

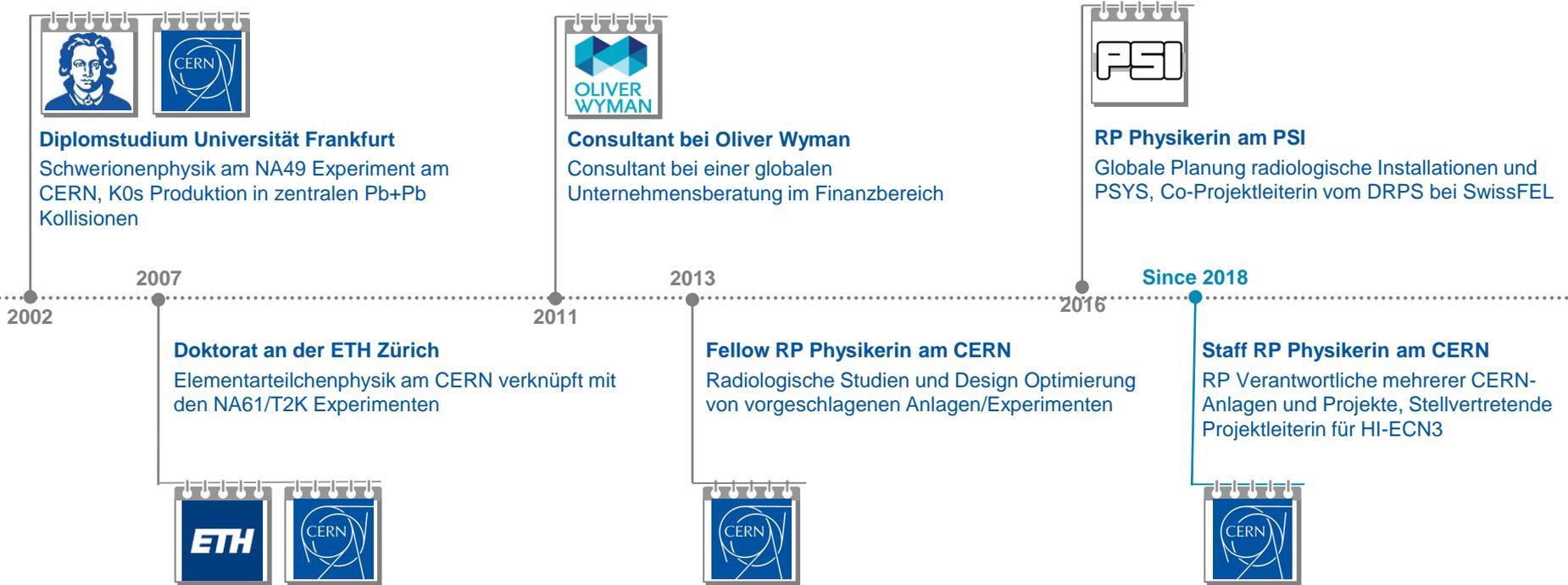


Claudia Ahdida



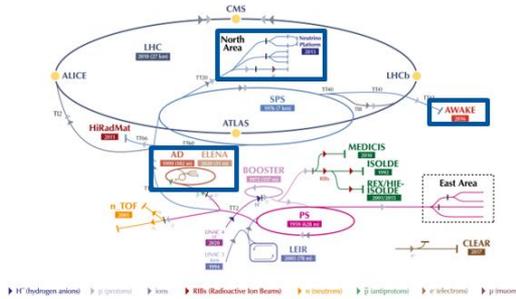
*Physikerin im Strahlenschutz
am CERN*

Meine Karriere in Kürze



RP Physikern am CERN

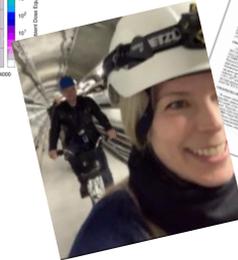
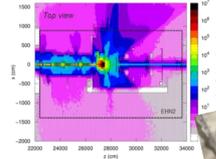
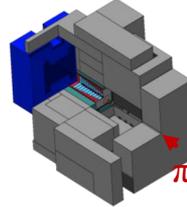
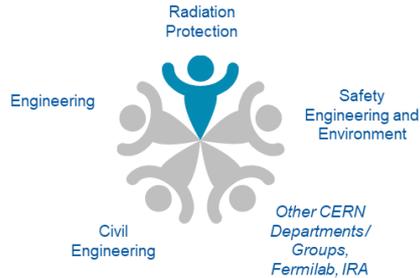
CERN Beschleunigerkomplex



Copyright
CERN. Source
CERN CDS

• Strahlenschutzverantwortliche

- North Experimental Area (EHN1, EHN2, ECN3 und sekundäre Strahltransferlinien)
- AD und ELENA
- AWAKE
- CNGS Abbau
- Physics Beyond Colliders (BDF, HIKE, SHADOWS, NA60++, AMBER)
- Muon Collider



Outreach-Aktivitäten

Femmes et filles de science et technologie

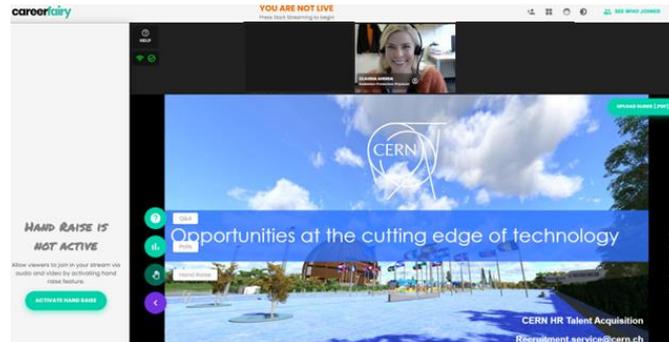


Nuit de la science

BBC Radio 5



CareerFairy Webinar



CrossING Event Ruhr-Universität Bochum



Guide AD

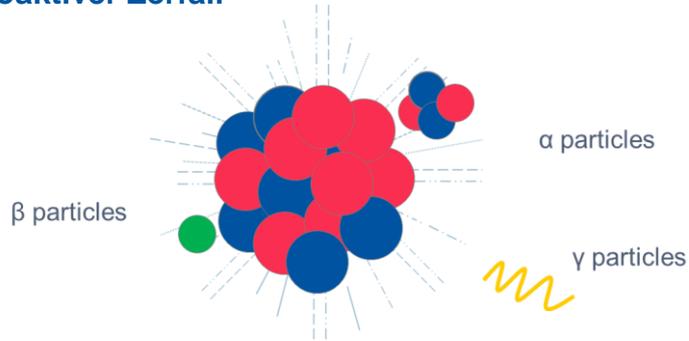
Futur en tous genres

CERN 2019 Open Days Stand

Radioaktivität

Einige Arten von Atomen zerfallen (oder wandeln sich um) spontan und emittieren Teilchen und Strahlung durch einen Prozess, der radioaktiver Zerfall oder Radioaktivität genannt wird. Ionisierende Strahlung ist Strahlung, die genügend Energie trägt, um Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu lösen, wodurch sie geladen werden.

Radioaktiver Zerfall



Ein Atom besteht aus einem Kern, der von einer Wolke von Elektronen umgeben ist. Instabile Kerne zerfallen (oder transformieren sich) spontan und emittieren Teilchen (= Strahlung). Solche Kerne werden radioaktive Kerne genannt

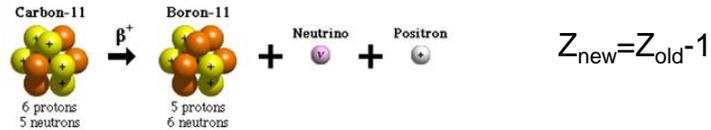
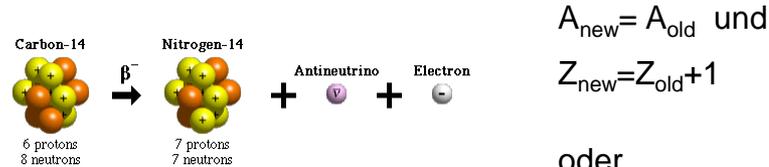
Die einzige Möglichkeit, es nachzuweisen und zu messen, ist die Verwendung spezieller Instrumentierung

Zerfallsarten

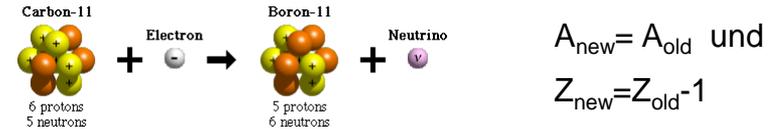
α Zerfall: Emission eines α Teilchens (2 Protonen + 2 Neutronen)



β Zerfall: Emission von 1 Elektron oder Positron und 2 Neutrinos



Elektroneneinfang: Ein Elektron aus der Atomhülle wird von einem Proton eingefangen, was zur Umwandlung in ein Neutron führt



γ -Zerfall: Bei einem Gamma-Zerfall wechselt ein Atomkern von einem höheren in einen niedrigeren energetischen Zustand, indem er ein hochenergetisches Photon (Gamma-Teilchen) aussendet. Die Zusammensetzung des Kerns bleibt unverändert

$$A_{\text{new}} = A_{\text{old}} \text{ und } Z_{\text{new}} = Z_{\text{old}}$$

Alle Bilder von der Jefferson lab Webseite

Aktivität und Effektive Dosis

Aktivität

- Zerfallsrate wird als Aktivität bezeichnet:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

A: Aktivität
N: Anzahl radioaktiver Isotope
t: Zeit

- Das **Becquerel [Bq]** ist die Maßeinheit für Radioaktivität: 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde



Die Aktivität kann mit der Anzahl der Äpfel verglichen werden, die von einem Baum fallen.

- Der Proportionalitätsfaktor wird Zerfallskonstante (λ) genannt und definiert die Wahrscheinlichkeit des Zerfalls pro Zeiteinheit

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

λ : Zerfallskonstante, welche die Geschwindigkeit des Zerfalls definiert

Mit $N(t=0) = N_0$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \leftrightarrow$$

Häufigere Form:

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{\tau_{1/2}}}$$

mit: $\tau_{1/2} = \ln(2)/\lambda$

Aktivität und Effektive Dosis

Aktivität

- Zerfallsrate wird als Aktivität bezeichnet:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

A: Aktivität
N: Anzahl radioaktiver Isotope
t: Zeit

- Das **Becquerel [Bq]** ist die Maßeinheit für Radioaktivität: 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde

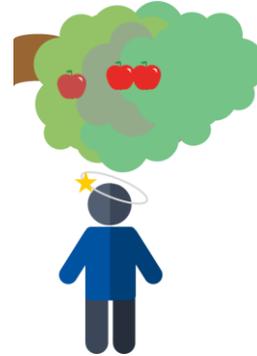


Die Aktivität kann mit der Anzahl der Äpfel verglichen werden, die von einem Baum fallen.

Effektive Dosis

- Die effektive Dosis ist ein Maß für die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf die Gesundheit und den menschlichen Körper
- Das **Sievert [Sv]** ist die Maßeinheit für die effektive Dosis

$$1 \text{ mSv} = 1000 \text{ } \mu\text{Sv} = 1'000'000 \text{ nSv}$$



In der gleichen Analogie kann die effektive Dosis mit den Spuren auf dem Körper verglichen werden, je nach Größe der Äpfel und welcher Teil des Körpers getroffen wird, wenn sie fallen.

Dosimetrische Größen

Protection quantities

Absorbierte Dosis

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

$$[J * kg^{-1}] = [Gy]$$

Physikalische Größe der durch ionisierende Strahlung übertragenen Energie, welche keine biolog. Aspekte berücksichtigt (dieselbe Dosis bedeutet nicht unbedingt dasselbe Risiko)

Äquivalentdosis

$$\text{ICRP60: } H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R}$$

$$\text{ICRP26: } H_T = D_T \times Q \times N$$

$$[J * kg^{-1}] = [Sv]$$

Absorbierte Dosis in Organen/Geweben, angepasst an die Strahlungsart mit Strahlungs-Wichtungsfaktoren

Effektive Dosis

$$\text{ICRP60: } H = \sum_T w_T \times H_T$$

$$\text{ICRP26: } H_E = \sum_T w_T \times H_T$$

$$[J * kg^{-1}] = [Sv]$$

Die Ganzkörperdosis wird durch Organ-/Gewebe-Wichtungsfaktoren ermittelt

	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103	Part 20	w_T	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103	Part 20
	Q	w_R	w_R	w_R					
Photons, all energies	1	1	1	1	Gonads	0.25	0.20	0.08	0.25
Electrons and muons, all energies	1	1	1	1	Breast	0.15	0.05	0.12	0.15
Neutrons, all (unknown) energies	10	Step function	continuous function	10	Red bone marrow	0.12	0.12	0.12	0.12
< 10 keV		5	2.5	2 to 2.5	Lung	0.12	0.12	0.12	0.12
10 - 100 keV		10	2.5 to 10	2.5 to 7.5	Thyroid	0.03	0.05	0.01	0.03
100 - 2 MeV		20	10 to 20	7.5 to 11	Bone surfaces	0.03	0.01	0.04	0.03
2 to 20 MeV		10	7 to 17.5	8 to 9	Colon	0.03	0.12	0.12	-
> 20 MeV		5	5 to 7	3.5 to 8	Stomach	-	0.12	0.12	-
Protons, energy > 2 MeV	10	5	2	10	Bladder	-	0.05	0.04	-
Alpha particles, fission fragments heavy nuclei	20	20	20	20	Oesophagus	-	0.05	0.04	-
					Liver	-	0.05	0.04	-
					Brain	-	-	0.01	-
					Kidney	-	-	-	-
					Salivary Glands	-	-	0.01	-
					Skin	-	0.01	0.01	-
					Remainder	0.30 ^b	0.05 ^c	0.12 ^b	0.30 ^a

Dosimetrische Größen

Absorbierte Dosis

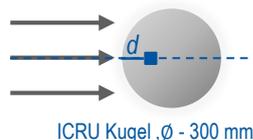
$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

$$[J * kg^{-1}] = [Gy]$$

Physikalische Größe der durch ionisierende Strahlung übertragenen Energie, welche keine biolog. Aspekte berücksichtigt (dieselbe Dosis bedeutet nicht unbedingt dasselbe Risiko)

Umgebungs-dosis-äquivalent $H^*(d)$

Äquivalentdosis in einer Tiefe d in der ICRU-Kugel. Dies ist eine Betriebsgröße für die Bereichsüberwachung



Äquivalentdosis

$$\text{ICRP60: } H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R}$$

$$\text{ICRP26: } H_T = D_T \times Q \times N$$

$$[J * kg^{-1}] = [Sv]$$

Absorbierte Dosis in Organen/Geweben, angepasst an die Strahlungsart mit Strahlungs-Wichtungsfaktoren

Effektive Dosis

$$\text{ICRP60: } H = \sum_T w_T \times H_T$$

$$\text{ICRP26: } H_E = \sum_T w_T \times H_T$$

$$[J * kg^{-1}] = [Sv]$$

Die Ganzkörperdosis wird durch Organ-/Gewebe-Wichtungsfaktoren ermittelt

Protection quantities

- Laut ICRP* wird die 'effektive Dosis weltweit für regulatorische Zwecke verwendet', um Möglichkeiten zur Einhaltung von Dosisgrenzwerten nachzuweisen

*ICRP: International Commission on Radiological Protection

Generelle Strahlenschutzprinzipien



1. Rechtfertigung

Eine Exposition von Personen gegenüber ionisierender Strahlung muss gerechtfertigt sein



2. Dosisbegrenzung

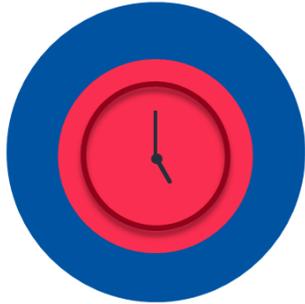
Die individuelle Strahlenbelastung muss unter den gesetzlichen Grenzwerten gehalten werden



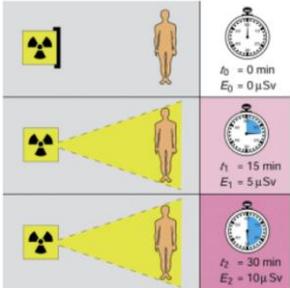
3. Optimierung

Die indiv. und kollektive Strahlenbelastung muss so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA)

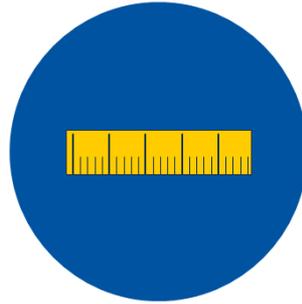
Generelle Schutzmaßnahmen



1. Expositionszeit reduzieren



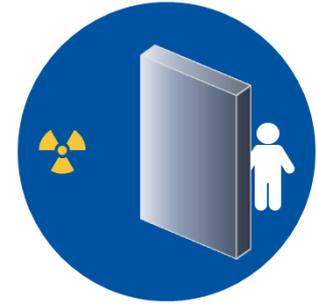
- Dosis ist proportional zur Expositionszeit
- Übung mit Attrappe
- Schnellverbindungen
- Roboter



2. Distanz vergrößern

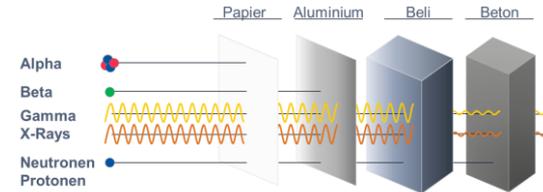


- Distanz zur radioaktiven Quelle halten
- Für Punkttequellen: Dosis $\sim 1/R^2$
- Werkzeug/Detektoren mit Verlängerung

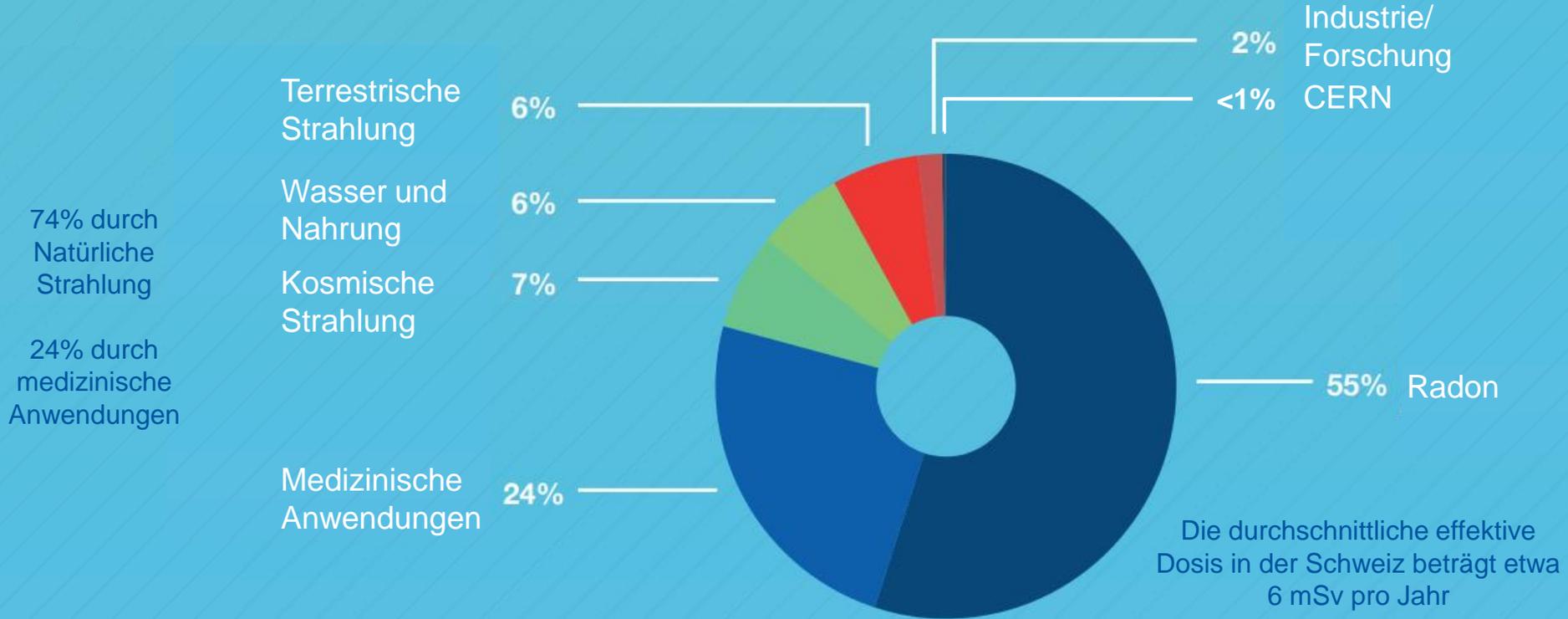


3. Abschirmung vergrößern

- Für die Strahlung angebrachte Abschirmung verwenden



Natürliche und künstliche Strahlung

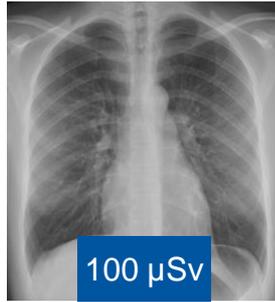


Dosis Rätsel



10 μSv

Röntgenaufnahme
des Fußes



100 μSv

Röntgenaufnahme
des Thorax



0,1 μSv

1 Banane essen



6000 μSv

1 Jahr in der Schweiz



0,05 μSv

Neben jemandem schlafen



10 μSv

1 Woche in den Bergen



600 μSv

1 Tag im Weltraum

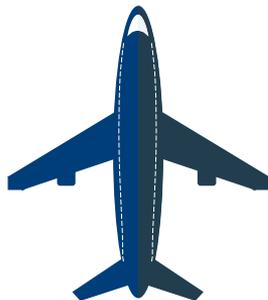


50 μSv

1 Flug Genf-Los Angeles



1.4 mSv
(jährlich)



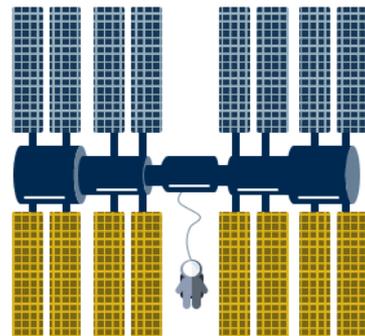
3 mSv
(jährlich)



~ 4 mSv
(jährlich)



20 mSv
(jährlich)



146 mSv
(jährlich)

Dosis

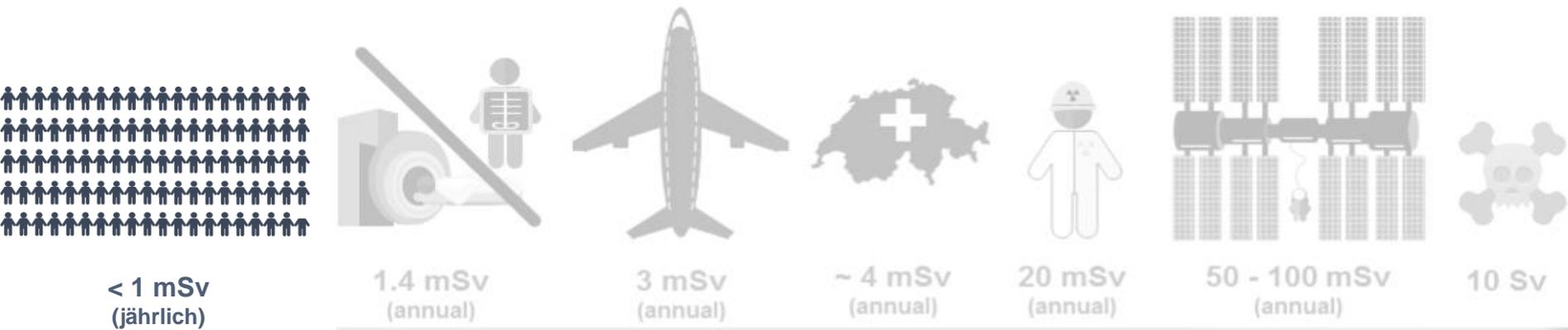
Durchschnittliche
Dosis durch
medizinische
Exposition
(Schweiz)

Durchschnitt
liche Dosis
für Flugzeug-
piloten

Natürliche
Hintergrundst
rahlung in der
Schweiz

Maximale Dosis
für einen
Strahlenarbeiter

Dosis für
Astronauten der
Internationalen
Raumstation



Dosis

Jährliche Dosis von 99.98% des CERN Personals in 2020

Average dose through medical exposure (Switzerland)

Average dose for airplane pilots

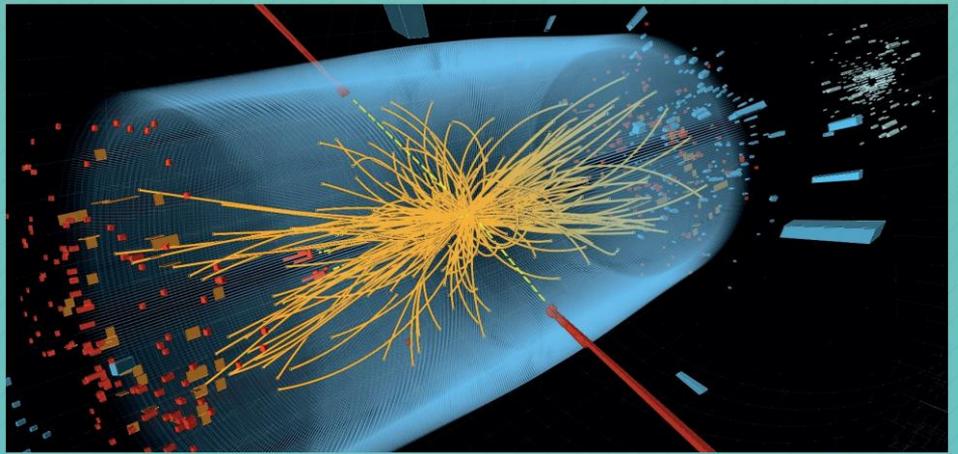
Natural background Radiation in Switzerland

Maximum dose for a nuclear worker

Dose for crew members of International Space Station

Lethal dose 100

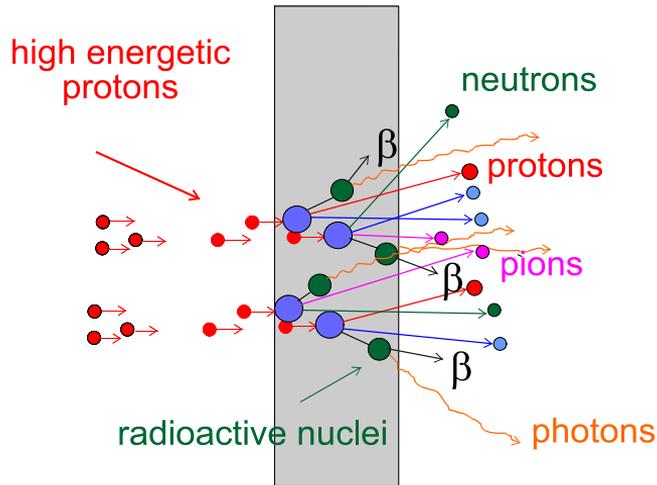
Strahlung am CERN



Hochenergetische Teilchenstrahlen können Sekundärteilchen erzeugen, wenn sie auf Materie treffen. Diese Teilchenschauer erzeugen sogenannte Streustrahlung, wenn der Beschleuniger in Betrieb ist. Diese Strahlung endet, wenn der Beschleuniger abgeschaltet wird

Strahlenfelder an Beschleunigern

Prompte Strahlung – Beschleuniger in Betrieb



Quelle: H. Vincke

*Ein kompletter Zoo
von Teilchen mit
Energien bis zur
ursprünglichen
Strahlenergie*

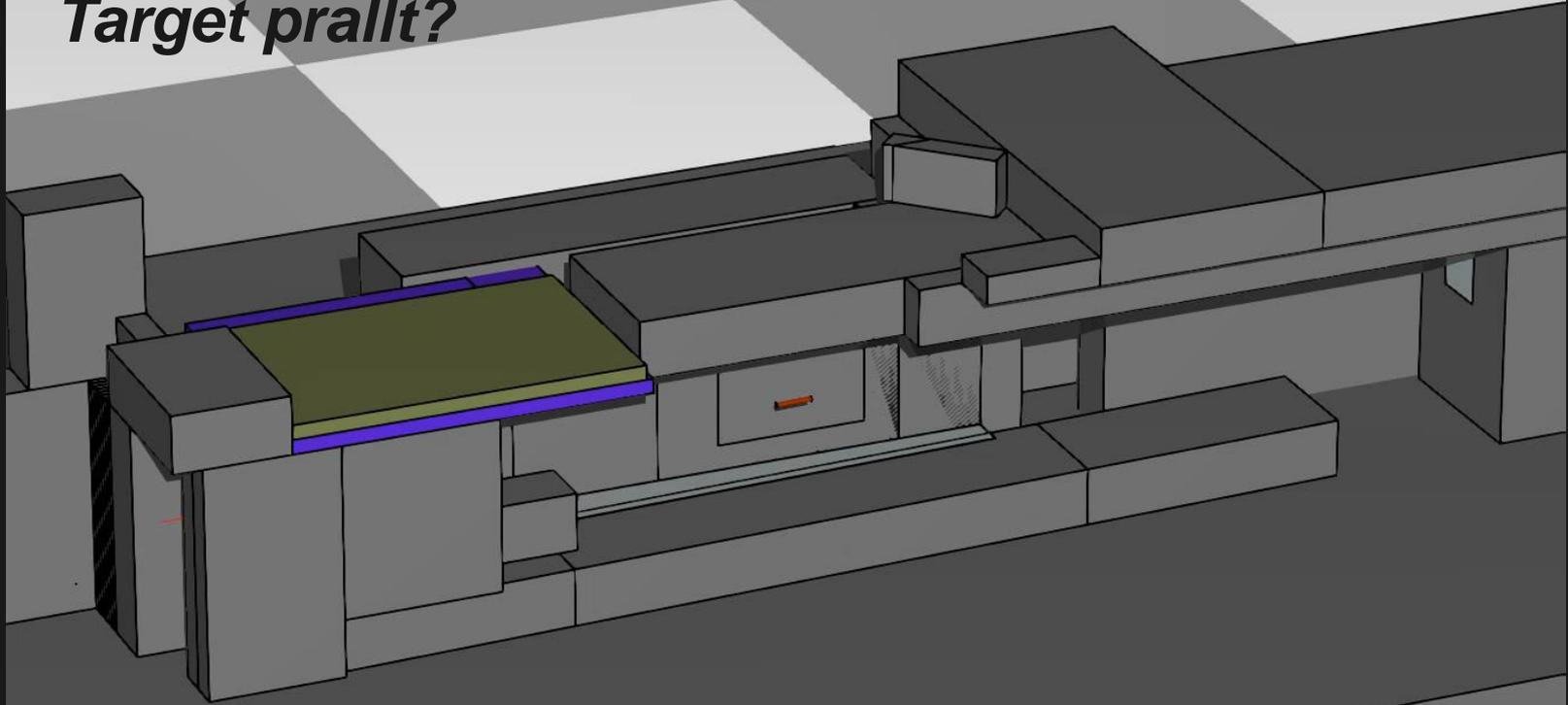


Hochdruck-
Ionisationskammer



REM Detektor

Was passiert wenn 120 GeV Protonen auf ein Target prallt?



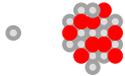
Aktivierung

Bei Hochenergie-Beschleunigern interagieren primäre oder sekundäre Teilchen mit umgebender Materie. Durch die Wechselwirkung mit Atomkernen können radioaktive Isotope erzeugen. Die Hauptproduktionskanäle der Aktivierung in solchen Fällen sind:

Disintegrationsprozesse, z.B. Spallationsreaktion, $(n,2n)$, (n,p) , (n,α) , ...



Teilcheneinfang (hauptsächlich Neutronen)



(γ,n) -Reaktionen



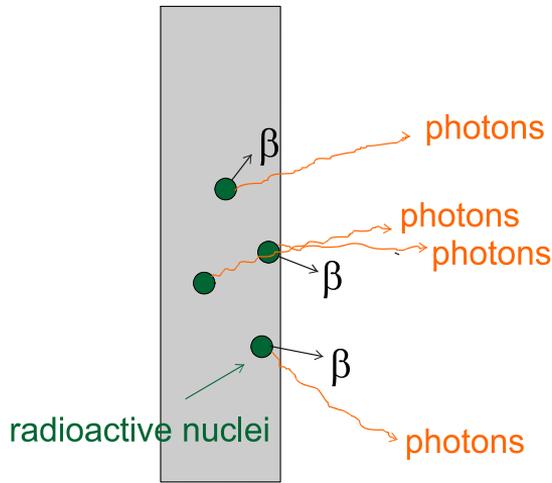
- **Auswirkungen:**
Experimente, Beschleuniger und deren Umgebung können radioaktiv werden und zu Dosis für Personal und Umwelt führen

- **Gegenmaßnahmen:**
 - Strahlverluste verringern
 - Optimierung von Materialien
 - Abschirmung
 - ...

Animationen: H. Vincke

Strahlenfelder an Beschleunigern

Strahlung aufgrund induzierter Radioaktivität – Beschleuniger außer Betrieb



Quelle: H. Vincke

α , β -, γ -Strahlung,
Vorwiegend γ
Energien: < 2.76
MeV

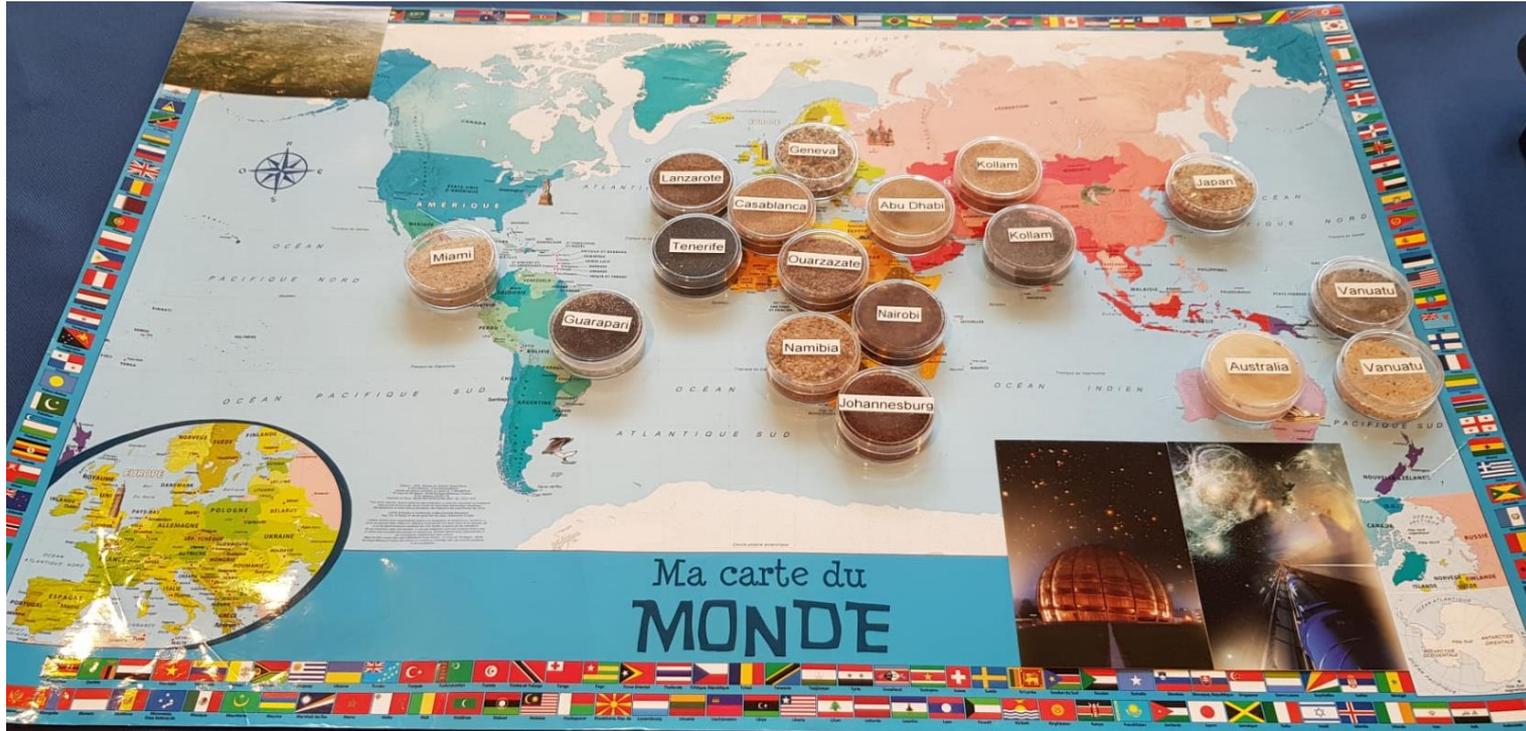


Luftgefüllte
Ionisations-
kammer

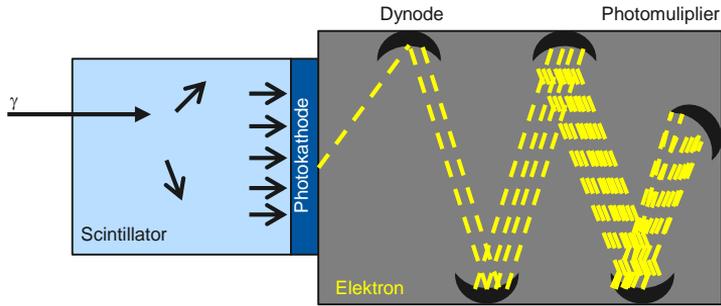


Tragbare Geräte-
AD6 (Geiger-
Mueller Zählrohr)

Messung natürlicher Radioaktivität



Scintillationsdetektor

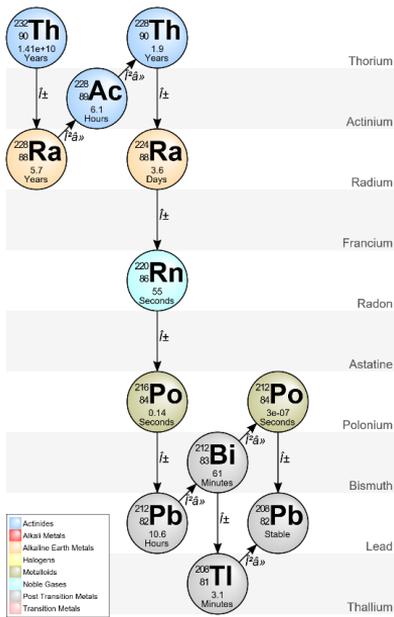


- **Photonen-Materie Reaktionen:**
 - Photoelektrischer Effekt
 - Compton Effekt
 - Paar-Produktion

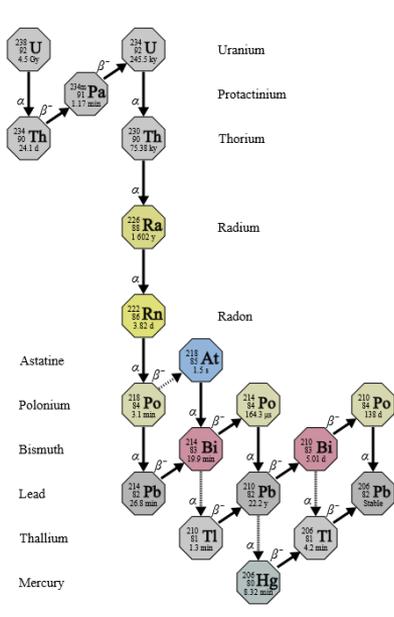
- Gamma-Strahlung trifft auf den Szintillator, welcher die einfallende Strahlung in sichtbare Lichtphotonen umwandelt
- Diese Photonen treffen auf die Photokathode, welche aufgrund des photoelektrischen Effekts Elektronen emittiert
- Die Photomultiplier-Röhre enthält mehrere **Dynoden** mit jeweils erhöhtem Potenzial (Spannung), und wenn die emittierten Elektronen auf sie treffen, werden mehr Elektronen freigesetzt, wodurch das Signal jedesmal verstärkt wird
- **Elektronen vervielfachen sich und erreichen die Anode**, wo ein elektrisches Signal erzeugt wird, das proportional zum ursprünglichen Lichtsignal ist.
- Dieses elektrische Signal kann dann für verschiedene Messungen, wie die Detektion von Strahlung verwendet werden

Natürliche Zerfallsreihen

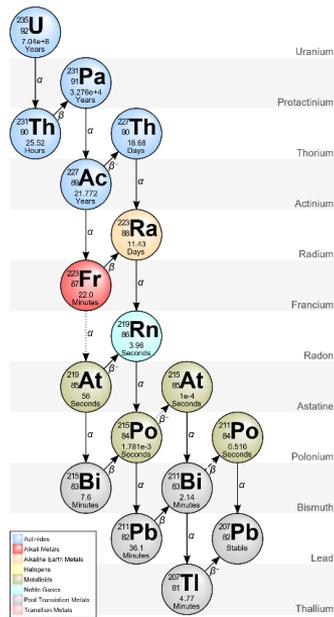
Thorium Reihe



Uran-Radium Reihe



Uran-Actinium Reihe



***** Radioprotection Group *****

INTERFERENCE CORRECTED REPORT

Gamma Spec Guarapari Sand

Nuclide	Halflife	Conf.	Weighted Mean Activity (Bq /unit)	MDA
X Sc-44m	2.44E+000 D	0.864		
X Mn-54	3.12E+002 D	0.858		
Ra-226	@ 1.60E+003 Y	0.716	1.67E+002	9.9%
Th-232	@ 1.41E+010 Y	0.926	1.82E+003	6.6%
U-235	@ 7.04E+008 Y	0.382	1.35E+001	55.1%

? = nuclide is part of an undetermined solution
X = nuclide rejected by the interference analysis
@ = nuclide contains energy lines not used in Weighted Mean Activity

Errors quoted at 2.000 sigma

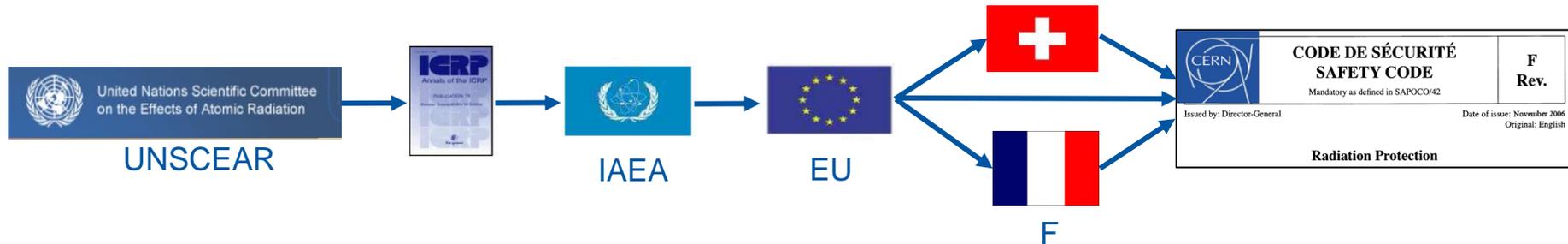
- Die langlebigen Ausgangsisotope dieser Reihen existieren seit der Entstehung der Erde (4.5 Gy) (künstliche Isotope seit den 1940er Jahren)
- Zusätzlich ist ⁴⁰K (t_{1/2} = 1,25 Milliarden Jahre) heute noch vorhanden. ⁴⁰K macht 0,012% des natürlichen Kaliums aus und ist die größte Quelle der natürlichen Radioaktivität beim Menschen (ein 70-kg-Körper enthält 140g K → 0,0164g K, ~4300 Bq)
- Eine Sandprobe aus Guarapari (Brasilien) enthält Monazit mit ²²⁶Ra, ²³²Th und ²³⁵U
- Bananen enthalten ⁴⁰K (~450 mg K, ~0,1 µSv pro Banane)
- Paranüsse enthalten ⁴⁰K, ²²⁶Ra und ²³²Th

CERN Strahlenschutzverordnung

CERN ist eine zwischenstaatliche Organisation, die nicht dem nationalen, sondern dem **internationalen Recht** unterliegt. Ihr Status wurde von ihren Gaststaaten anerkannt, in denen sie deren Sicherheit und Schutz gewährleisten muss.

CERN hat das Recht, **eigene Regeln** aufzustellen, die für das ordnungsgemäße Funktionieren der Organisation notwendig sind, darunter auch Sicherheitsregeln.

CERN verpflichtet sich, **bewährte Praktiken im Bereich des Strahlenschutzes und der Strahlensicherheit** zu befolgen, unter Berücksichtigung der Gesetzgebung der Gaststaaten sowie europäischer und internationaler Standards. Ihre Umsetzung wird zwischen den Behörden der Gaststaaten, ASN (F) und BAG (CH), und CERN gemäß einem „Dreiparteien-Abkommen“ diskutiert, das 2010 unterzeichnet wurde



Generelle Strahlenschutzprinzipien



1. Rechtfertigung

Eine Exposition von Personen gegenüber ionisierender Strahlung muss gerechtfertigt sein



2. Dosisbegrenzung

Die individuelle Strahlenbelastung muss unter den gesetzlichen Grenzwerten gehalten werden



3. Optimierung

Die indiv. und kollektive Strahlenbelastung muss so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA)

Dosisbegrenzung – Safety Code F

Beruflich exponierte Personen

3.2.1 The effective dose received in any consecutive 12-month period by any occupationally exposed person must not exceed 20 mSv.

3.4.1 All occupationally exposed persons are classified in one of two categories:

- a) Category A: persons who may be exposed in the exercise of their profession to more than 3/10 of the limit in terms of effective dose in 12 consecutive months.
- b) Category B: persons who may be exposed in the exercise of their profession to less than 3/10 of the limit in terms of effective dose in 12 consecutive months.

Kategorie A: 20 mSv / Jahr (*)

(*) Auszubildende und Studenten
(Alter 16-18): 6 mSv/Jahr

Kategorie B: 6 mSv / Jahr (*)

Schwangere Personen:
1mSv/ Jahr

Nicht beruflich exponierte Personen

3.2.3 The effective dose received in any consecutive 12-month period by persons not occupationally exposed must not exceed 1 mSv.

1 mSv / Jahr

Umwelt (Bevölkerung)

4.2.1 The effective dose resulting from CERN's activities received by any person living or working outside the site boundaries must not exceed 0.3 mSv per year. This limit includes both external and internal exposure, the latter resulting from the intake of radioactive releases.

0.3 mSv / Jahr

Zonenklassifizierung

Externe Exposition

	Area	Annual dose limit (year)	Ambient dose equivalent rate		Sign 
			permanent occupancy	low occupancy	
	Non-designated	1 mSv	0.5 µSv/h	2.5 µSv/h	
Radiation Area	Supervised	6 mSv	3 µSv/h	15 µSv/h	
	Simple Controlled	20 mSv	10 µSv/h	50 µSv/h	
	Limited Stay	20 mSv	-	2 mSv/h	
	High Radiation	20 mSv	-	100 mSv/h	
	Prohibited	20 mSv	-	> 100 mSv/h	

Gesamtzahl der Arbeitsstunden pro Jahr : 2000 Stunden

Beispiel:
Supervised Area 3 µSv/h × 2000 hrs = 6 mSv

Low-occupancy: < 20% der Arbeitszeit

Zonenklassifizierung

Interne Exposition

CS, CA: Nuklid-spezifische Richtwerte der Schweizer Strahlenschutzverordnung

Richtwerte für Kontaminationen der Luft

1 CA = Effektive Dosis von 20 mSv für einen Aufenthalt von 2000 Stunden/Jahr

Richtwerte für Kontaminationen von Oberflächen

1 CS = 1/10th des Dosisgrenzwertes für die Haut und/oder 0.5 mSv/Jahr für eine tägliche Einnahme von Kontamination auf 10 cm²

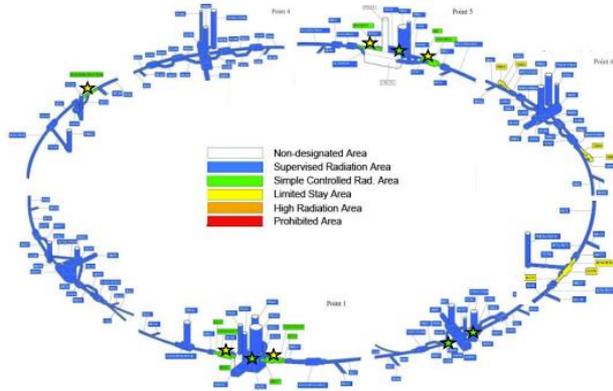
“Keine Kontamination”

- < 1 CS für identifizierte Isotope
- < 1 Bq/cm² für nicht identifizierte Isotope für Gamma und Beta Strahlung
- < 0.1 Bq/cm² für nicht identifizierte Isotope für Alpha Strahlung

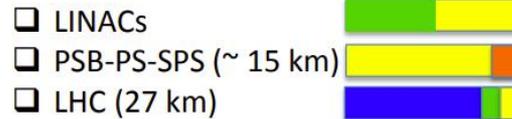
	Area	Annual dose limit (year)	Specific airborne radioactivity	Specific surface contamination	
	Non-designated	1 mSv	0.05 CA	1 CS	
Radiation Area	Supervised	6 mSv	0.1 CA	1 CS	
	Simple Controlled	20 mSv	0.1 CA	1 CS	
	Limited Stay	20 mSv	100 CA	4000 CS	
	High Radiation	20 mSv	1000 CA	40000 CS	
	Prohibited	20 mSv	> 1000 CA	> 40000 CS	

CS

Klassifizierung in 2013



- 45 km of radiation areas:



- 5 Target Areas
- Experimental areas
- LHC experiments
- RIB facility ISOLDE – Class A and C labs
- n-TOF – Class A

Generelle Strahlenschutzprinzipien



1. Rechtfertigung

Eine Exposition von Personen gegenüber ionisierender Strahlung muss gerechtfertigt sein



2. Dosisbegrenzung

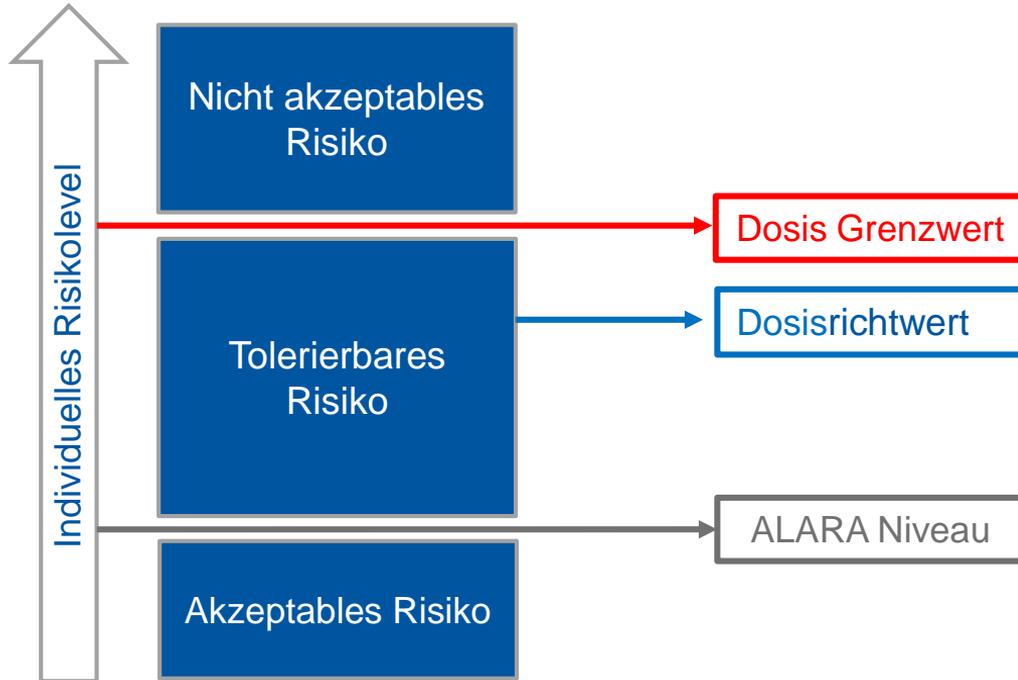
Die individuelle Strahlenbelastung muss unter den gesetzlichen Grenzwerten gehalten werden



3. Optimierung

Die indiv. und kollektive Strahlenbelastung muss so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA)

Optimierung der Dosis am CERN



	CERN-Arbeiter		Bevölkerung
	„Radiation Workers“	Andere	
	20 mSv/yr*	1 mSv/yr	300 µSv/yr
	3 mSv/yr	100 µSv/yr	10 µSv/yr
	Optimierungsprozess		
	100 µSv/yr	10 µSv/yr	10 µSv/yr

* Auszubildende und Studenten (Alter 16-18): 6 mSv/Jahr
Schwangere Personen: 1mSv/ Jahr

CERN ALARA Kriterien und Niveaus

Optimierung ist eine gesetzliche Anforderung, wenn die kumulierte Dosis 100 μSv (ALARA) überschreitet

Optimierung umfasst verschiedene Bereiche/Aspekte: Arbeitskoordination, Arbeitsverfahren, Handhabungswerkzeuge, Design, Materialauswahl

Gruppe 1 Kriterien definieren das sog. ALARA Niveau

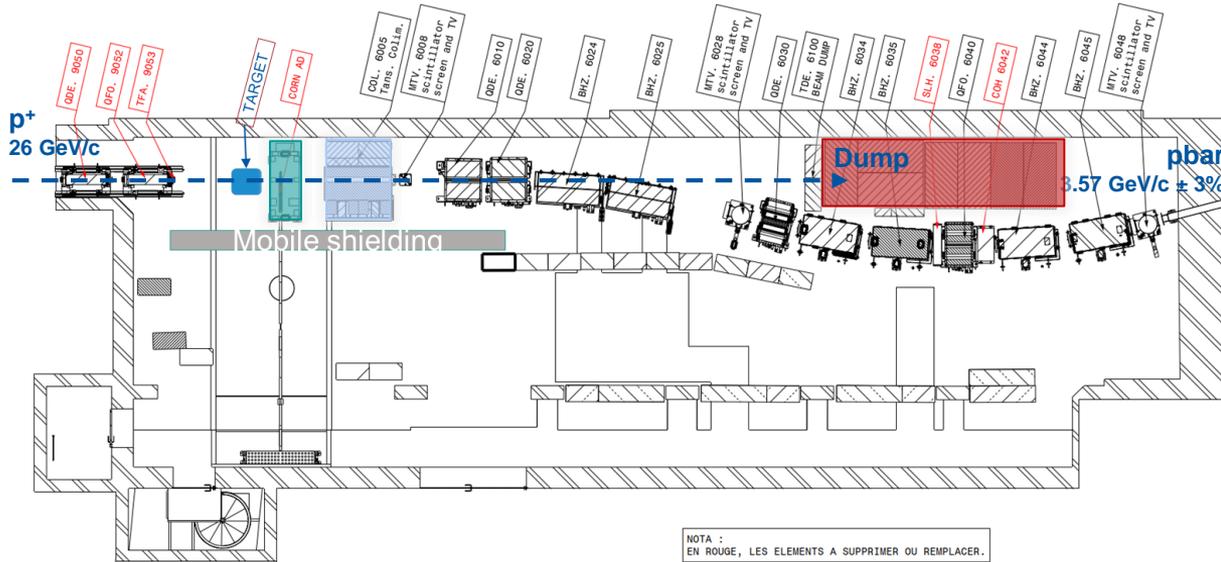
ALARA Komitee

Individual dose equi.	Level I	100 μSv	Level II	1 mSv	Level III
Collective dose equi.		500 μSv		5 mSv	

Gruppe 2 Kriterien sind die Grundlage für radiologische Risikoanalysen (inklusive Unfall- und Vorfallszenarien) des Radiation Safety Officers und HSE-RP vor der endgültigen ALARA-Stufeneinstufung der Intervention

Ambient dose equivalent rate	Level I	50 $\mu\text{Sv/hr}$	Level II	2 mSv/hr	Level III
Airborne activity in CA		5 CA		200 CA	
Surface contamination in CS		10 CS		100 CS	

CERN AD – Target Bereich



Target

Erzeugung von Sekundärteilchen (u.a. Anti-protonen) durch die Kernwechselwirkungen zw. dem Protonenstrahl und Iridium-Target

Magnetisches Horn

Fokussierung gewünschter geladener Teilchen in Strahlrichtung

Kollimator

Reduzierung unerwünschter Sekundärteilchen zum Schutz der dahinterliegenden Magneten und Verringerung der Aktivierung

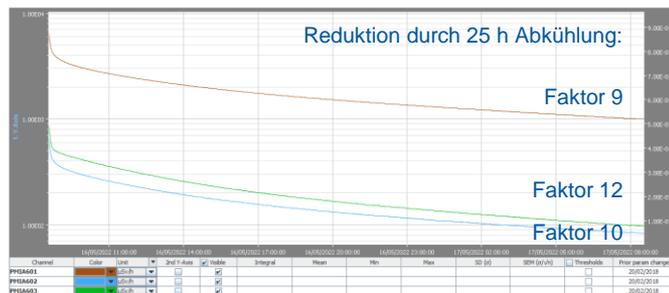
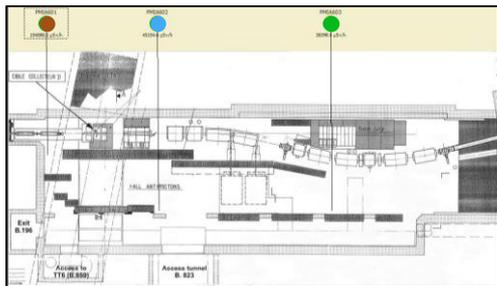
Dump

Absorbiert den verbleibenden primären Protonenstrahl

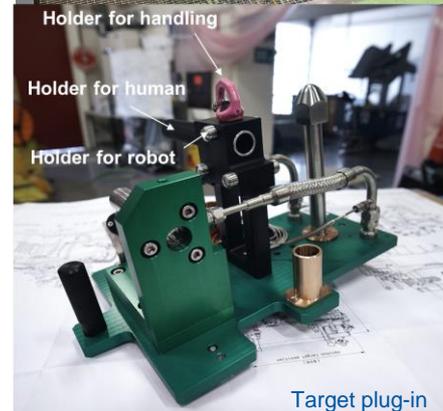
Magnetisches „dog-leg“

Magnetische Auswahl von Teilchen mit 3.57 GeV/c \pm 3% welche in den AD-Ring injiziert und entschleunigt werden

AD Target Austausch – ALARA L2



- AD Target Austausch innerhalb eines kurzen Technical Stopps
- Sehr hohe Dosisleistungen in der Nähe des Targets mit 60 mSv/h bei 40 cm Distanz nach 25 Stunden → 1 min ↔ 1 mSv!
- AD Target Bereich wurde in 2019/2020 renoviert: mit Target „plug-in“ System mit leichter Handhabung durch einen Roboter
- Vorab Übung des AD Target Austauschs und intensive Vorbereitung
- Mobile Abschirmung und abgeschirmter Container des Targets
- Schnelle Installation eines leichten Gitters
- 40 µSv maximale individuelle Dosis und 156 Personen.µSv kollektive Dosis



ALARA im Beschleunigerdesign

Bis 2018

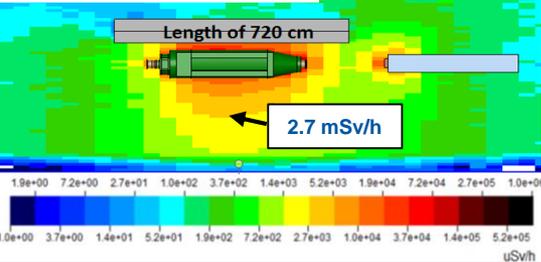
Seit 2021

... zu einem voll RP-optimierten, stark abgeschirmten Dump SPS LSS5

Von einem einfachen "beam stopper" in SPS LSS1...



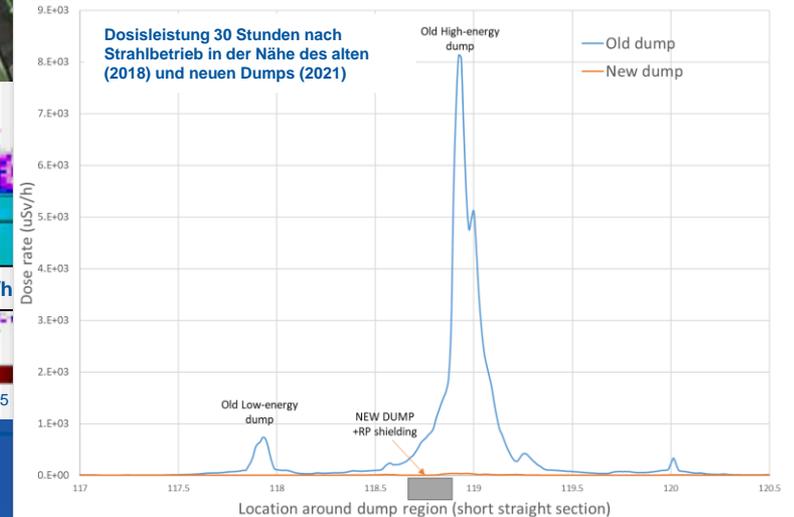
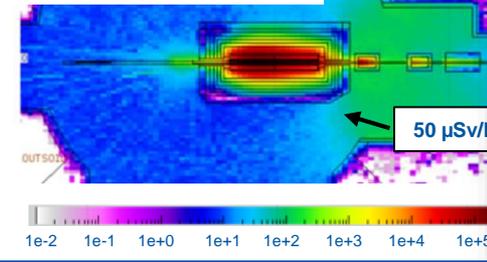
1E18 Protonen/Jahr, 1 Woche Cooling



Starke Verringerung der remanenten Dosisleistung und Luftaktivierung

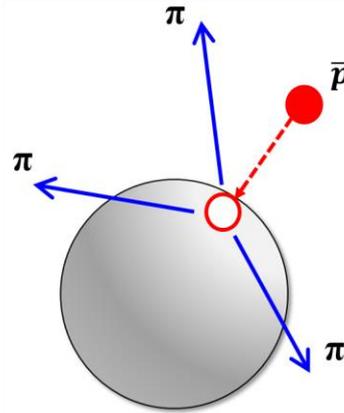
Keine Strahlungsschäden des Equipments in der Nähe des Dumps

2E18 Protonen/Jahr, 1 Woche Cooling

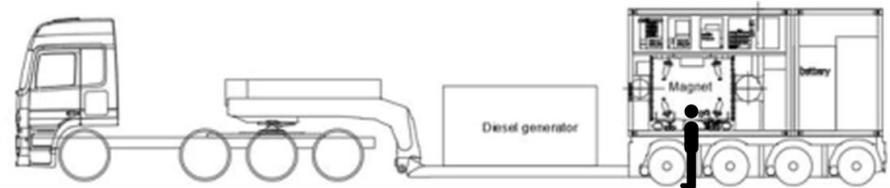
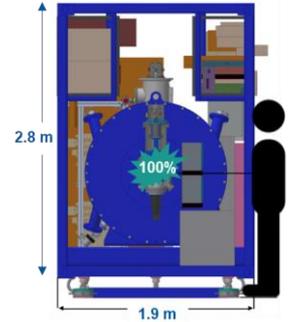


ALARA im Design von Experimenten

- PUMA (antiProton Unstable Matter Annihilation) ist ein genehmigtes Kernphysik Experiment am CERN
- Es hat das Ziel, das Neutron-zu-Proton-Verhältnis am Rande der Kerndichte stabiler und instabiler Kerne durch Antiproton-Kern-Annihilationen zu charakterisieren
- Die emittierten Teilchen sollen gemessen werden, um die Oberflächeneigenschaften der Kerne zu charakterisieren
- Derzeit bietet keine Anlage weltweit niederenergetische Antiprotonen, die als Sonden für instabile Kerne verwendet werden können
- PUMA beabsichtigt Antiprotonen zu fangen und sie von AD/ELENA nach ISOLDE zu transportieren



- 1 Annihilation with a proton or a neutron
- 2 Pion emission (electric charge conserved)



- Bei einem Transport von 10^9 Antiprotonen kann in dem aller schlimmsten Unfall eine Dosis von lediglich **15 μSv** erreicht werden

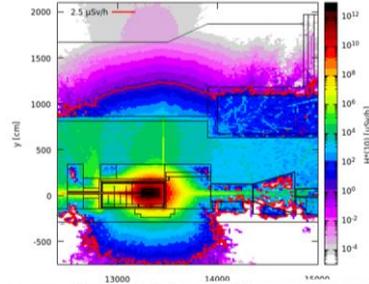
ALARA im Design von Experimenten

Design einer neuen Anlage am SPS für das Experiment SHiP das nach dunkler Materie sucht

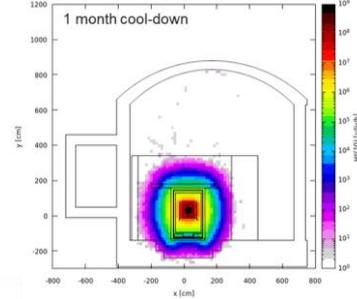
BBC Artikel: CERN Scientists search for mysterious ghost particles



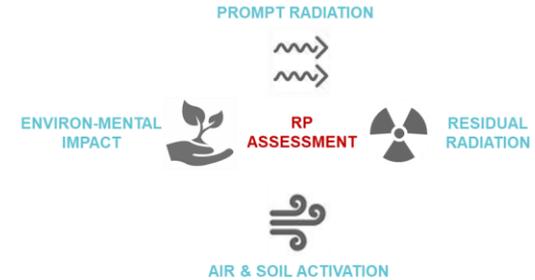
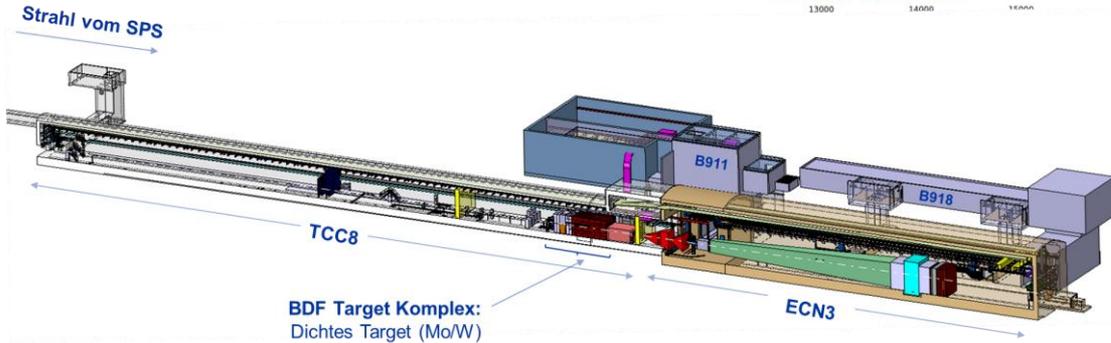
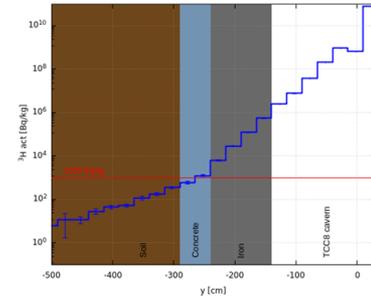
Prompte Dosisleistung



Remanente Dosisleistung



H-3 Produktion



CERN Strahlenschutzgruppe

Mandat

“Die Strahlenschutzgruppe (HSE-RP) stellt sicher, dass das Personal am CERN und die Bevölkerung vor potenziell schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung im Zusammenhang mit den Aktivitäten von CERN geschützt sind. Die RP-Gruppe erfüllt ihr Mandat in Zusammenarbeit mit den CERN-Abteilungen, die Quellen ionisierender Strahlung besitzen oder betreiben und die Verantwortung für die Strahlensicherheit dieser Quellen tragen

Operationeller Strahlenschutz

- Risikoanalysen des Personals und der Bevölkerung
- Definition von Schutzmaßnahmen, Betriebserlaubnis
- Führung bei der Umsetzung des ALARA-Prinzips
- Studien für Projekte und Upgrades
- Forschung und Entwicklung von Tools und Methoden, Betrieb der Shielding Benchmark Facility

Strahlenschutz der Umwelt

- Umweltüberwachungsprogramm und Studien zur Umweltauswirkung für Upgrades und neue Anlagen

Management des radioaktiven Abfalls

- Behandlung und Zwischenlagerung
- Entsorgung von Abfällen in die Gaststaaten
- Unterstützung der Abteilungen bei der Minimierung und Behandlung radioaktiver Abfälle

Dosimetrie

- Überwachung von externen und internen Dosen und Berichterstattung (Der Dosimetrie-Dienst vom CERN ist offiziell in der Schweiz akkreditiert)
- Betrieb der Kalibrieranlage



Instrumentierung

- Entwicklung, Installation und Betrieb eines Strahlungsüberwachungssystems

Dienstleistungen

- Transport radioaktiver Stoffe zwischen/innerhalb von Standorten
- Versand (Import/Export) radioaktiver Güter
- Radiologische Charakterisierung von Material und Abfall, Betrieb eines Analyselabors
- Dienst für radioaktive Quellen

Dosimetrie



Verteilung der jährlichen Dosis

Dose interval (mSv)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023 until Oct	
0	6273	7616	8704	8788	9034	9824	8462	6272	6904	7626	7735	
0.1-0.9	2188	1816	1108	1003	1110	1260	1494	799	804	771	624	
1.0-1.9	82	133	2	11	3	10	13	17	19	7	4	
2.0-2.9	3	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3.0-3.9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4.0-4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.0-5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
> 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Collective dose (mSv)	gamma	687	755	214	215	219	232	275	192	187	154	134
	neutron	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total number of persons	8546	9580	9814	9802	10147	11094	9969	7088	7727	8404	8363	

- Maximum annual individual dose in 2023: 1.4 mSv (until 31st of October)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Microscopic process modeling for macroscopic quantity assessment

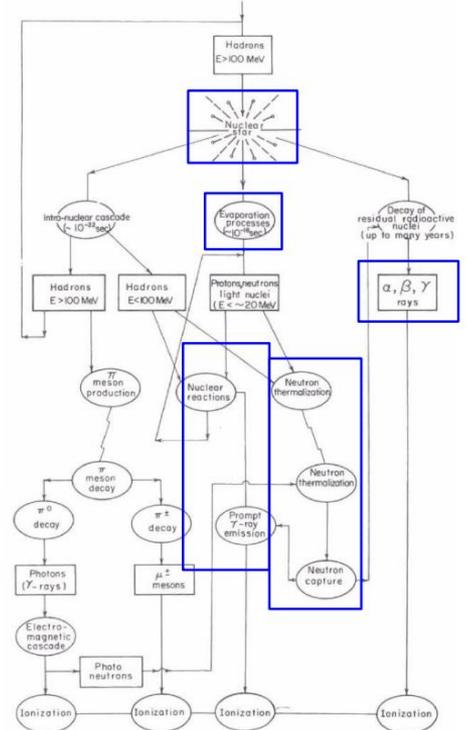
A (hadronic) shower implies a lot of different physics processes, touching a very broad energy [time-space] scale

Its description relies on the organic integration of diverse **theories and models**, and requires as essential pieces of **information**:

- reaction cross sections
- exclusive fragment production
- nuclide structure and decay data
- evaluated quantities of neutron induced reactions

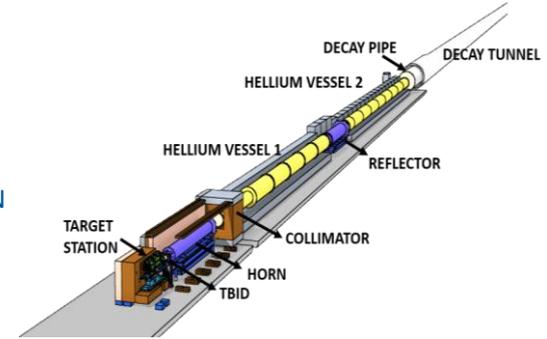
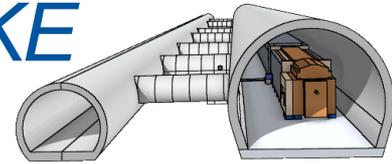
Monte Carlo simulation is an effective way to calculate **macroscopic quantities** (such as energy deposition, dpa, particle fluence, activation and residual dose rate) with an accuracy reflecting the quality of the implementation of critical processes

Multipurpose codes are widely available: FLUKA, GEANT4, MCNP, PHITS, MARS...



Studies – CNGS dismantling and AWAKE

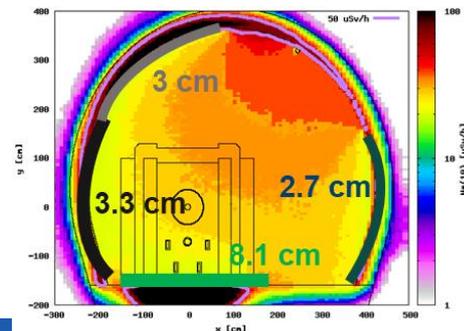
- RP studies for the CNGS dismantling were finalized
 - Residual dose rate maps
 - Detailed radionuclide inventories as input for transport and waste treatment strategies
 - Shielding requirements for transport and storage
 - Shielding activation studies to estimate re-use potential of irradiated shielding blocks at CERN
- AWAKE Run 2 studies
 - Residual dose rates of the empty TCC4 tunnel and shielding requirements
 - Run 2 shielding studies for electron beam operation



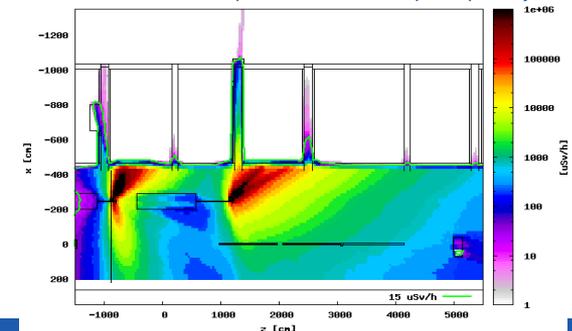
Residual dose rates in 04/2026 (1-2 m above floor)



Shielded TCC4 tunnel in 04/2026 w Fe



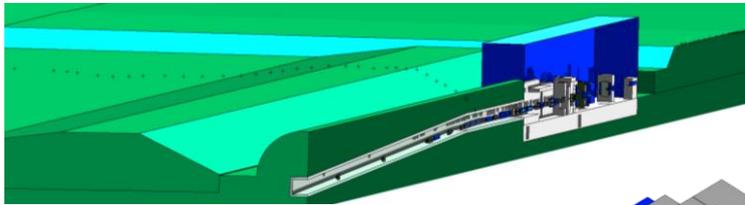
Electron source I+II operation with both dipoles polarity failure



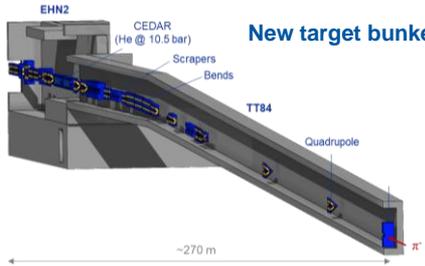
Physics Beyond Colliders – AMBER at EHN2

Holistic design optimization to cope with future high-intensity AMBER Drell-Yan run (+68% intensity increase wrt. COMPASS)

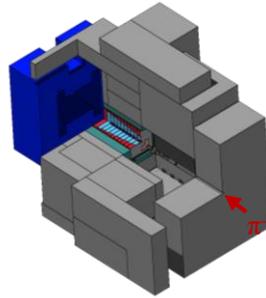
Detailed FLUKA model



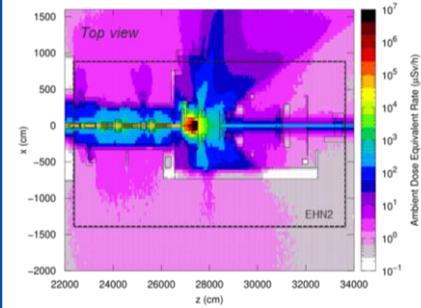
Beamline



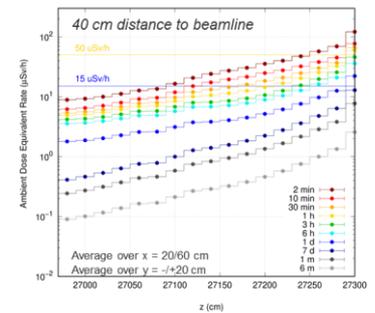
New target bunker



Prompt radiation



Residual radiation



Skyshine radiation



Air activation and releases

- Airborne activity well within limit ($< 0.1 \text{ CA}^1$) for the target bunker and EHN2 hall
- Exposure of members of the public due to immediate air releases (8 GBq) below 1 nSv/y (negligible)

Many shielding improvements in beamline upstream of EHN2