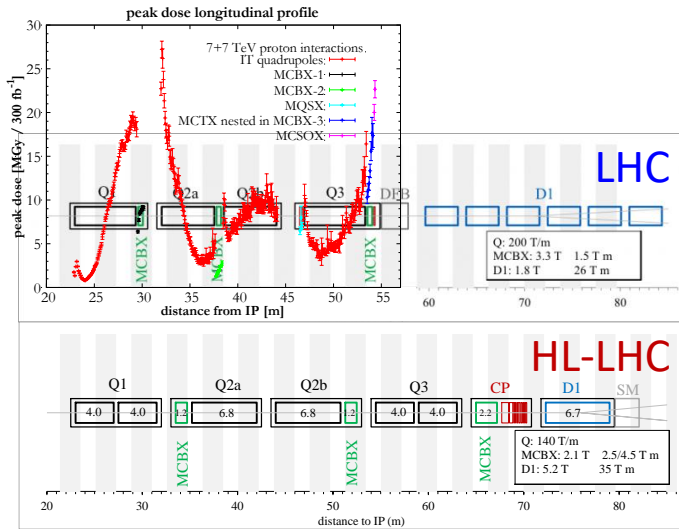


High Luminosity LHC – die unmittelbare Zukunft Upgrade 2026 - 2030



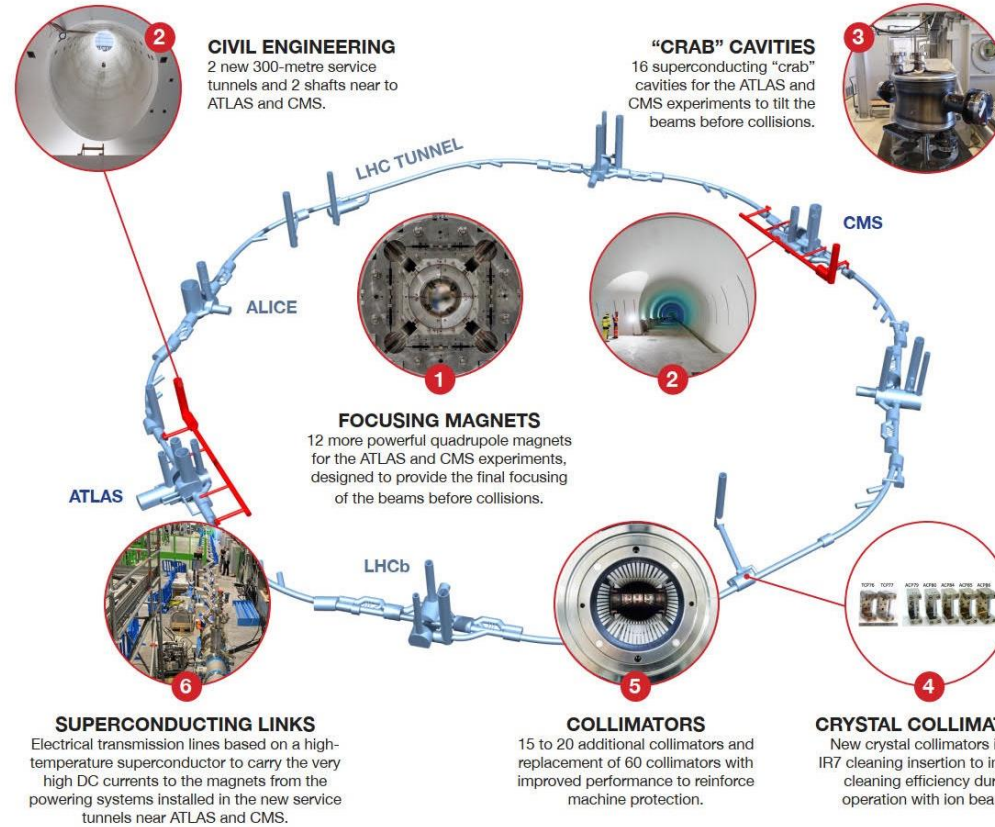
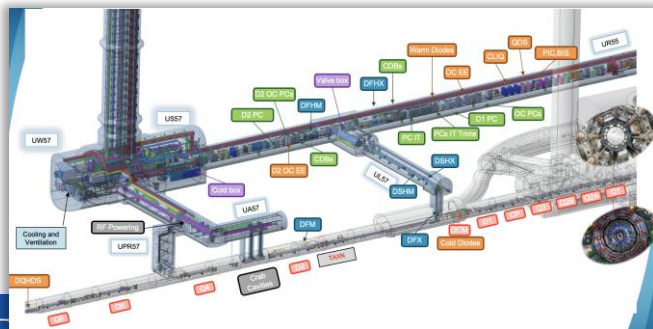
Herausforderndes und technisch anspruchsvolles LHC Upgrade

1) Upgrade von Fokussiermagneten

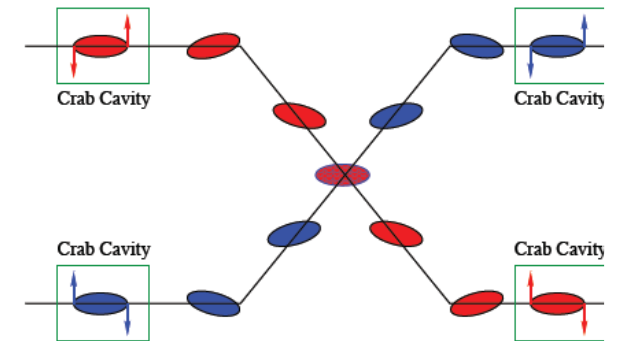


2) Bauwesen

Verbesserte Erreichbarkeit, geringere Strahlung

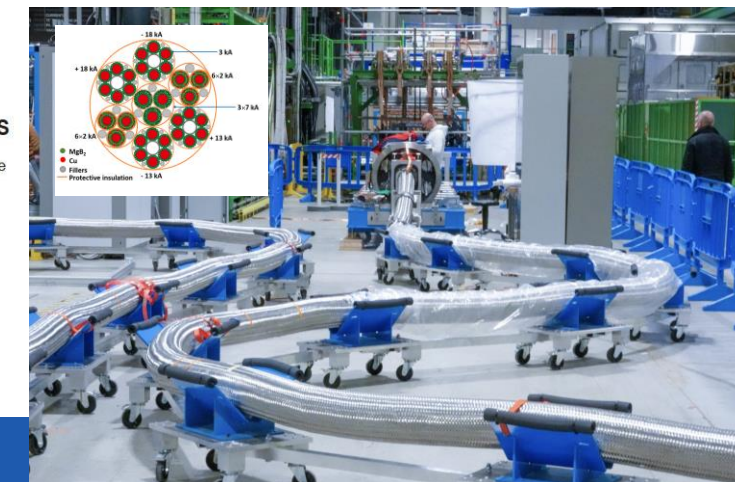


3) Spezielle RF (crab) Kavitäten



6) Flexible supraleitende Verbindungen

MgB₂: > 100 kA @ 25K



Ziel: 10-fache LHC performance !

Future Circular Colliders

Eine Forschungsanlage für das 21. Jahrhundert



Swiss Accelerator
Research and
Technology

<http://cern.ch/fcc>



Work supported by the **European Commission** under the **HORIZON 2020** projects **EuroCirCol**, grant agreement 654305; **EASITrain**, grant agreement no. 764879; **iFAST**, grant agreement 101004730; **FCCIS**, grant agreement 951754; **E-JADE**, contract no. 645479; **EAJADE**, contract number 101086276; and by the Swiss **CHART** program



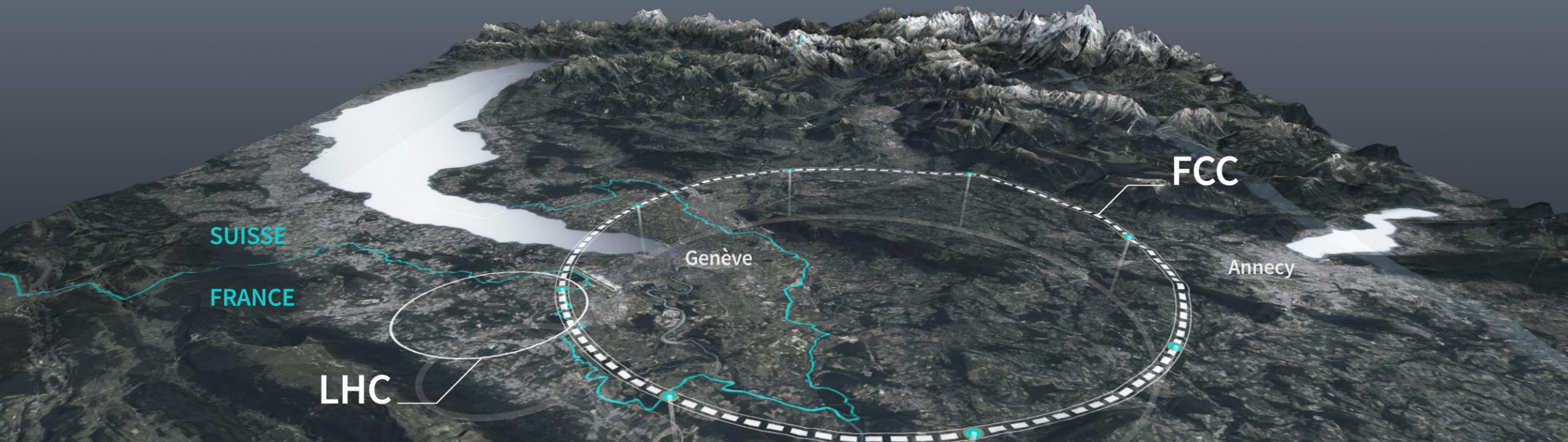
European
Commission

Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation

- The European Particle Physics Strategy Update 2020 issued the request for a feasibility study of the **FCC integrated programme** to be delivered for the next Strategy Update.
- The **FCC Feasibility Study** should inform about technical, territorial and financial feasibility of the FCC project and bring all elements needed to decide about a potential project.
- Strengthening links with **science, research & development**, high-tech **industry** and **society** at large will be essential to further advance and prepare the implementation of FCC as a long-term sustainable world-leading HEP research infrastructure for the 21st century to push the particle-physics precision and energy frontiers far beyond present limits.

Future Circular Colliders

Eine Forschungsanlage für das 21. Jahrhundert



FCC ermöglicht es die erreichbare Teilchenmasse erhöhen und gleichzeitig immer kleinere subatomare Strukturen untersuchen.

Ein neuer 91 km Tunnel, 100 – 300 m unter der Erde, mit 8 Standorten an der Oberfläche.
3 verschiedene Beschleuniger im gleichen Tunnel:

FCC-ee: electron-positron

FCC-hh: proton-proton

FCC-eh: electron-proton

A Global FCC Collaboration

Increasing international collaboration as a prerequisite for success:
world-wide collaboration hosted by CERN

Links with science, research & development, high-tech industry and society at large will be essential to further advance and prepare the implementation of FCC as a long-term sustainable world-leading research infrastructure

150

Institutes

32

Companies

33

Countries



The FCC integrated program inspired by successful LEP – LHC programs at CERN

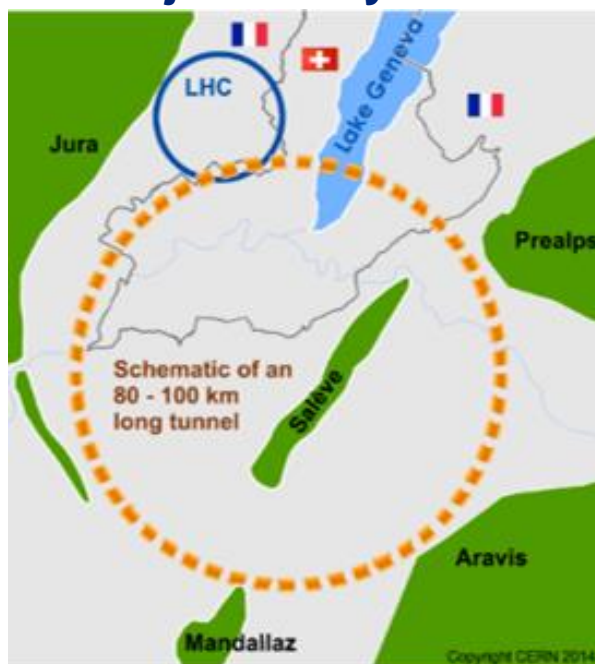
Comprehensive long-term program maximizing physics opportunities

- common civil engineering and technical infrastructures, building on and reusing CERN's existing infrastructure

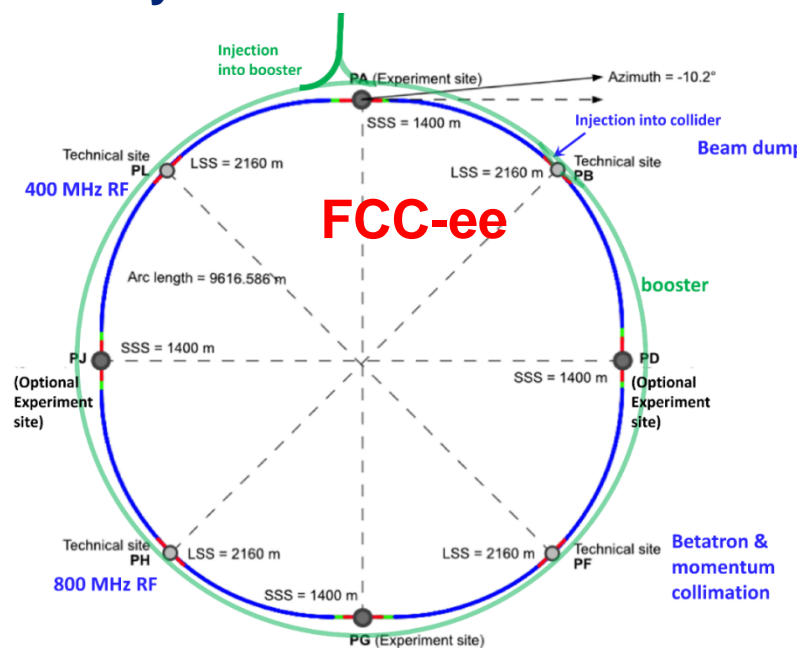
Stage 1: FCC-ee: high-intensity electron-positron collider for detailed study of the Higgs boson (10^6), top-quark (10^6), W (10^8), Z (10^{12}) → indirect sensitivity to new physics up to ~ 70 TeV (> 10 times LHC)

**Stage 2: FCC-hh: proton-proton collider with collision energy of at least 100 TeV
→ direct discovery potential for new physics up to ~ 40 TeV (~ 10 times the LHC)**

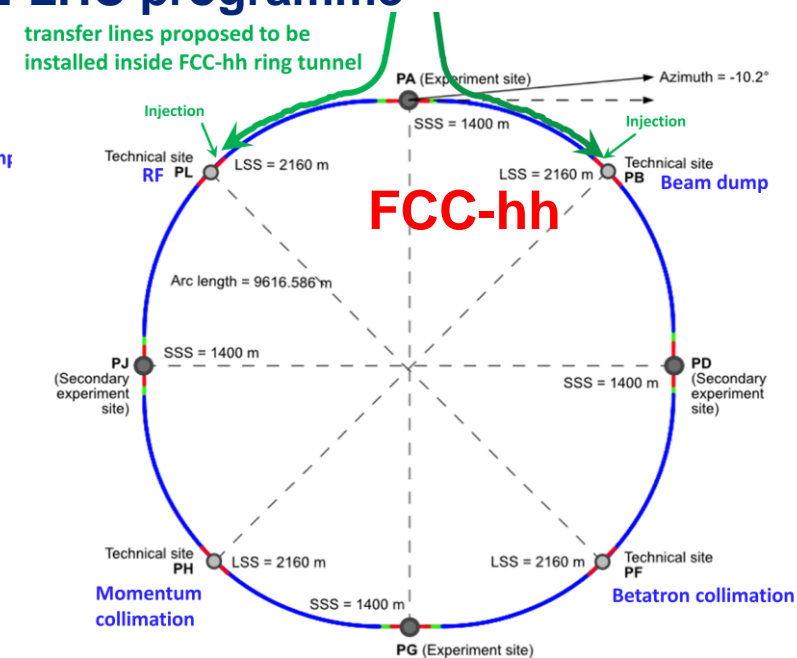
→ New major facility at CERN within a few years after the end of the HL-LHC programme



2020 - 2040

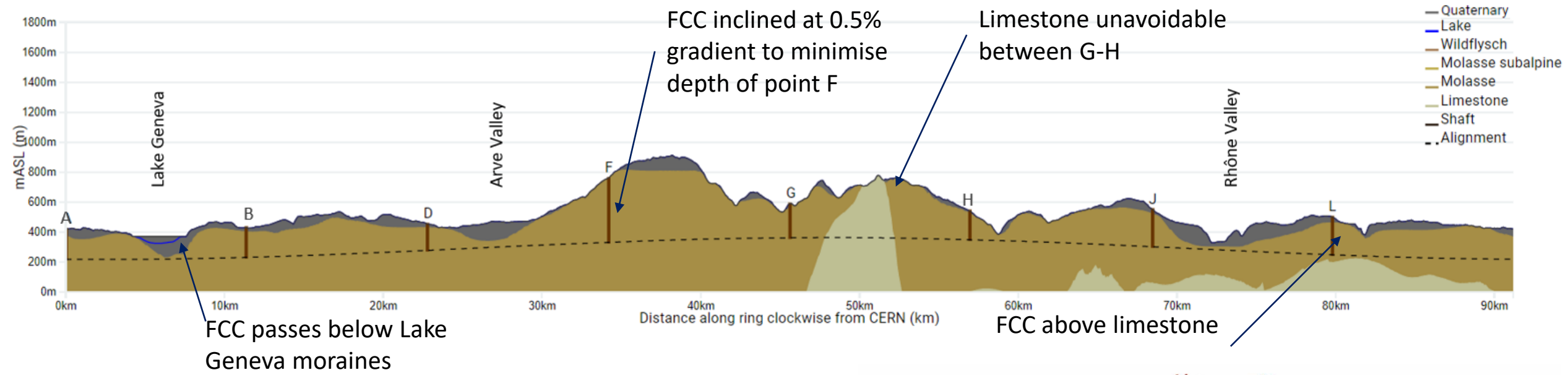


2045 - 2060



2070 - 2090++

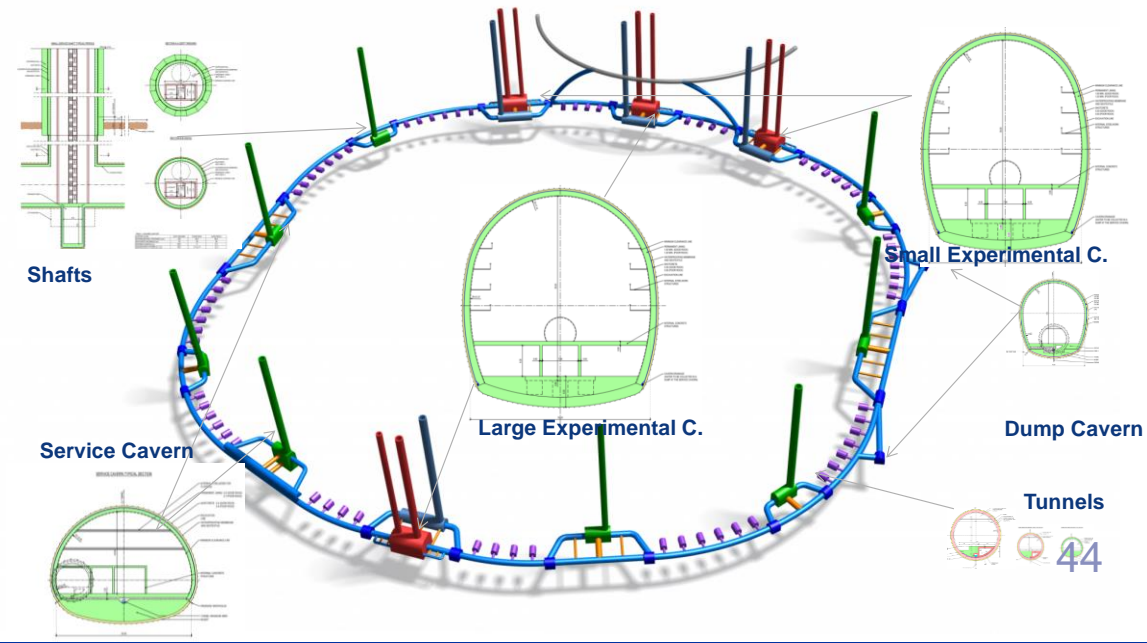
FCC tunnel - geological conditions



Tunneling mainly in moraine layer (soft rock), well suited for fast, low-risk tunnel boring machine (TBM) construction.

7 – 8 million m³ excavation material

Site investigations campaign planned for 2024 – 2025: ~40-50 drillings, 100 km of seismic lines



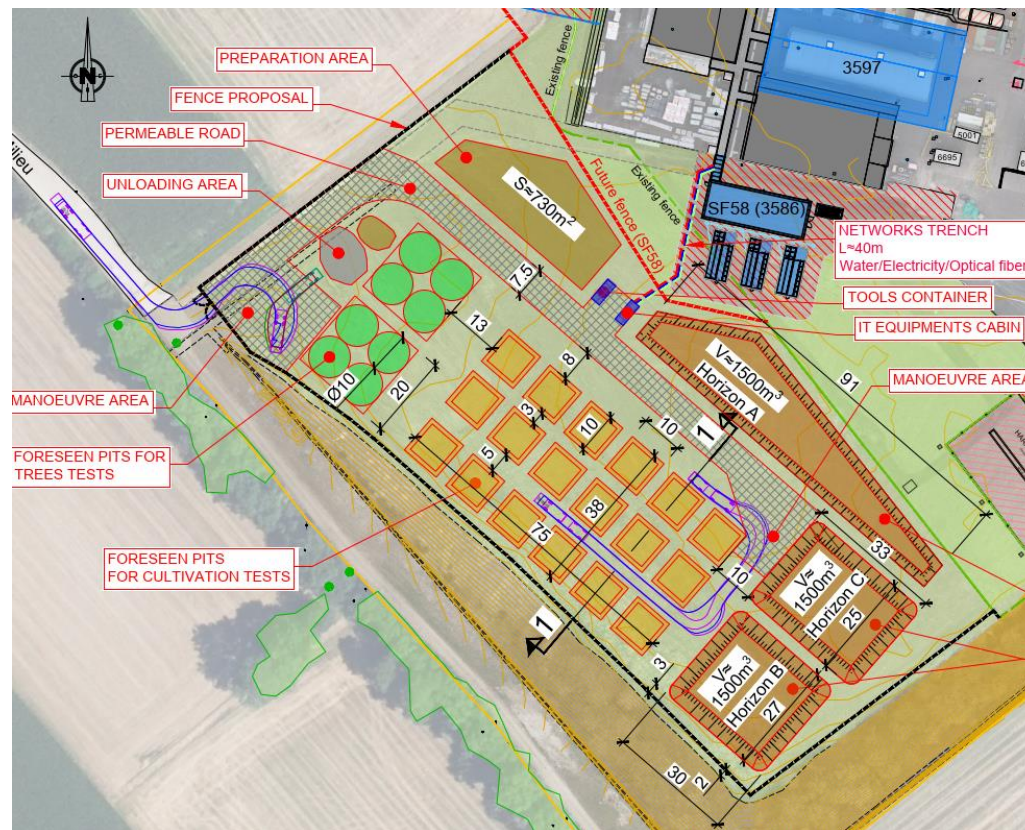
GOAL: demonstrate the feasibility to transform Molasse (excavated material) into fertile soil.

- Project launched in January 2024
- 10000 m² near LHC P5 (CMS) in Cessy, France.

Project phases:

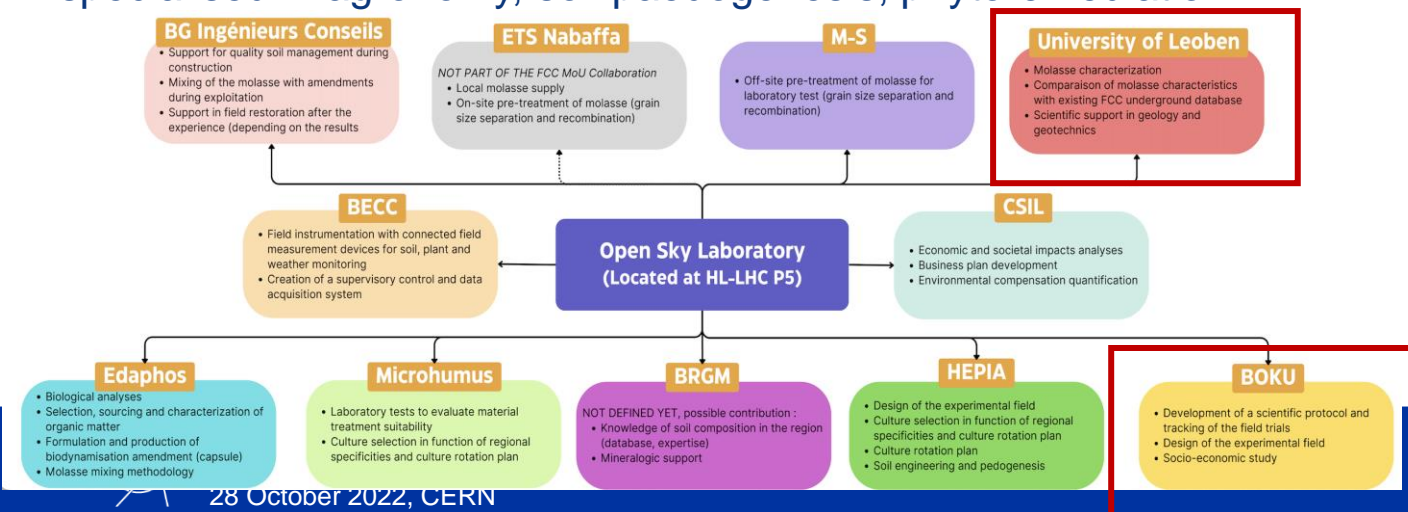
- 1) Laboratory tests to **identify the most suitable mix** of molasse and amendments.
- 2) **Field tests** in a **controlled environment** (plants selected in function of regional specificities and possible soil reuse cases)

International collaboration with partners from academia and industry specialised in agronomy, soil paedogenesis, phytoremediation



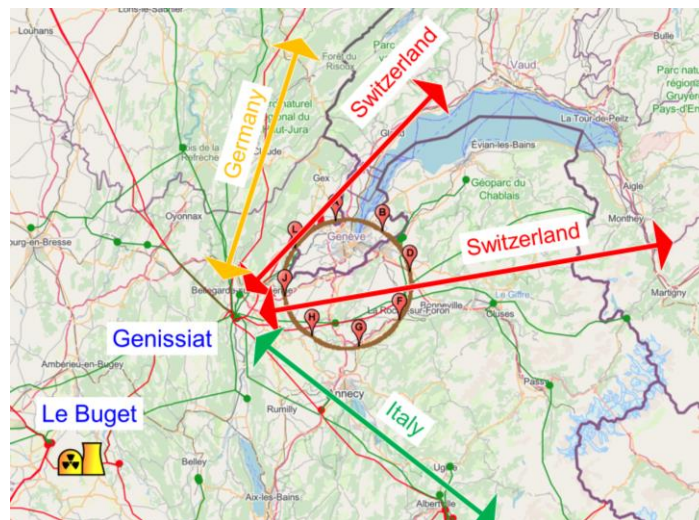
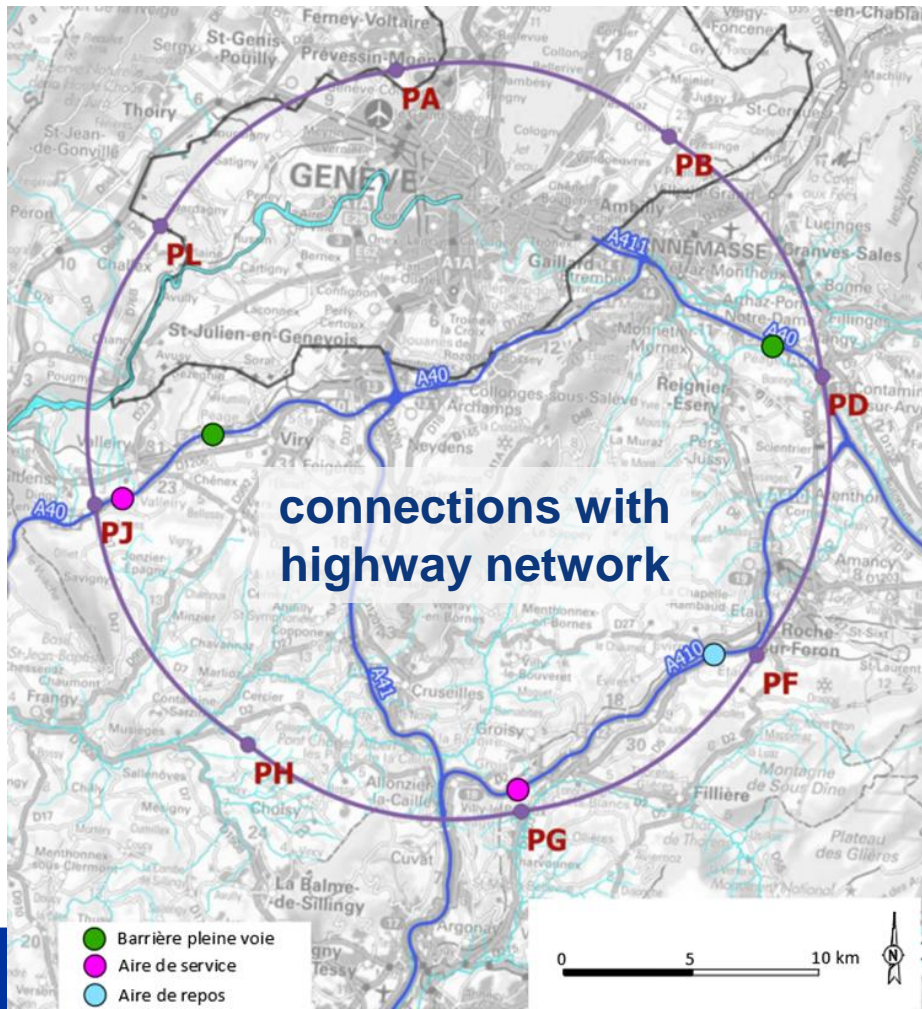
Status - March 2024:

- Project approved at CERN level
- Collaboration agreements being signed
- Definition of the laboratory and field tests

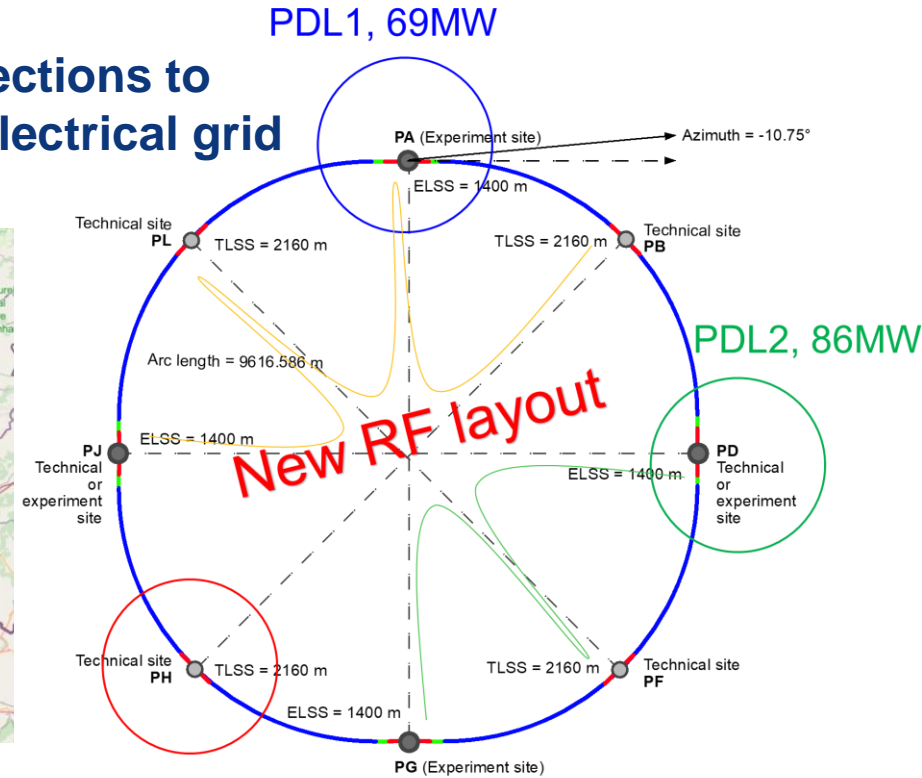


Connections with regional infrastructure

- Road accesses developed for all 8 surface sites
- Four possible highway connections defined
- Less than 4 km new departmental roads required

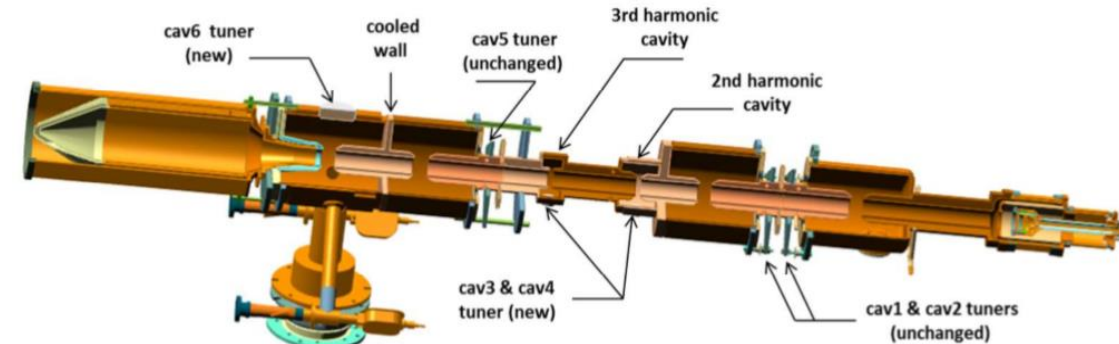


connections to French electrical grid

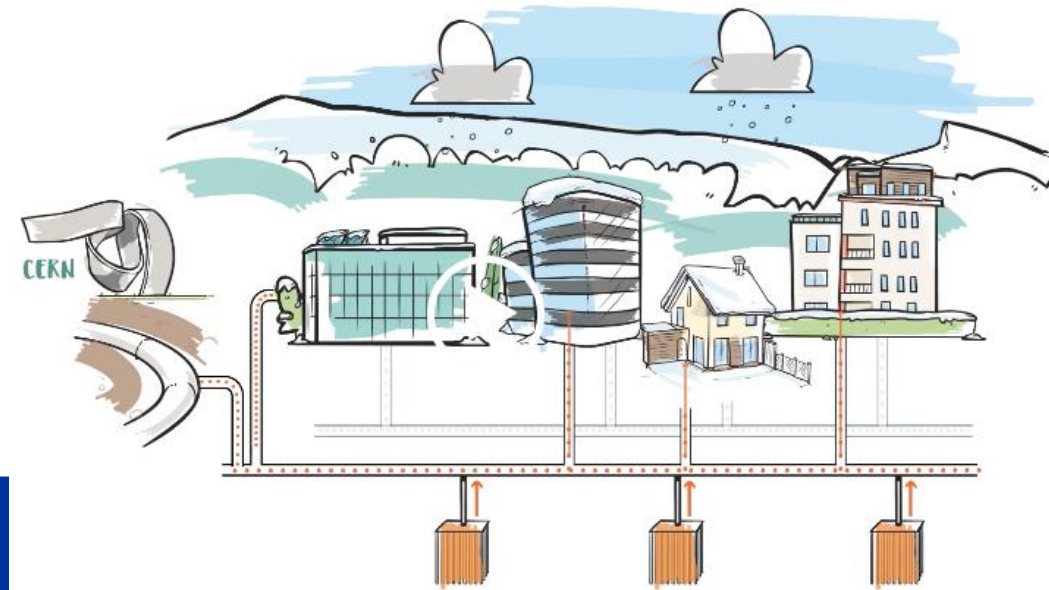


- Electrical connection concept studied by RTE (French electrical grid operator) → requested loads have no significant impact on grid
- Powering concept and power rating of the three substations compatible with FCC-hh
- R&D efforts aiming at further reduction of the energy consumption of FCC-ee and FCC-hh

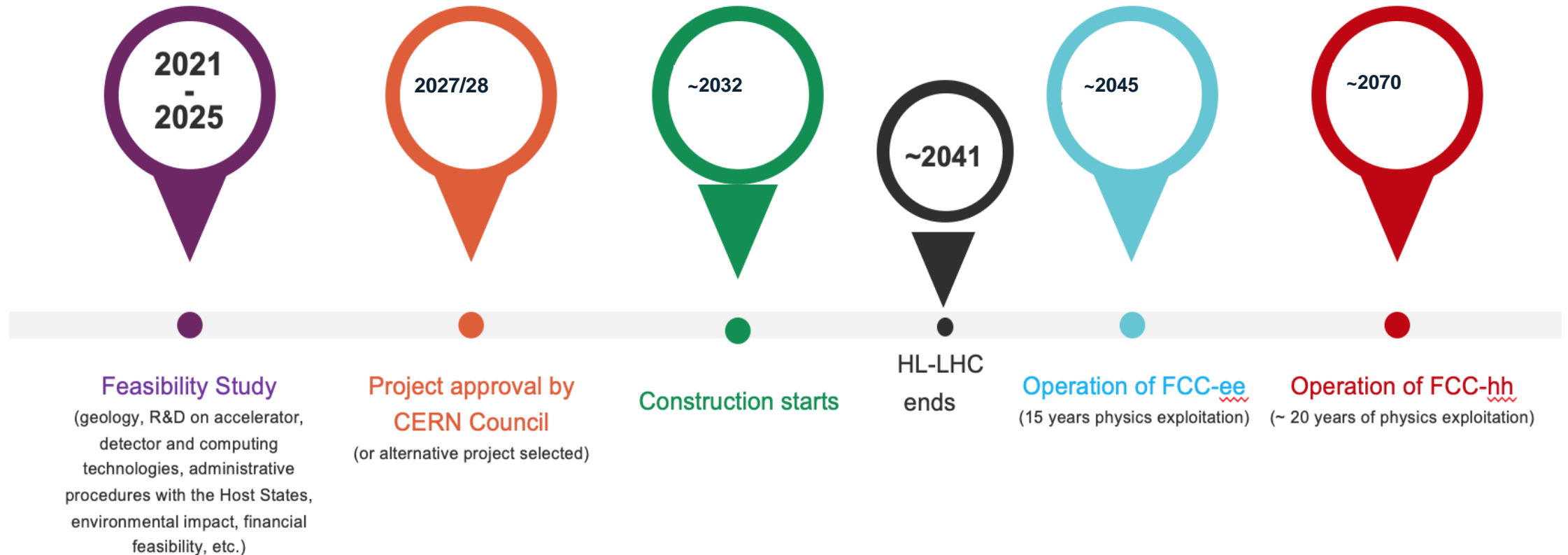
- **Next generation facilities should meet high environmental standards and be energy efficient**
 - Needs to be addressed in all phases of the project (design, construction and operation)
- **Energy efficient technology - R&D with industry**
 - Radio-frequency power production efficiency
 - Efficiency of cryogenics plants, new coolants e.g. Helium, etc.
- **Optimisation of collider operation modes**
 - Adapt operation mode and energy consumption to the availability of electrical energy on the regional grid.
 - Source renewable power
- **Waste heat reuse (few 100 GWh/y potential)**
 - Identification of opportunities in the region,
 - Co-construction with local communes and regional industry. (LHC P8, 40 GWh/year).



Parameter	present TH2167	CSM upgrade
Frequency [MHz]	400	
Beam voltage [kV]	54	
Saturated RF power [kW]	300	350
Efficiency [%]	60	70



Timeline for the integrated programme



Joint Statement of Intent between The United States of America and The European Organization for Nuclear Research concerning Future Planning for Large Research Infrastructure Facilities, Advanced Scientific Computing, and Open Science

The United States and CERN intend to:

- ◆ Enhance collaboration in future planning activities for large-scale, resource-intensive facilities with the goal of providing a sustainable and responsible pathway for the peaceful use of future accelerator technologies;
- ◆ Continue to collaborate in the feasibility study of the Future Circular Collider Higgs Factory (FCC-ee), the proposed major research facility planned to be hosted in Europe by CERN with international participation, with the intent of strengthening the global scientific enterprise and providing a clear pathway for future activities in open and trusted research environments; and
- ◆ Discuss potential collaboration on pilot projects on incorporating new analytics techniques and tools such as artificial intelligence (AI) into particle physics research at scale.

Should the CERN Member States determine the FCC-ee is likely to be CERN's next world-leading research facility following the high-luminosity Large Hadron Collider, the United States intends to collaborate on its construction and physics exploitation, subject to appropriate domestic approvals.

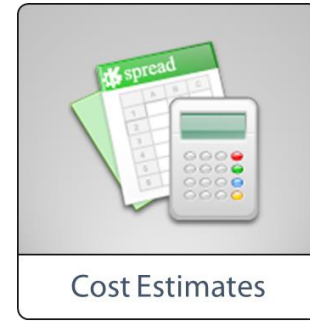
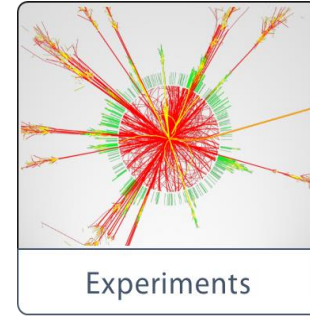
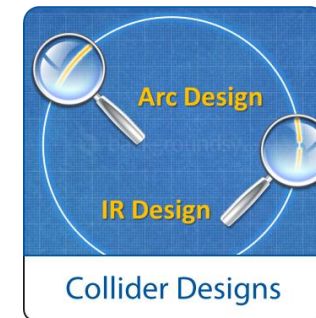
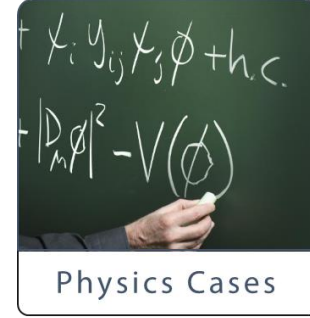
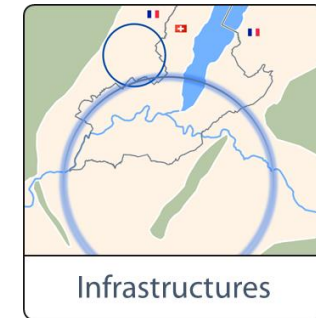
26 April 2024

White House Office of Science and Technology Policy Principal Deputy U.S. Chief Technology Officer Deirdre Mulligan signed for the United States while Director-General Fabiola Gianotti signed for CERN.



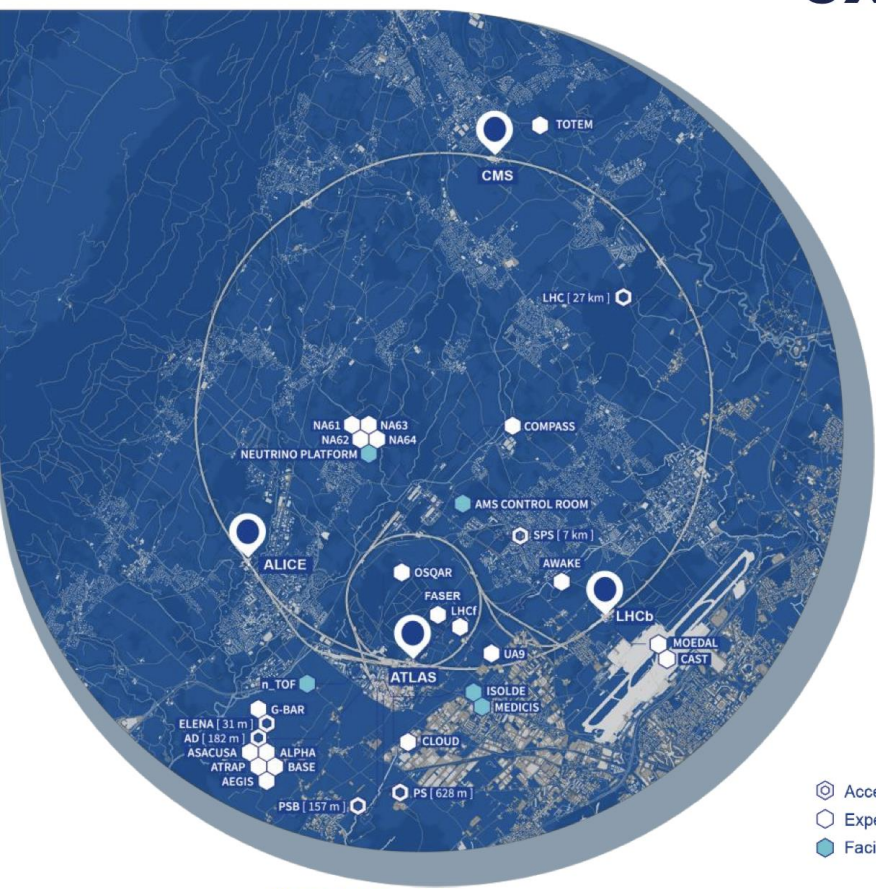
High-level goals of the FCC Study

- **Optimisation of placement and layout of the ring**, and demonstration of the geological, technical, environmental and administrative feasibility of the tunnel and surface areas.
- **Consolidation of the physics case** and detector concepts, optimisation of the **design of the colliders and the injectors**, supported by **R&D for key technologies**.
- Development of the technical infrastructure concepts and integration with territorial constraints and identification of opportunities for co-construction.
- Elaboration of a **sustainable operational model for the colliders** and experiments in terms of human and financial resource needs, **environmental aspects and energy efficiency**.
- **Identification of substantial resources** from outside CERN's budget for the implementation of the first stage of a possible future project.
- Final deliverable is a **Feasibility Study Report by end 2025**.





Austria has a strong involvement across the CERN experimental programme



Presentation - Austria



LHC EXPERIMENTS:

ALICE 1 Institute, 11 Participants

ATLAS 2 Institutes, 11 Participants

CMS 1 Institute, 53 Participants

FIXED TARGET EXPERIMENTS

- CLOUD
 - nToF
- 3 institutes, 11 Participants

ISOLDE
3 institutes, 12 Participants

ANTI-PROTON EXPERIMENTS

- ASACUSA
 - AEGIS
- 2 institutes, 22 Participants

- LHC Grid Computing Tier-2 centre in Vienna (HEPHY/CLIP)
- Significant involvement in studies for the future (FCC) with several institutes/universities strongly involved
- Austrian PhD Programme at CERN
- MEDAUSTRON

... and many more Austrian colleagues to run the CERN accelerator complex!

Outcome and To-Do-List

- **Share your experience with your students, your colleagues, and the general public.**
- **Act as ambassadors for science/engineering and in particular for particle physics (and accelerator physics 😊).**
- **Organise follow-up activities.**

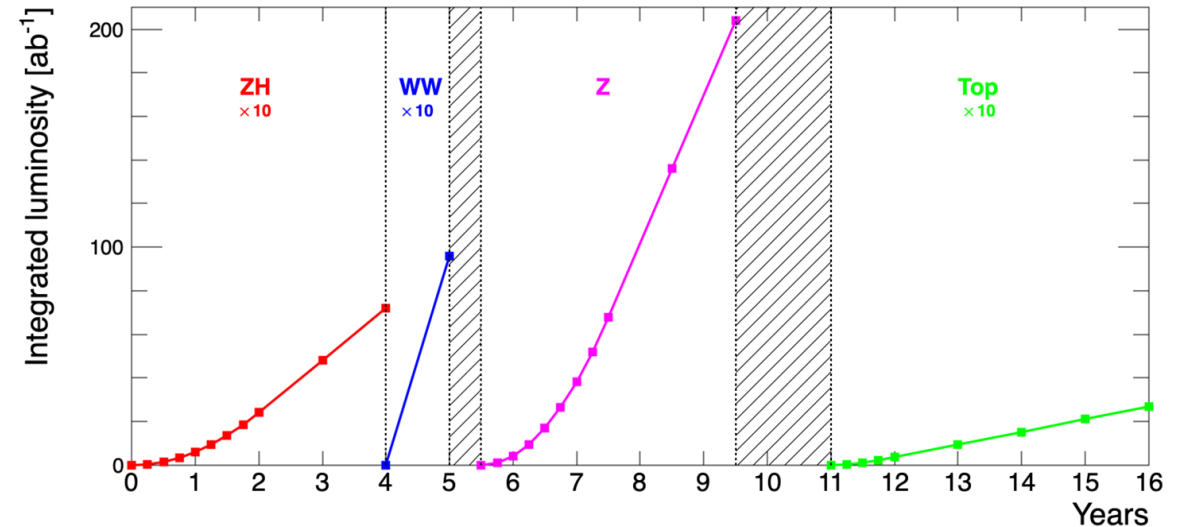
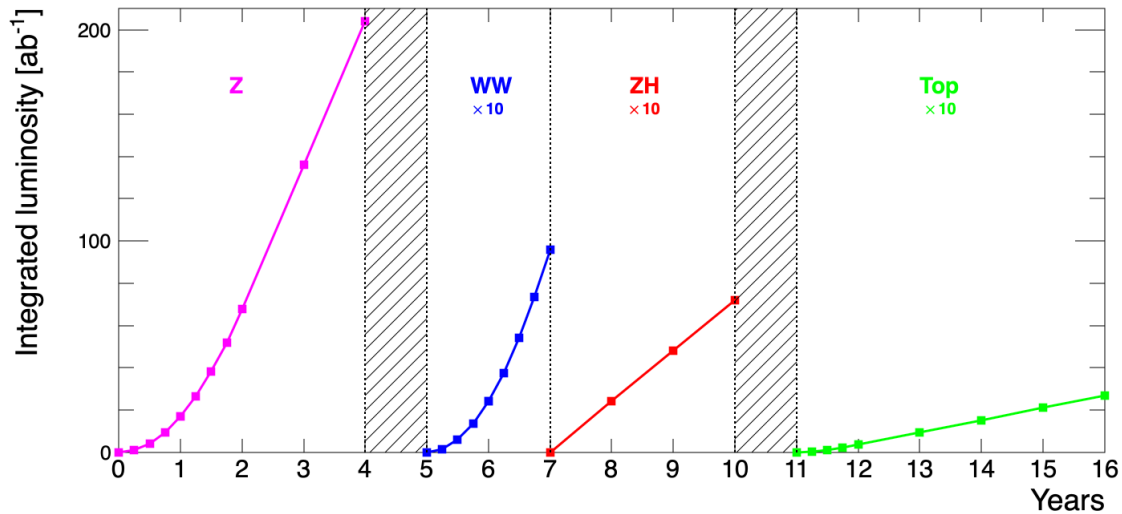
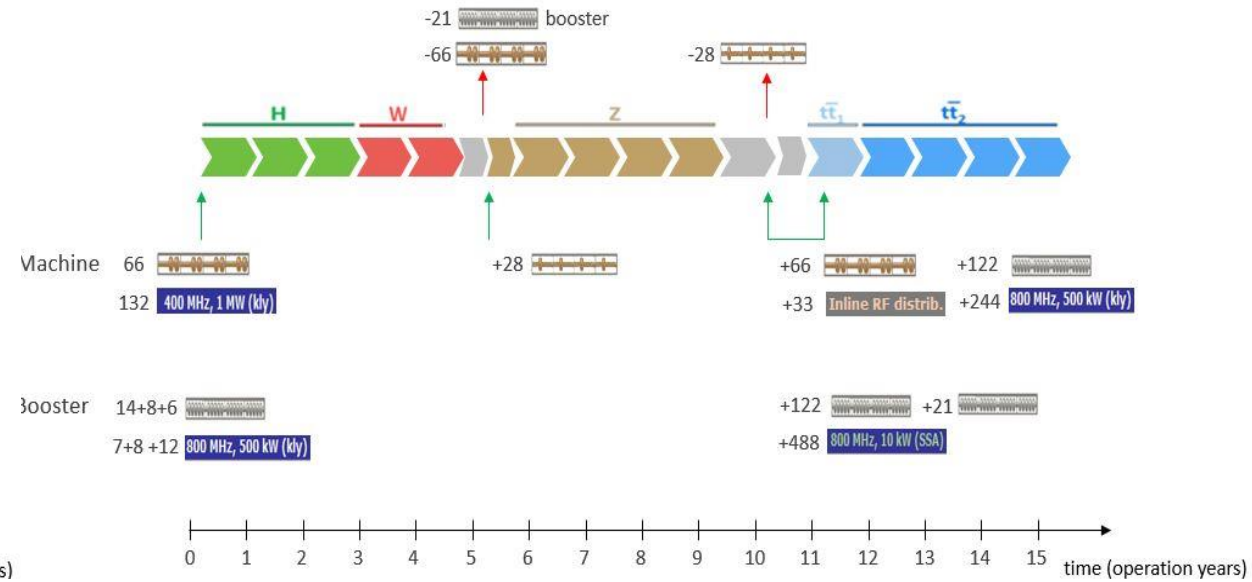
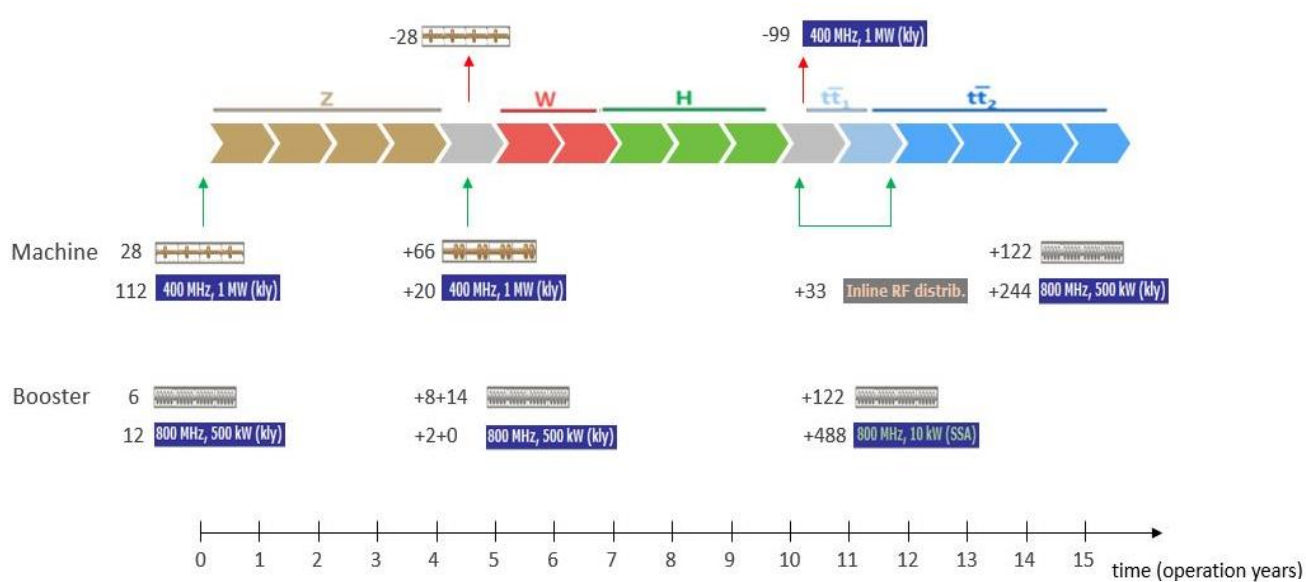




Danke fuer Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Operation sequences for FCC-ee and RF configuration



- Evolution of RF configuration of collider and booster with beam energies and physics operation points
- Long-term R&D for SRF, in particular for the 800 MHz system

FCC-ee: main machine parameters

Parameter	Z	WW	H (ZH)	ttbar
beam energy [GeV]	45.6	80	120	182.5
beam current [mA]	1270	137	26.7	4.9
number bunches/beam	11200	1780	440	60
bunch intensity [10^{11}]	2.14	1.45	1.15	1.55
SR energy loss / turn [GeV]	0.0394	0.374	1.89	10.4
total RF voltage 400/800 MHz [GV]	0.120/0	1.0/0	2.1/0	2.1/9.4
long. damping time [turns]	1158	215	64	18
horizontal beta* [m]	0.11	0.2	0.24	1.0
vertical beta* [mm]	0.7	1.0	1.0	1.6
horizontal geometric emittance [nm]	0.71	2.17	0.71	1.59
vertical geom. emittance [pm]	1.9	2.2	1.4	1.6
horizontal rms IP spot size [μm]	9	21	13	40
vertical rms IP spot size [nm]	36	47	40	51
beam-beam parameter ξ_x / ξ_y	0.002/0.0973	0.013/0.128	0.010/0.088	0.073/0.134
rms bunch length with SR / BS [mm]	5.6 / 15.5	3.5 / 5.4	3.4 / 4.7	1.8 / 2.2
luminosity per IP [$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	140	20	5.0	1.25
total integrated luminosity / IP / year [ab^{-1}/yr]	17	2.4	0.6	0.15
beam lifetime rad Bhabha + BS [min]	15	12	12	11

Design and parameters dominated by the choice to allow for 50 MW synchrotron radiation per beam.

4 years
 5×10^{12} Z
 LEP $\times 10^5$

2 years
 $> 10^8$ WW
 LEP $\times 10^4$

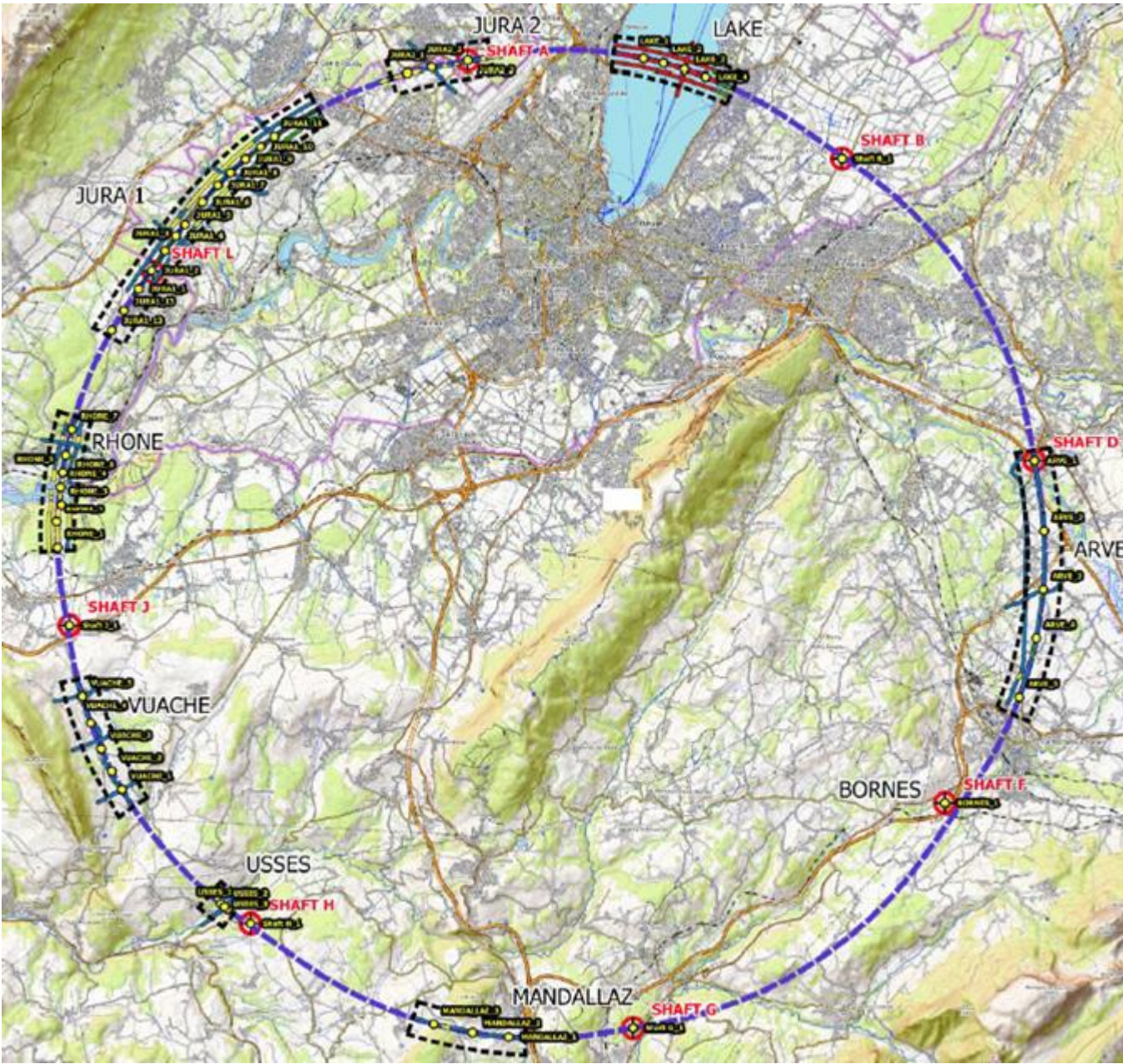
3 years
 2×10^6 H

5 years
 2×10^6 tt pairs

- x 10-50 improvements on all EW observables
- up to x 10 improvement on Higgs coupling (model-indep.) measurements over HL-LHC
- x10 Belle II statistics for b, c, τ
- indirect discovery potential up to ~ 70 TeV
- direct discovery potential for feebly-interacting particles over 5-100 GeV mass range

Up to 4 interaction points \rightarrow robustness, statistics, possibility of specialised detectors to maximise physics output

Status site investigations



- **Site investigations in areas with uncertain geological conditions:**
 - Optimisation of localisation of drilling locations ongoing with site visits since end 2022.
- **Contracts Status:**
 - Contract for engineering services and role of Engineer during works, active since July 2022
 - Contracts for drillings and seismics in final negotiation round.
 - Start of work in June 2024.



Sondage A89 (2007) incliné de 45° de 125 ml (surface plateforme estimée : 12 x 12 m soit environ 150 m²)



Drilling works on the lake

FCC organigram shows important Austrian involvement

