



Wir schaffen Wissen – heute für morgen

Aspekte des operativen Strahlenschutzes bei Grossforschungsanlagen am PSI

Roland Lüscher *et al.*

Frage 1: wo fängt operativer Strahlenschutz an, wo hört er auf?

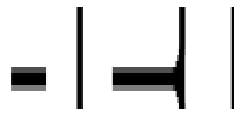
Frage 2: in welche Sparte gehören Abschirmungen:

- Anlagetechnik?
- Strahlenschutzaspekt?
- Sicherungsmaßnahme?

Frage 3: wie verlinkt man PSYS und Abschirmungen?

Es folgen 4 Beispiele aus unserer Praxis ...

- Einführung
- Die PSYS-Problematik
- Separatoren
- Pionen? Was für Pionen?
- Ganzheitliches Konzept
- Abschirmungen
- Fazit



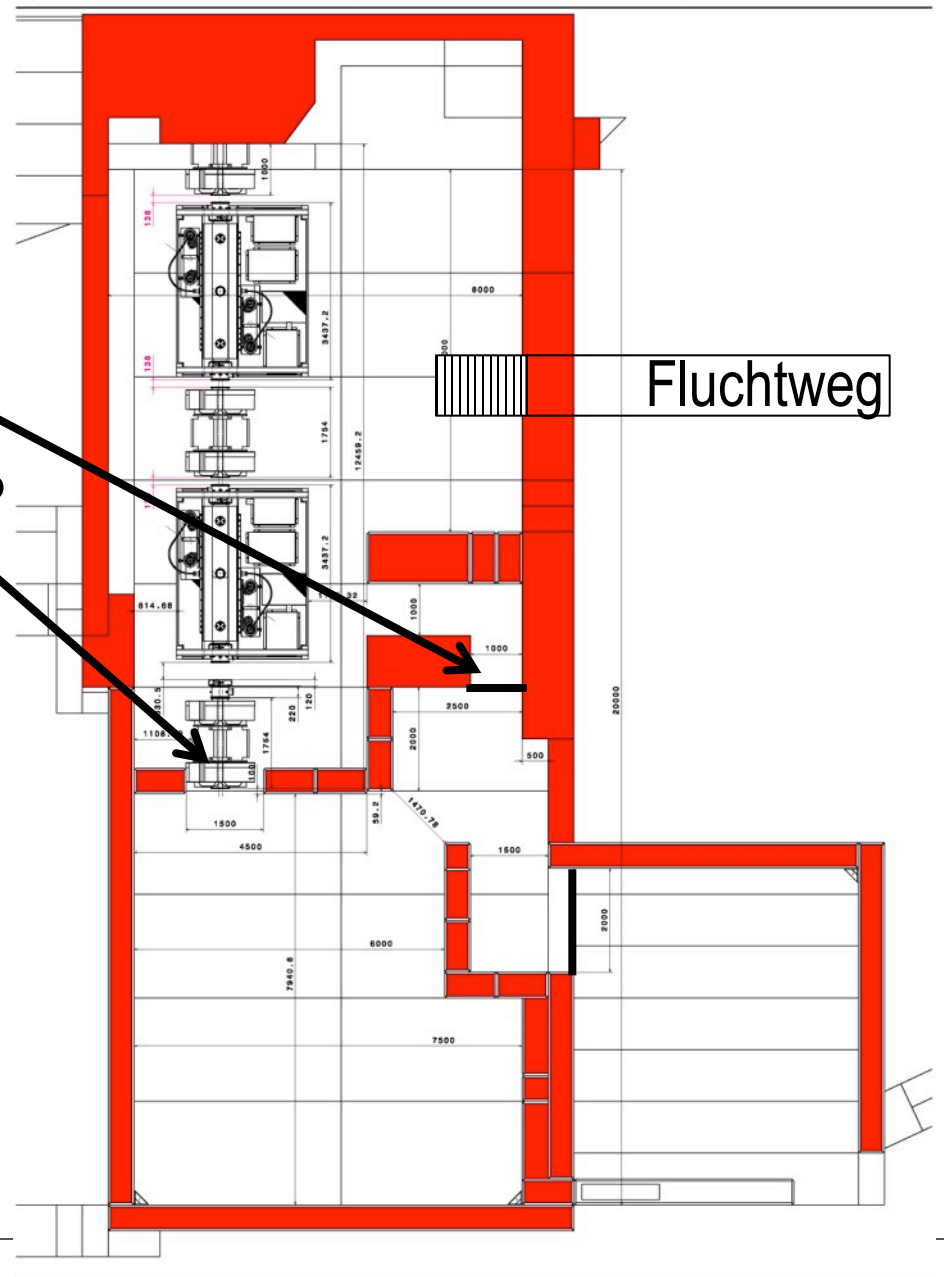
Das Projekt $\pi E3$ – die PSYS-Problematik

- Zwei eigenständige Areale oder zwei Teilareale?

PSYS-Tür oder Zwischentür?

Strahlfänger als Sicherheitselement?

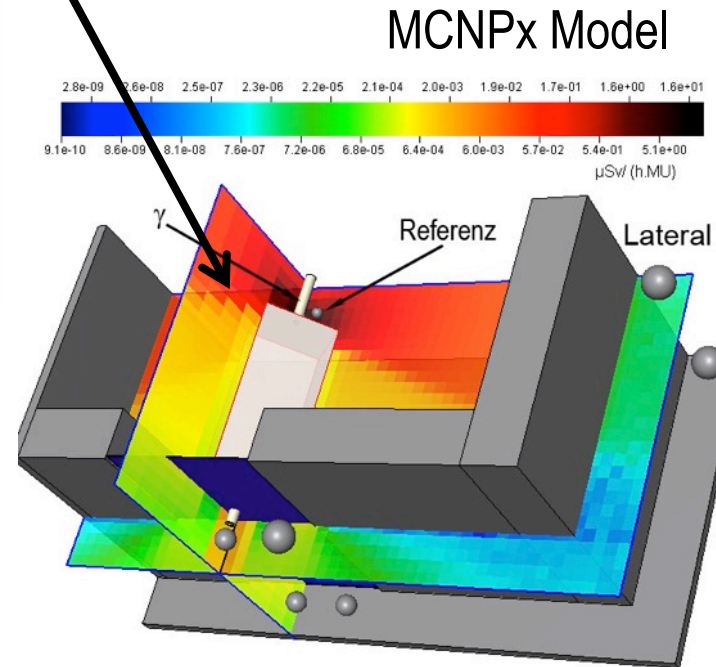
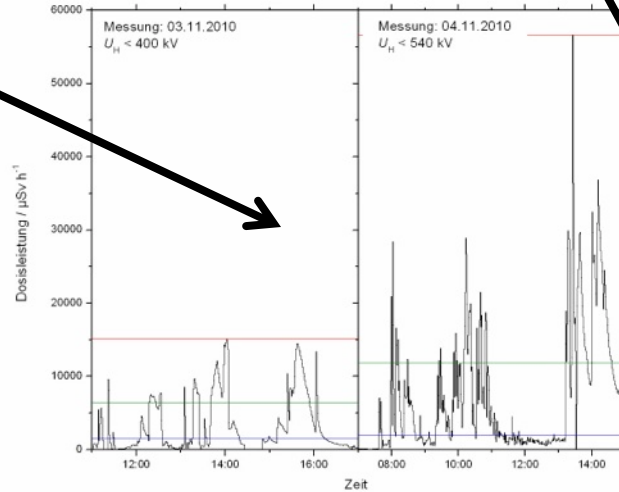
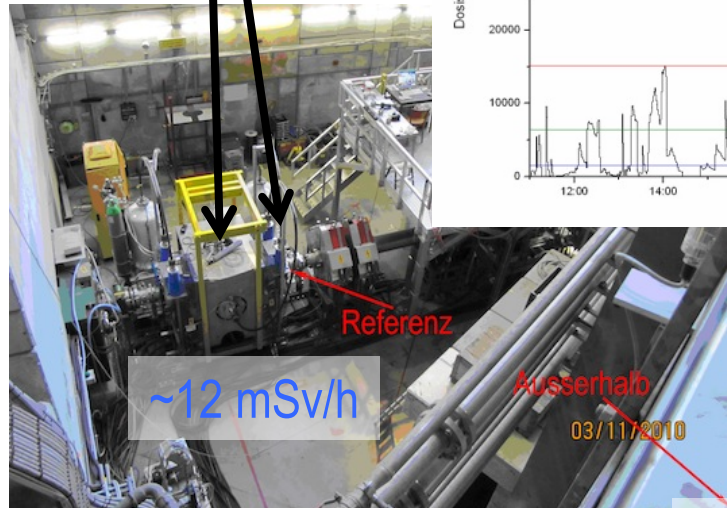
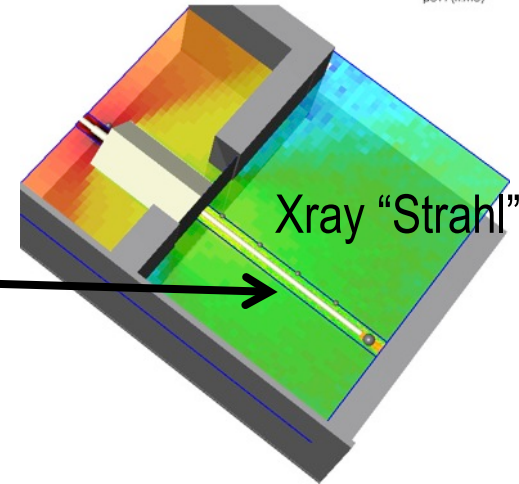
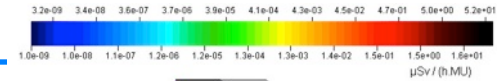
- Was für eine DL dahinter bei Position „zu“?





Das Projekt π E3 – Separatoren

- Hochspannung + Konditionierung => Röntgenstrahlung
- Was für ein Spektrum? Was für eine Dosisleistung?
Messkampagne bei π E1, Interpretation der Resultate

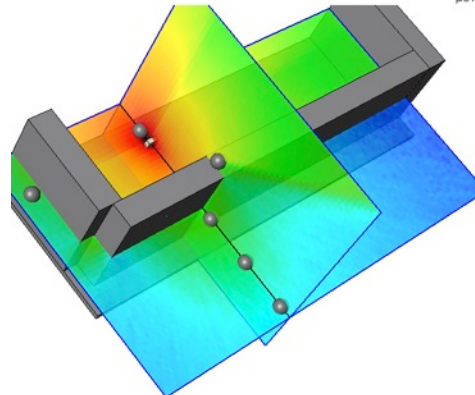
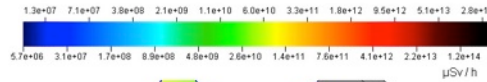
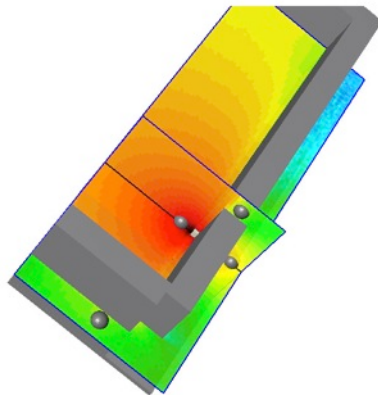
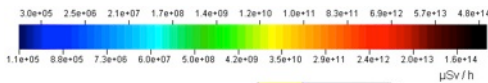
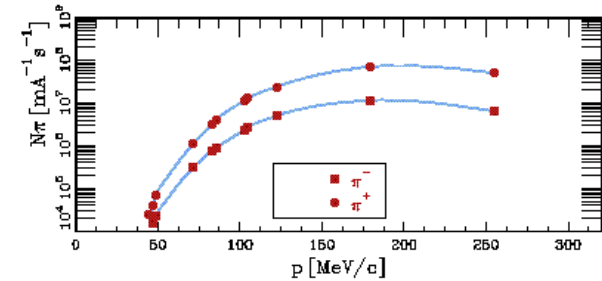
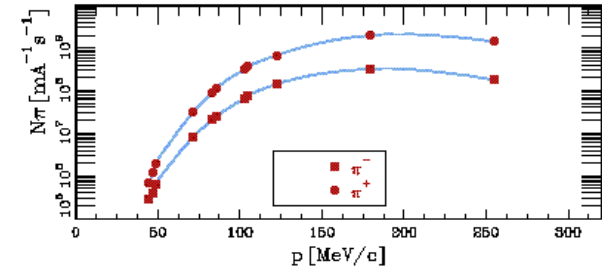


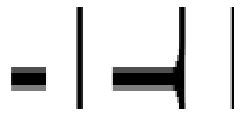
~50 μ Sv/h



Das Projekt π E3 – Pionen? Welche Pionen

- Aussage vom Strahllinien-Wissenschaftler: Pionen brauchen wir nicht, wir brauchen nur die Myonen ...
 - π^- -Strahl auf Stahlplatte, DL im Benutzerareal (π^- -Kerneinfang, n-Produktion)
- > Verifikation der Abschirmungsdicke und Skyshine mit existierendem MCNPx Modell





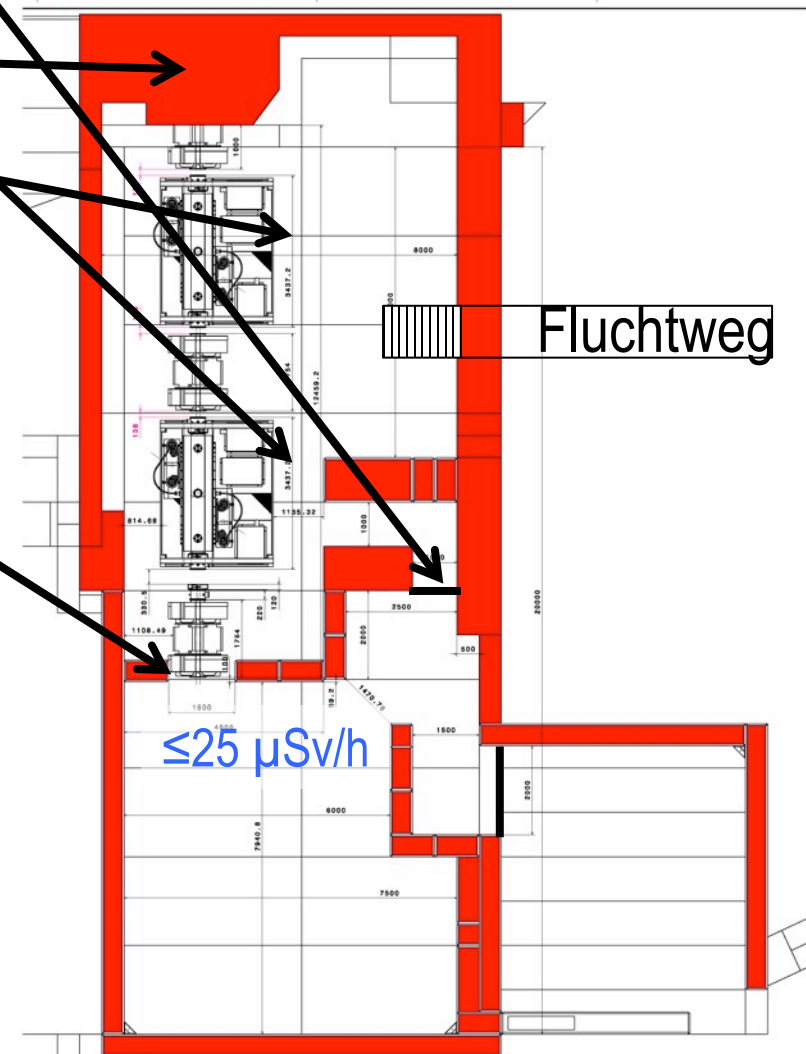
Das Projekt $\pi E3$ – ganzheitliches Konzept

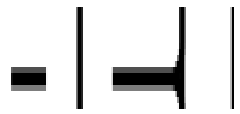
- Komponentenareal als PSYS-Teilareal. Gittertür mit mechanischem Schloss.

-> Strahlfänger als Sicherheitselement für das ganze Areal

- Mobile Überwachungsanlage bei Konditionierung

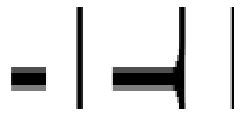
- 50mm Al-Platte um den Strahlweg



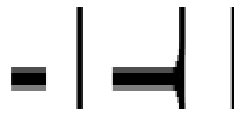


Das Projekt π E3 – Fazit

- Die PSYS-Problematik war mit den notwendigen Abschirmungen verlinkt
- Eine nicht ganz einfache Messkampagne war notwendig zur Charakterisierung der Strahlungsart der Separatoren. Zur Interpretation davon hat ein MCNPx Simulationsmodell gedient.
- Dieses Modell diente auch zur Überprüfung unseres Verständnis der π -Physik.
- Letztendlich, da es schon existierte, konnte das Modell auch zur Prüfung der Dicke der Mauern benutzt werden. Diese war zum grossen Teil auch durch die Vorgaben der Statik vorgegeben.

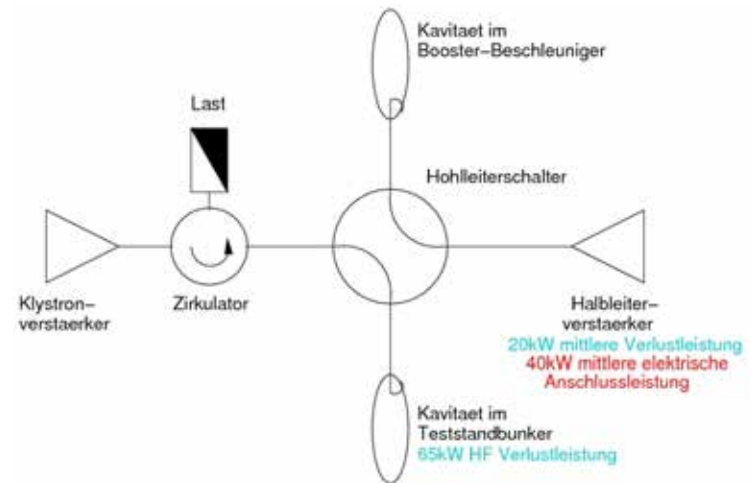
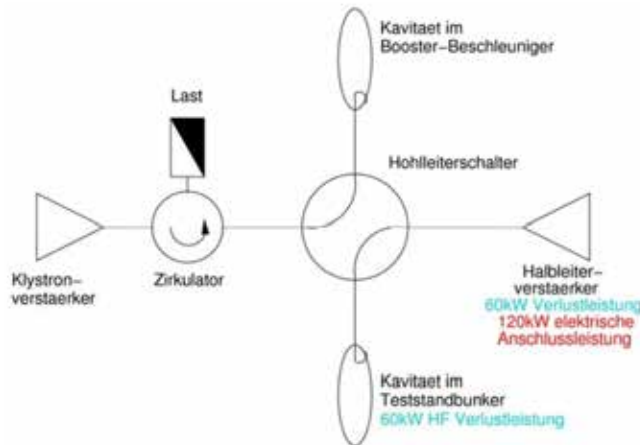


- Einführung
- Die PSYS-Problematik
- Was für Strahlung?
- Abschirmungen



500 MHz-Teststand SLS – die PSYS Problematik

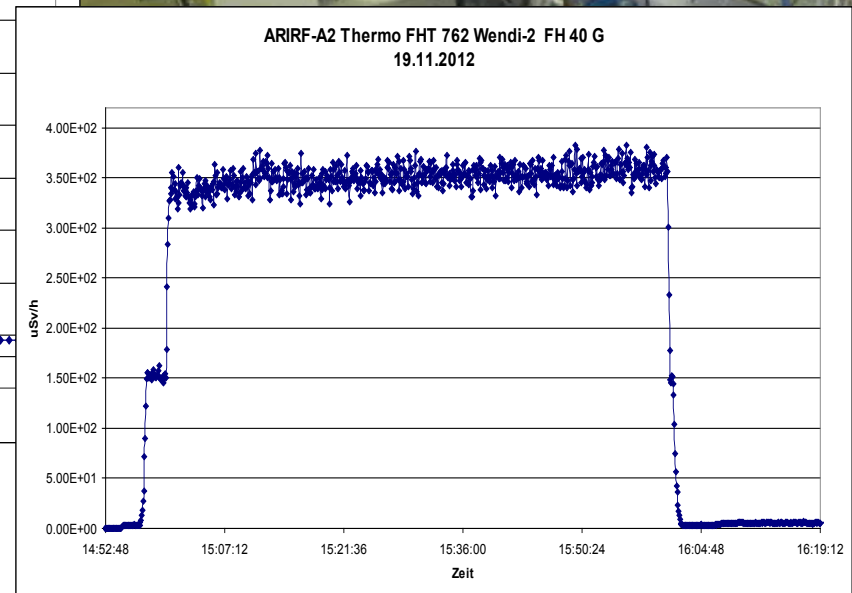
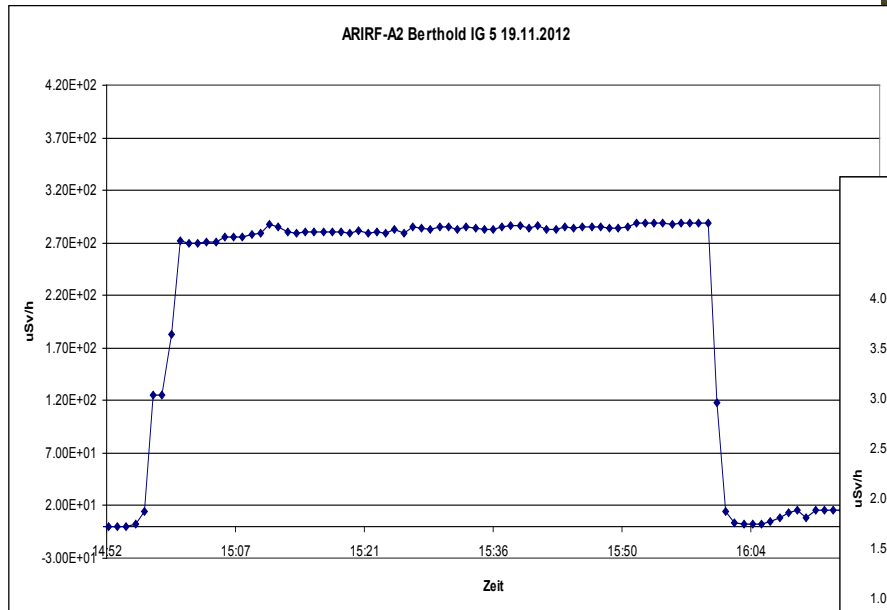
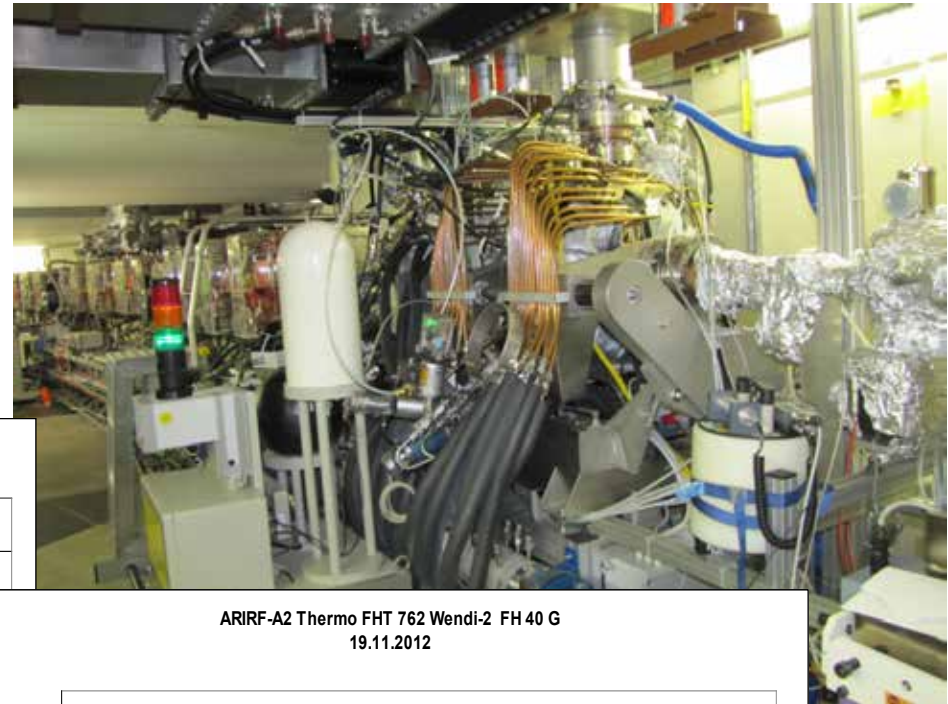
- Ein „selbständiges“ Testareal im WSLA: eigentlich ein Fall für eine einfache lokale PSYS?
- Es besteht jedoch der Wunsch des Betreibers, die RF auf eine Kavität des Speicherringes zu lenken -> Verlinkung zum PSYS-Areal SLS-Ring





500 MHz-Teststand SLS – was für Strahlung?

- Röntgenstrahlung 0-650 keV, insbesondere während Konditionierung
- Keine Neutronen – oder doch? Pick-up durch das Messgerät

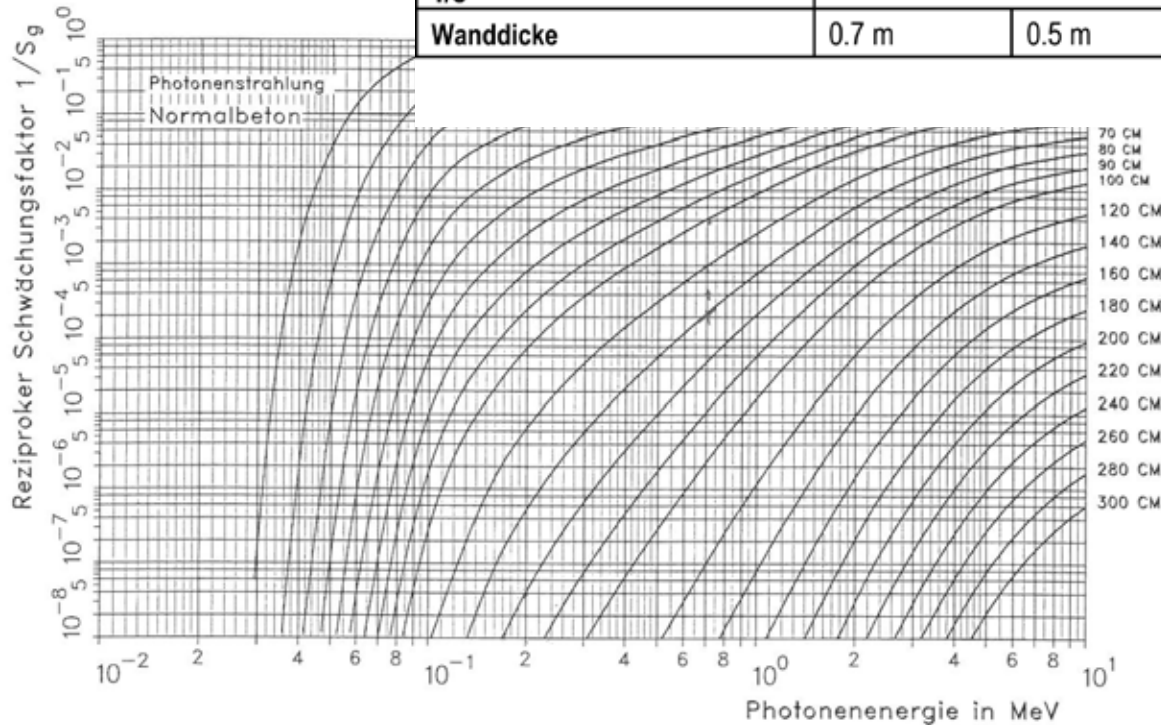




500 MHz-Teststand SLS – Abschirmungen, Fazit

- Einfache Rechnung mit Schwächungslängen auf Basis der registrierten Messwerte
 -> eher konservativ, aber einfach und schnell

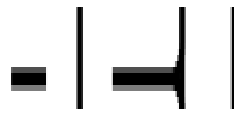
	Wand			Türe	Dach
Material	Normalbeton	Schwerbeton	Blei	Blei	Normalbeton
Abstand	0.5 m	0.5 m	0.5 m	1.0 m	1.0 m
Reziproker Schwächungsfaktor 1/S	2.5 E-04			4.0 E-03	5.0 E-02
Wanddicke	0.7 m	0.5 m	0.09 m	0.05 m	0.6 m



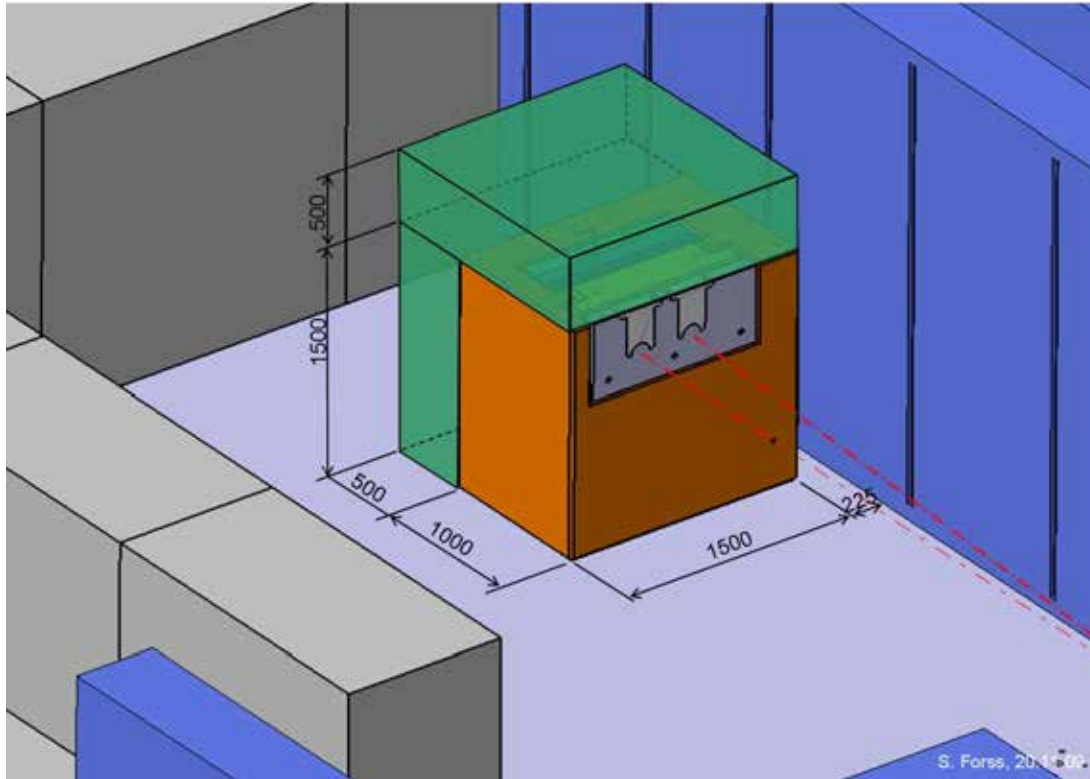
15.27: b) Reziproker Schwächungsfaktor von Photonenstrahlung in Abhängigkeit von der Photonenenergie und der Materialdicke für Normalbeton ($\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$) bei Breitstrahlgeometrie

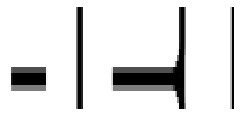


- Einführung
- Ein Strahlfänger
- Ganzheitliche Methode
- Fazit



SwissFEL, der Testinjektor – und der Strahlfänger

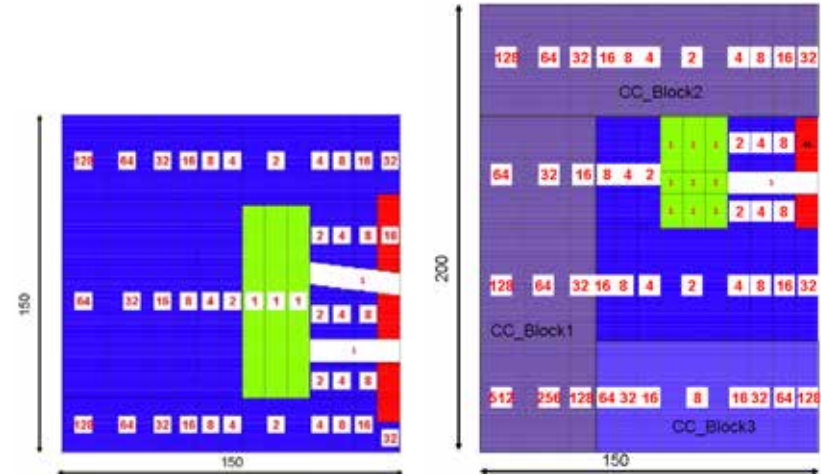
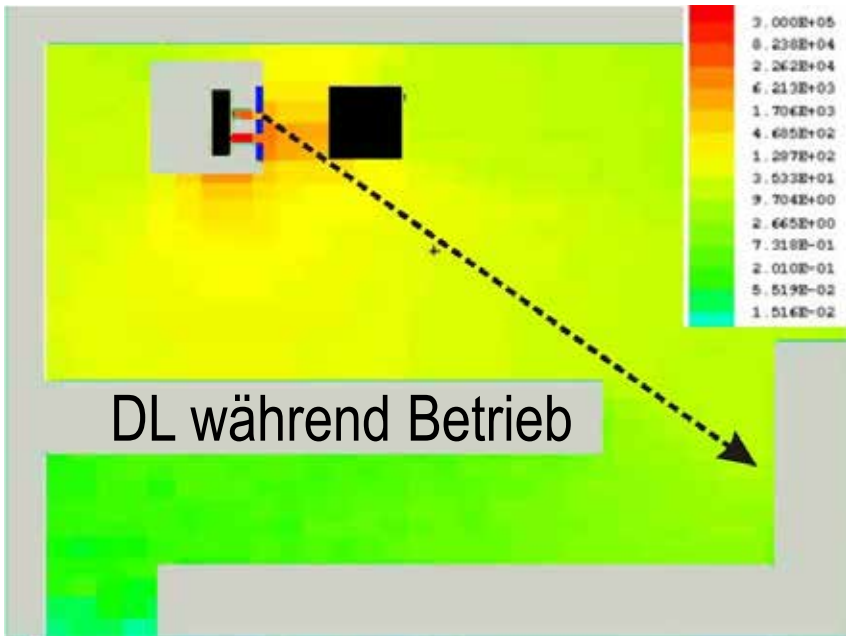




- Strahlenschutz Aspekte in das Design integriert
 - Wie hat man am wenigsten Neutronen in der Umgebung? Tiefere Aktivierung der benachbarten Komponenten
 - Wie wird es rückgebaut? Der aktivste Kern in den ersten Rückbauschritten
- Simulation, Charakterisierung von Streustrahlung (ASI)
- Gleiches Modell für Aktivierungsrechnungen (GFA)



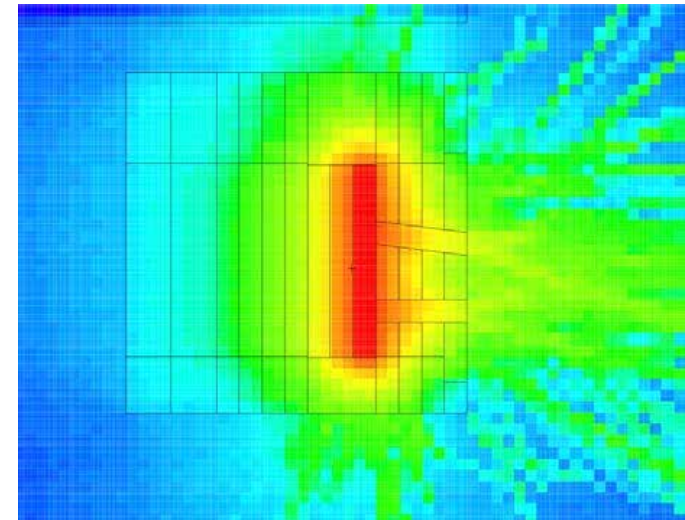
SwissFEL, der Testinjektor – die Methode

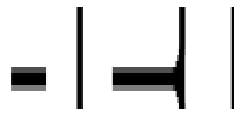


DL 1h nach Betrieb

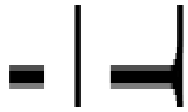


DL 1yr nach Betrieb






- **Strahlenschutz Aspekte in das Design integriert**
 - Wie hat man am wenigsten Neutronen in der Umgebung? Tiefere Aktivierung der benachbarten Komponenten
 - Wie wird es rückgebaut? Der aktivste Kern in den ersten Rückbauschritten
- **Simulation, Charakterisierung von Streustrahlung (ASI)**
- **Gleiches Modell für Aktivierungsrechnungen (ABE)**
- **Stabproben als radioanalytische Prüfmarke integriert**
 - Verifikation der Rechnung durch Messungen, Überprüfung der Strahlenschutzplanung der Rückbauschritte
- **Gemeinsamer Bericht als Basis für den SiBe (-> BAG)**



SwissFEL, der Testinjektor – der gemeinsame Bericht

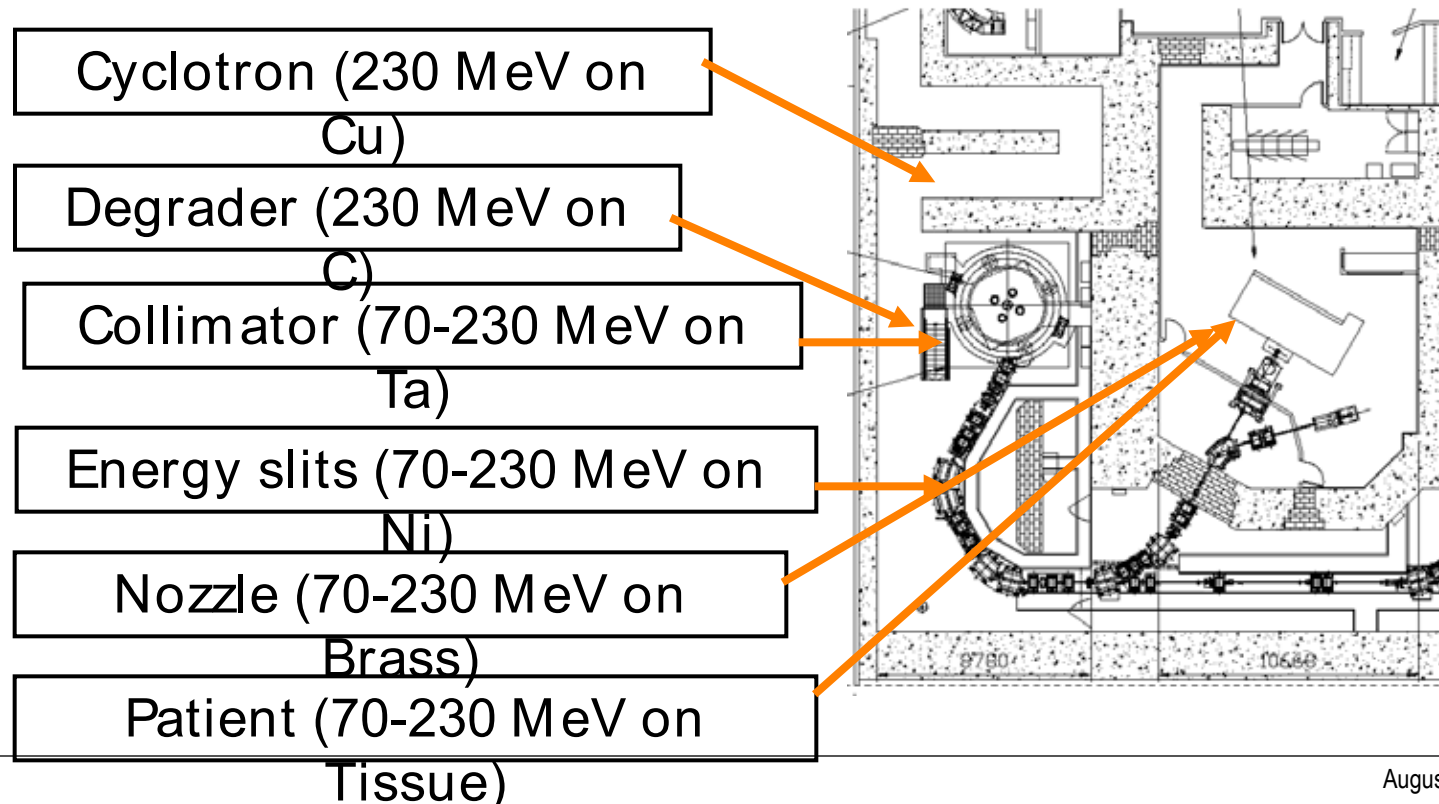
 PAUL SCHERRER INSTITUT	Registrierung TM-96-10-12
Titel Beam Dump for the SwissFEL injector test facility Radiological investigations	Ersetzt
Autoren / Autorinnen E. Hohmann, D. Kiselev, R. Lüscher, S. Teichmann	Erstellt 1.6.2010
<p>Summary</p> <p>For the SwissFEL project at PSI, a low emittance electron source is currently under commissioning in the building WLHA. From Phase II onwards, the electrons will be accelerated up to 250 MeV. The main purpose of these studies is the testing of the source and beam line components.</p> <p>Since the classification of the regions surrounding the experimental vault was changed from “nicht überwacht” to “Zone 0”, a new beam dump dedicated to stop the electrons after the final acceleration section was designed and optimized using the Monte Carlo code MCNPX. This report describes radiological studies of the beam dump with regard to shielding and activation.</p>	

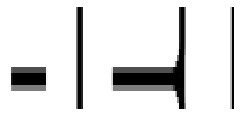
- Einführung
- Was für Strahlung?
- Abschirmungen
- Fazit



ATreP: Protonentherapie Zentrum, Trento (I)

- Rahmenvertrag PSI-ATreP
- Strahlenschutzplanung wurde durch IBA durchgeführt
- Das PSI als Reviewer





Review of the radioprotection calculations of the proton therapy centre of Trento

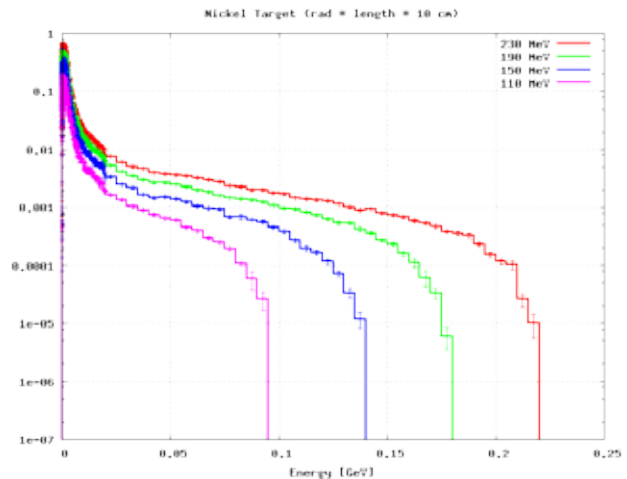
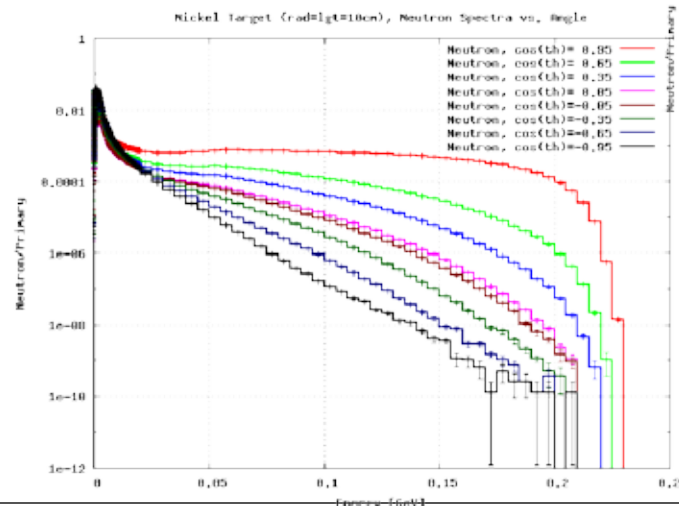
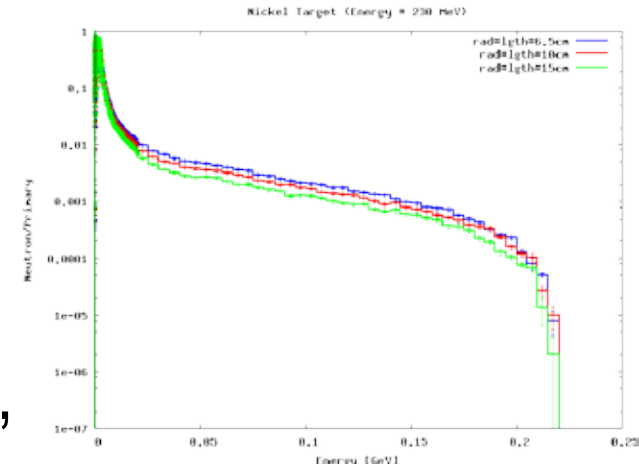
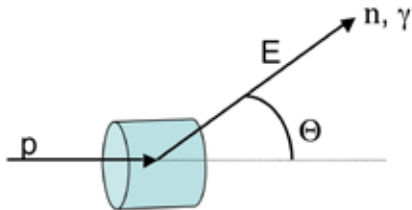
1. Overall review of the radioprotection project with review of Monte-Carlo calculation model used by the Vendor.
2. Check of the calculation of activation of the degrader and activation of the material involved in the other losses along the beam line.
3. Spot-check (with other models than that used from the Vendor) of at least one maze design and one protection barrier with particular attention to the dose level in the first bunker between cyclotron vault and other gantry bunker if the second bunker has beam. This check is necessary to assess if the radiation exposure of the workers is different between gantry rooms.
4. Review of the air activation calculations and the activity of air extruded in the environment that must fulfill the limit requested from the Italian law.
5. Review of soil activation calculations and activation of the water layer under the facility.
6. Check of the radiation level outside the facility that must fulfill 1mSv/year.
7. Check the radiation background coming from the bunkers to the CT-PET room.

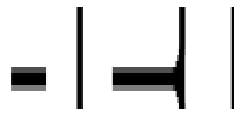


- **Arbeitsteilung**

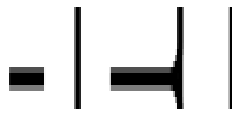
- Prüfung des Quellterms (LR)
- Aktivierung in Komponenten und Beton-Wände (KD)
- Eingangslabyrinth (TS)
- Luft- und Bodenaktivierung (FU)

- **Gemeinsame Sorgen** (bekommen wir die Dokumente?),
gemeinsamen Bericht





- Einführung
- Ganzheitliches Konzept
- Dosisleistung im Tunnel
- Konsequenzen für:
 - Abschirmungen
 - Raumluftaktivierung, Fortluft
 - DL-Überwachung
- Strahlfänger, Strahlstopper
- Fazit



Das Layout und das Verlustschema

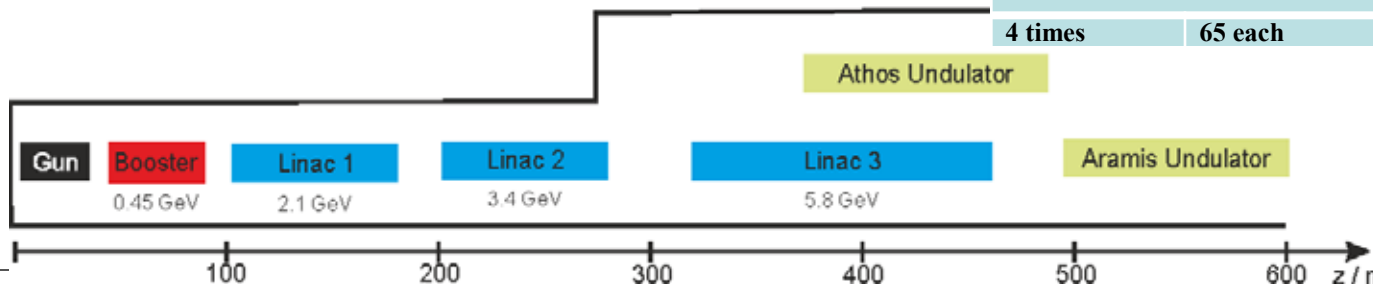
Verlustpunkte (FEL-FU97-027-0)

Verluste ≥ 40 MeV

• Total: 25 W

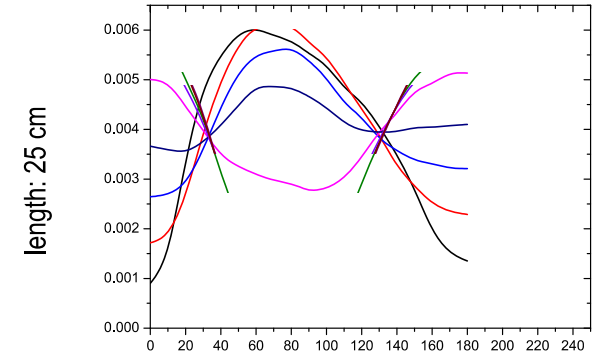
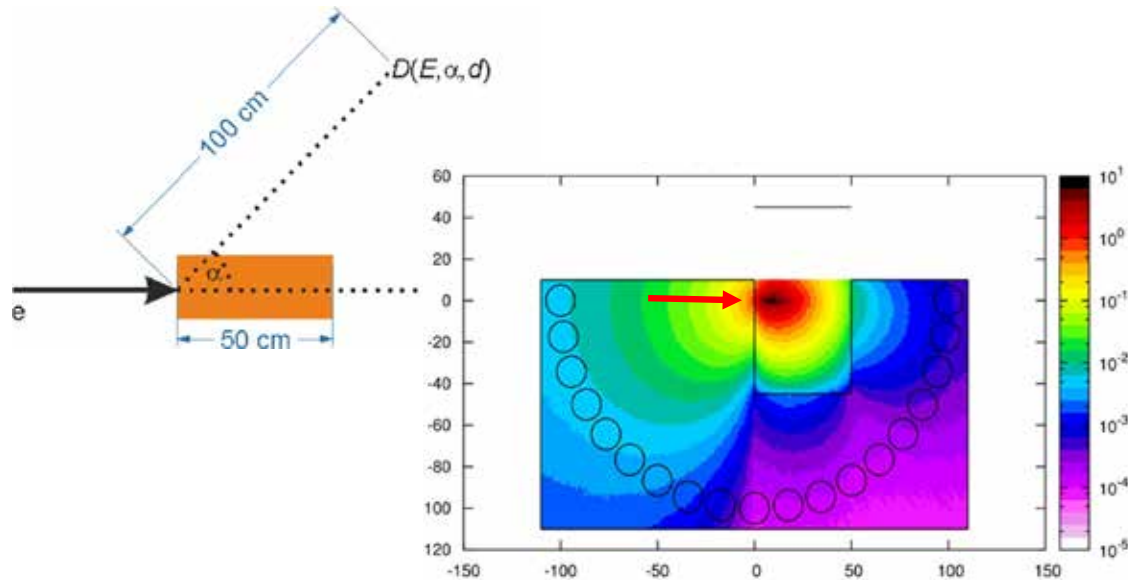
• El. Kanone: 68 %

loss point:	E_c mean [MeV]	mean power [W]	lost e^- [1/s]
between Gun and Injector Bunch Compressor			
1 time	4.3 - 7.2	3.8 total	3.8E+12
1 time	130	0.08	3.9E+9
2 times	220 each	2.2 each	6.3E+10
2 times	350 each	3.3 each	5.9E+10
2 times	370 each	2.2 each	3.7E+10
1 time	450 [6]	1.5	2.1E+10
along beam line S10CB01- S10CB03 (Linac1)			
1 time	340	0.21	3.9E+9
1 time	420	0.21	3.2E+9
1 time	500	0.2	2.5E+9
1 time	580	0.17	1.9E+9
1 time	660	0.13	1.3E+9
Bunch Compressor2			
1 time	2100	2.52	7.5E+9
1 time	3000	1.13	2.4E+9
ARAMIS beam dump			
1 time	7000	1.0	9.0E+8
Booster1			
2 times	40 each	0.08 each	1.3E+10
1 time	120	0.024	1.3E+9
Booster2			
4 times	40 each	0.08 each	1.3E+10
Linac1			
18 times	65 each	0.03 each	2.9E+9
Linac2			
4 times	130 each	0.104 each	5.0E+9
Linac3			
13 times	130 each	0.104 each	5.0E+9
ATHOS Linac dark current			
4 times	65 each	0.026 each	2.5E+9

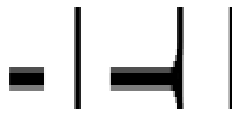


Dosisleistung im Tunnel

- Als Basis für weitere Untersuchungen:
 - Hotspots -> lokale Abschirmungen
 - Neutronenfelder -> Luftaktivierung -> Raum- und Abluft
- 3-Schritt Methode:
 - a. Set von Verlusten: e⁻-Strahl (30 MeV-8GeV) auf Targets mit versch. Dicken und Längen



Target thickness / cm
2.5
5.0
7.5
15.0
25.0
10.0
20.0
35.0
45.0



Dosisleistung im Tunnel

b. Parametrisierung der resultierenden Felder

$$D(E, \alpha, d) = c_E(E, \alpha) D_{1m}^0(\alpha, d)$$

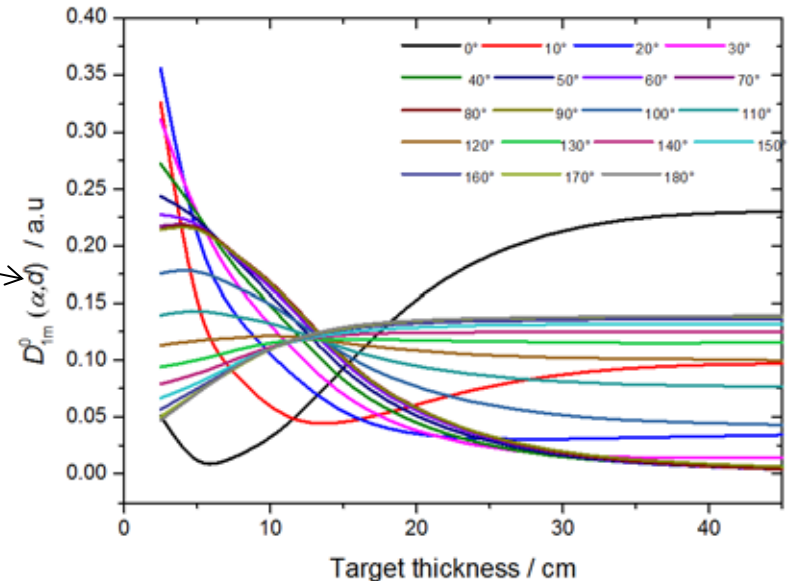
$$c_E(E, \alpha) = \exp(a_0 \ln(E) + a_1)$$

c. Tabelle der Verlustpunkte

- Energie des Strahls / Dunkel Stromes am Verlustpunkt
- Target-Geometrie an Gegebenheiten am Verlustpunkt angepasst (z.B. bei Magnet: dickes Target)

Grosser Vorteil der Methode:

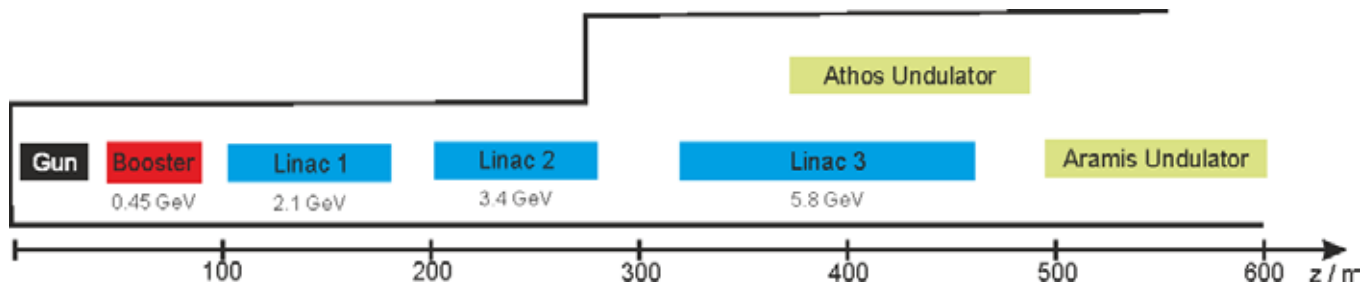
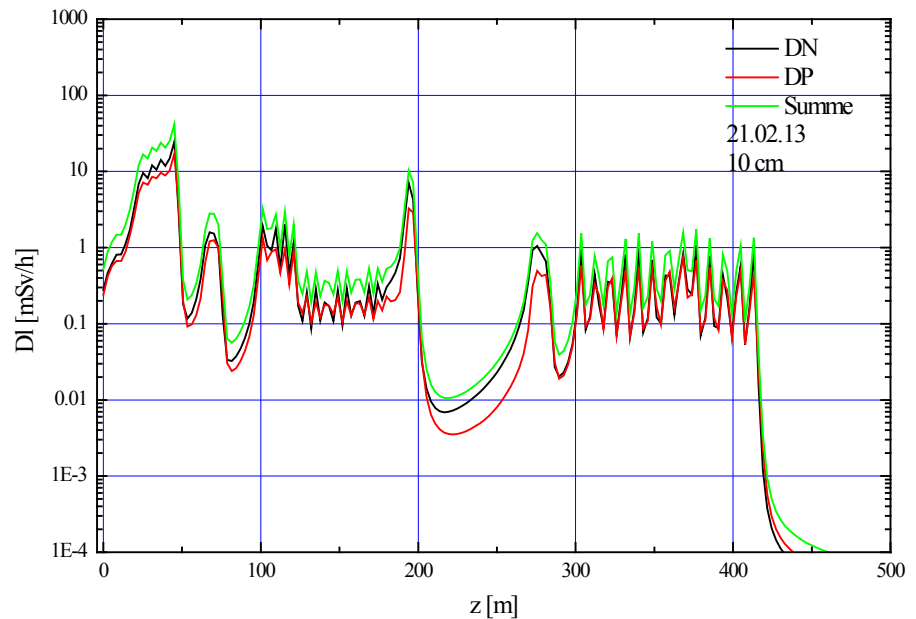
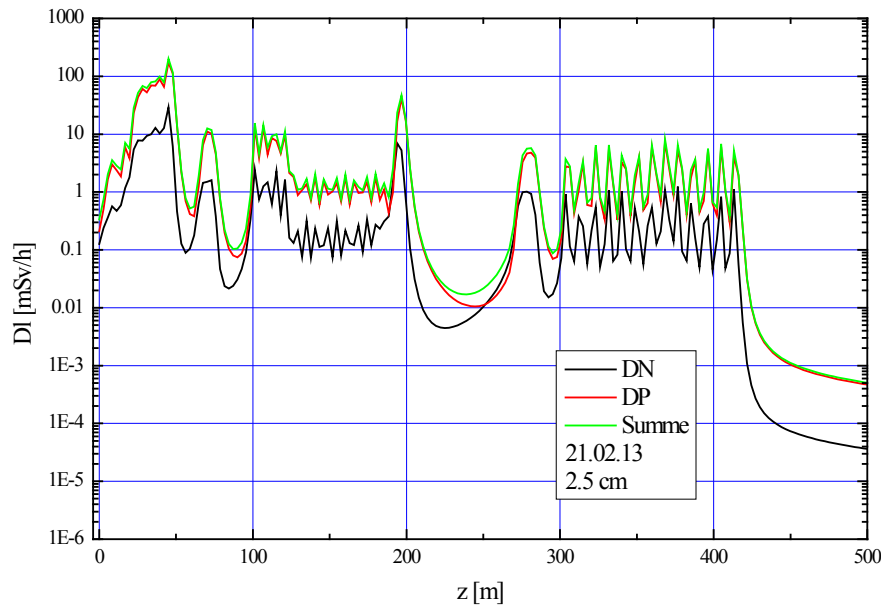
- Bei Änderungen vom Layout muss nicht der ganze Tunnel neu modelliert werden
- Es reicht eine Abschätzung der Verluste und deren Standorte (-> Beamdynamic)

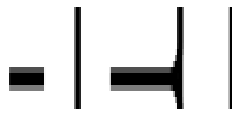


Dosisleistung im Tunnel, Normalbetrieb

Model (FEL-FU96-028-0)

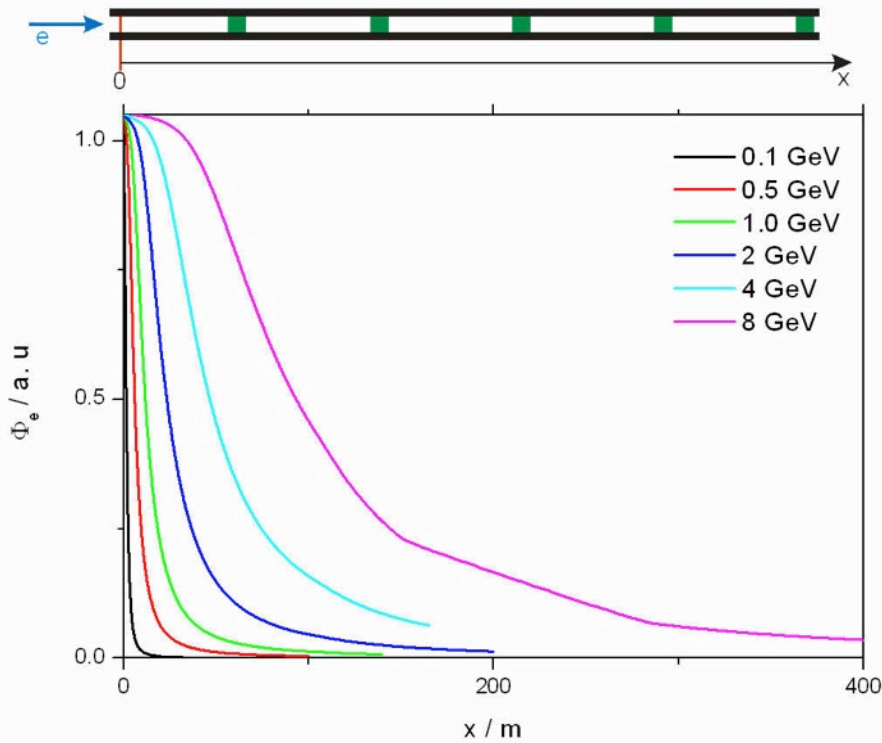
- Kupfertarget, $d = 2.5$ cm, $l = 25$ cm: Kavitäten, ungeschirmte Elemente
- Kupfertarget, $d = 10$ cm, $l = 25$ cm: Magnete, abgeschirmte Elemente



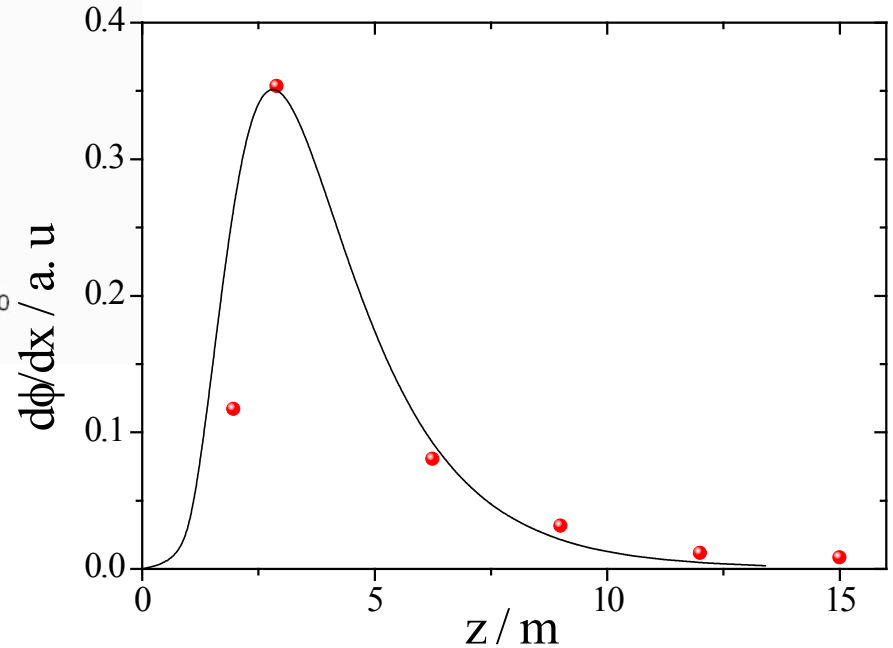


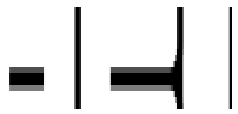
Dosisleistung im Tunnel, Diagnostikbetrieb (Schirme)

e-Verluste, Parameterisation, “thick target” Approximation



Vergleich mit Messungen (WLHA)

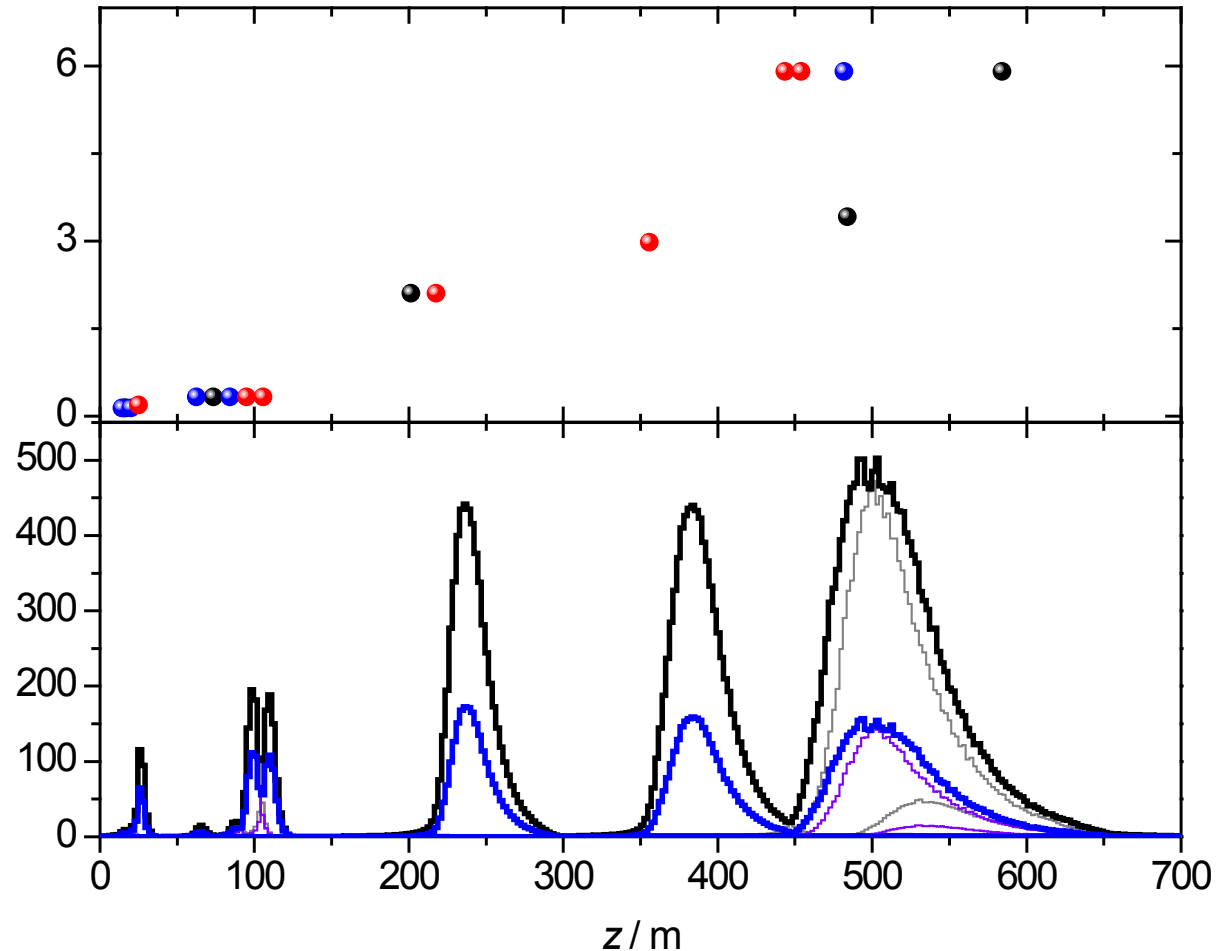




Dosisleistung im Tunnel, Diagnostikbetrieb (Schirme)

Abhängig von derer Nutzung wurde für jeden Schirm einen „duty cycle“ definiert (0.1, 10 oder 98 %)

E [GeV]	z [m]	name	duty cycle [%]
0.140	14.43	DSCR-OV38	10
0.140	16.03	DSCR-LH16	1
0.140	16.83	DSCR-LH16	1
0.140	19.98	DSCR-OV38	10
0.194	25.04	DSCR-HR38	98
0.331	62.39	DSCR-OV38	10
0.331	73.46	DSCR-BC120	1
0.331	84.12	DSCR-OV16	10
0.330	94.93	DSCR-HR38	98
0.331	94.96	DSCR-HR16	98
0.331	105.58	DSCR-HR16	98
2.108	201.45	DSCR-BC120	1
2.108	217.56	DSCR-HR16	98
5.910	443.55	DSCR-HR16	98
5.910	453.95	DSCR-HR16	98
5.910	481.92	DSCR-HR8	98
5.910	584.23	DSCR-HR16	1
2.978	355.84	DSCR-HR16	1
3.416	484.07	DSCR-HR16	1

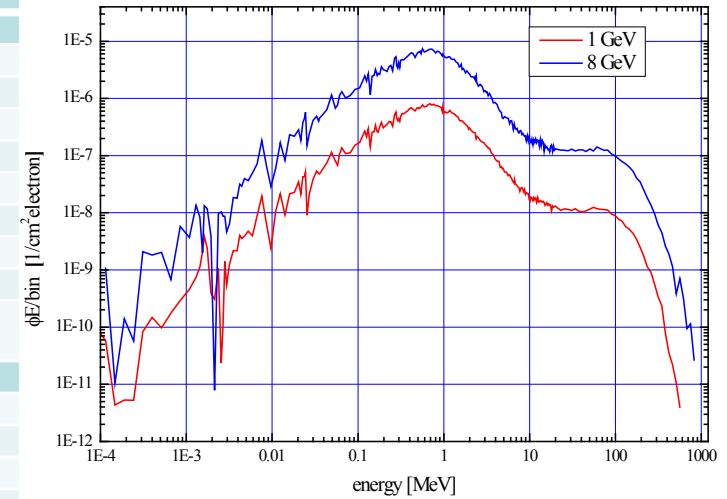


(FEL-FU96-028-0)



Schwächungslängen (FEL-FU96-026-0)

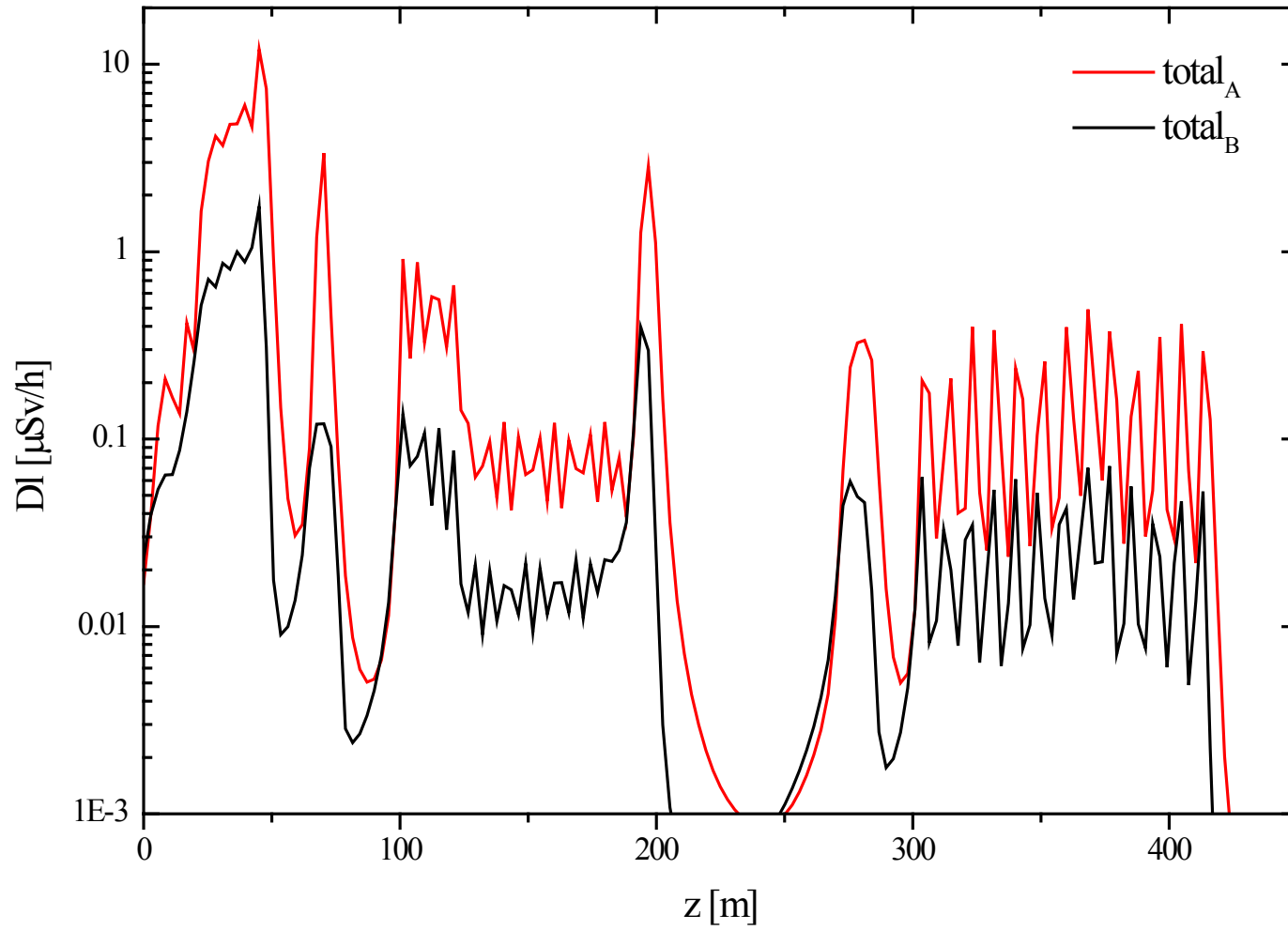
Reference	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	PSI
DBR							
Lead	2.4	2.1	2.1	1.6	2.2	2.1	2.2
Iron	4.7	4.8	4.3	3.8	4.7	4.3	4.7
Heavy concrete		12.5	12.6		13.5	13.5	14
Concrete	21	20	18	18.3	20.9	20.9	21
Polyethylene			7.1		69.3	75.3	72
Aluminium				17			17
Copper							3.7
Tungsten						1.5	1.5
Earth		40	25		43.8		44
GRN							
Lead			8.6	20.8	14.3	14.2	15
Iron	16	12.7	6.0	16.7	12.8	12.7	13
Heavy concrete			13.1		12.2	12.2	12
Concrete	18	13	13	17.5	17.1	17.1	17
Polyethylene		7	5.3		6.3	6.8	6.5
Earth			18		20.6		20
MID							
Lead			18	21.6	17	16.9	17
Iron		17.6	18	17.7	18	17.6	18
Heavy concrete			16		19	18.9	19
Concrete	28	27	23.4	34.2	28	27.7	28
Polyethylene		20	79		67	66.7	71
earth			32.4				59
HEN							
Lead	17		18		17	16.7	17
Iron	18	17.6	18		18	17.6	18
Heavy concrete			34.2		34	33.8	34
Concrete	43	50	51	50	49	49	50
Polyethylene		70	79		61.4	66.7	69
Earth		59	70.4	58.5	56.3		59
Aluminium	39						39
Copper	15.2						16
Tungsten	9.6						9.6



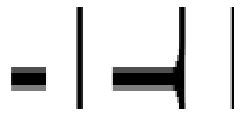
95 %: GRN
5 %: MID



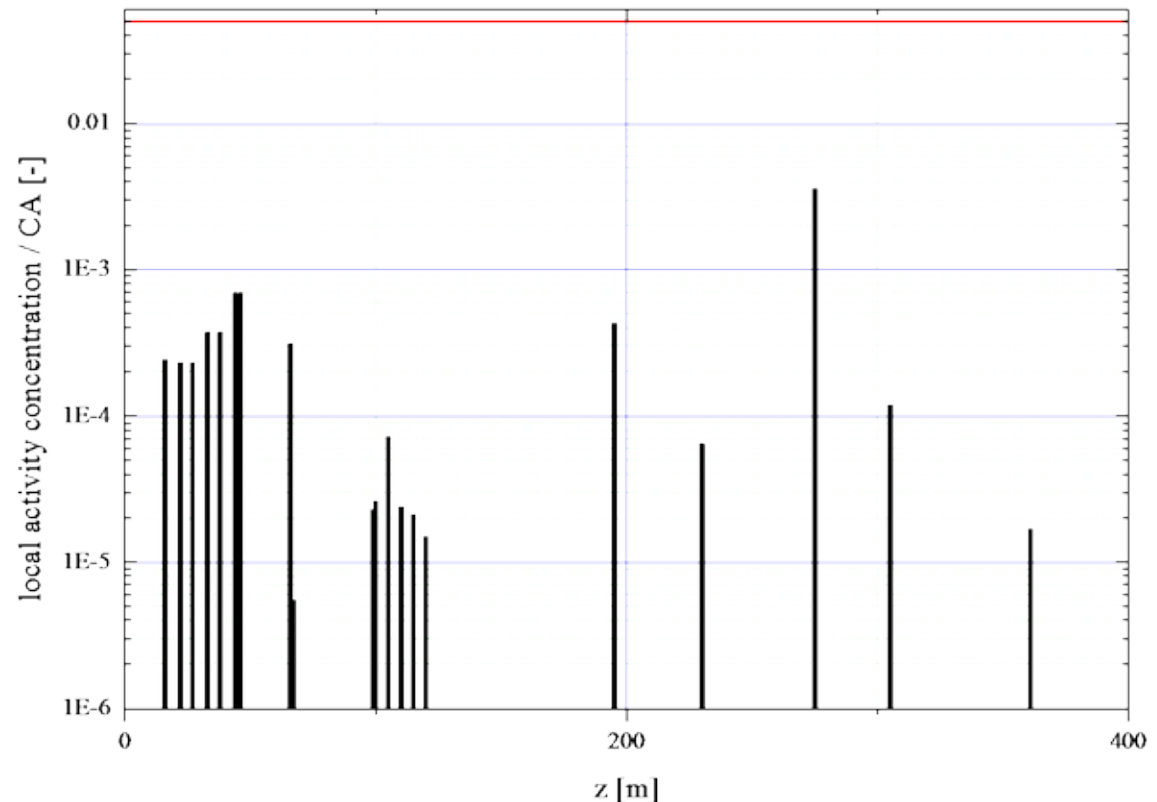
Abschirmung



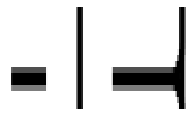
total_A : 2.5 cm
 total_B : 10 cm



- Örtlichkeiten der Verlustpunkte im Tunnel
- Resultierende Photonen- und Neutronenflüsse, sowie Spektren
- Evaluation der Produktionsraten der relevanten Nuklide (^3H , ^7Be , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{41}Ar)
- Einführung des Lüftungsflusses, Aktivitäten „vor Ort“



Brauchen wir eine
Raumluftüberwachung?



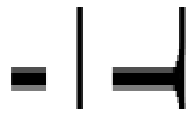
Aktivität in der Luft (FEL-FU96-029_0)

- Evaluation der Abklingzeiten zum „Kamin“
- Evaluation der Emissionen (Aktivität -> Dosis an die Umwelt)
- 0.1 % der PSI-Limite für Kurzzeitabgaben (0.2 mSv)

nuclide	activity/CA [-]
³ H	6.4E-10
⁷ Be	1.1E-08
¹¹ C	7.1E-05
¹³ N	1.5E-03
¹⁵ O	2.1E-04
³⁸ Cl	1.2E-05
³⁹ Cl	2.6E-07
⁴¹ Ar	7.2E-10
total	1.8E-03

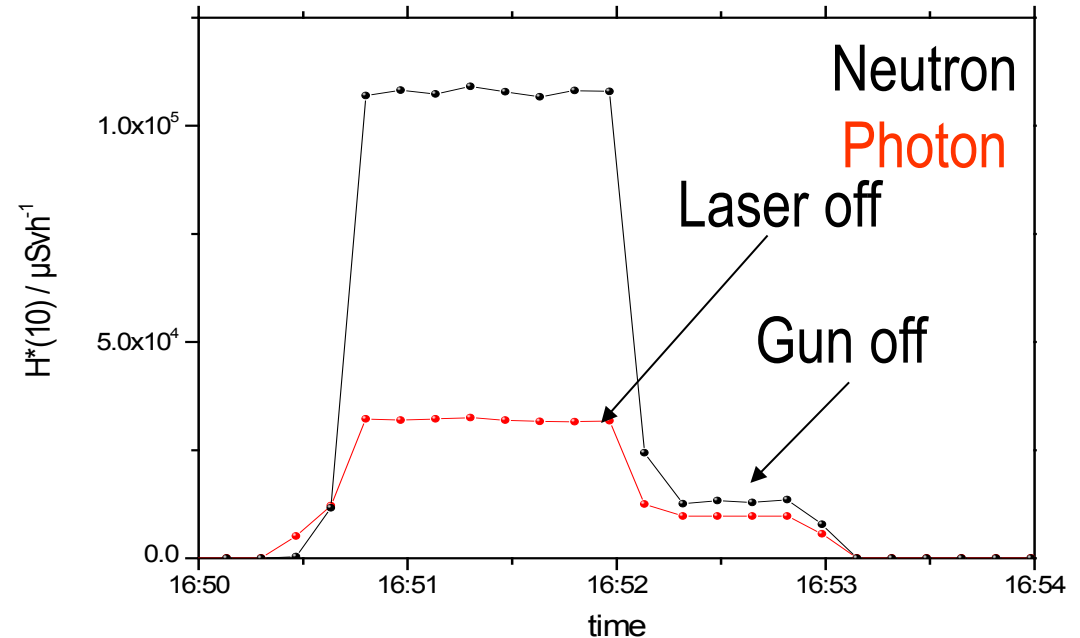
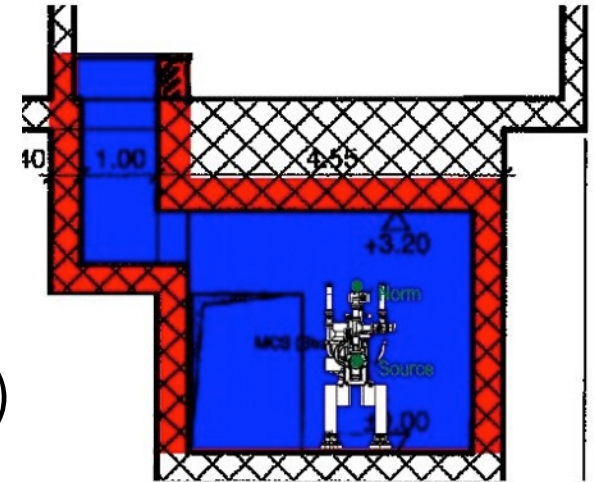
nuclide	[act c./CA]	[Bq/m ³]	[Bq/w]	UDAK-dose [Sv]	UDAL-dose [Sv]
³ H	6.4E-10	6.4E-05	1.7E+02	7.6E-16	2.9E-16
⁷ Be	1.1E-08	5.5E-04	1.5E+03	3.8E-13	9.2E-14
¹¹ C	7.1E-05	2.5E+00	6.7E+06	3.4E-11	5.9E-12
¹³ N	1.5E-03	5.3E+01	1.4E+08	5.1E-10	2.6E-11
¹⁵ O	2.1E-04	7.4E+00	2.0E+07	3.5E-11	3.3E-13
³⁸ Cl	1.2E-05	2.4E-01	6.5E+05	2.5E-11	1.1E-11
³⁹ Cl	2.6E-07	2.6E-02	7.0E+04	1.4E-12	5.8E-13
⁴¹ Ar	7.2E-10	1.8E-05	4.9E+01	2.5E-16	4.8E-17

Brauchen wir eine Fortluftüberwachung?
Eine Bilanzierung?



Weiterer Gebrauch der DL-Abschätzungen im Tunnel

- Kabeldurchführungen
- Evaluation Messgeräten (Messkampagnen WLHA)



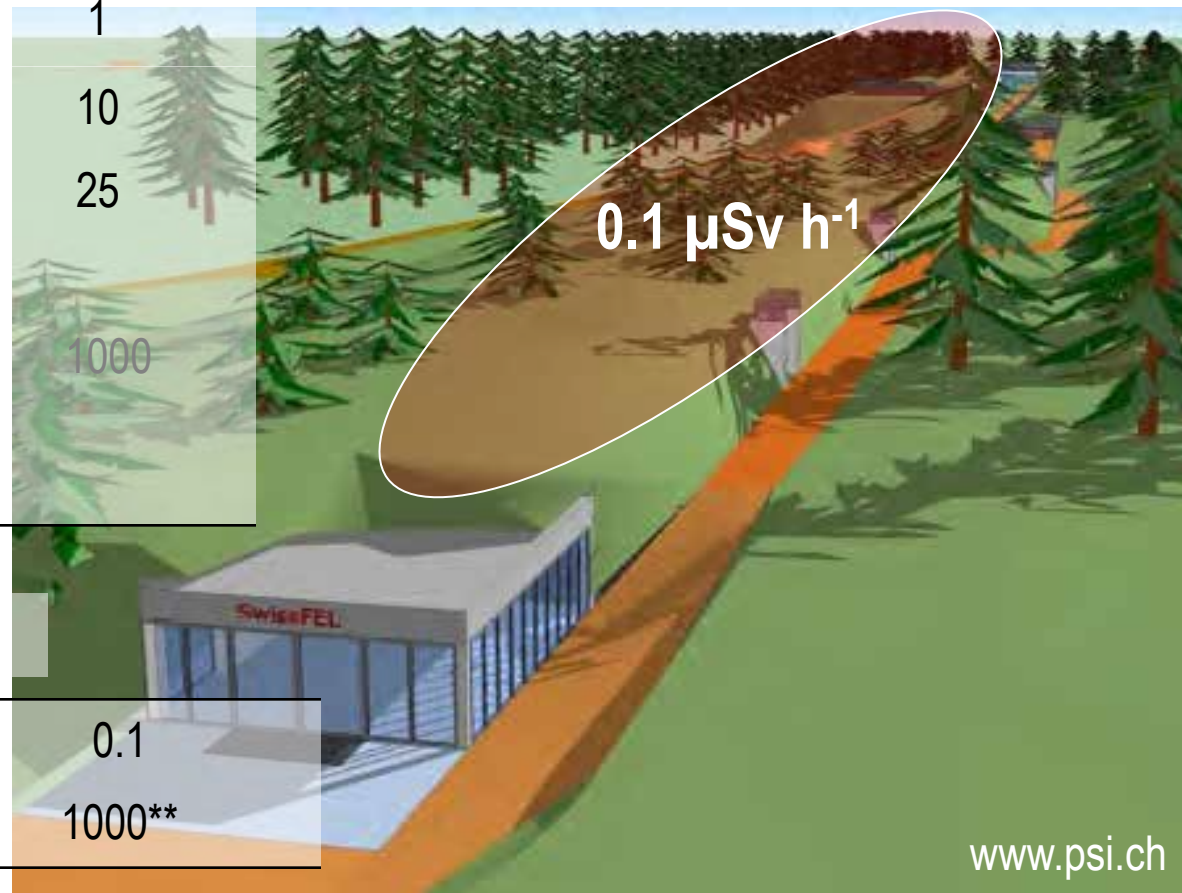


Strahlfänger, -stopper

- Grundlage: Picknick-Platz über dem Strahlentunnel, 0.1 $\mu\text{Sv/h}$
 - Inside of controlled areas

* Exceptional case only
** SIN-AN-10-87

	$D_{\text{Max}} / \mu\text{Sv h}^{-1}$
Permanent workplaces	1
Type V (Experimental areas)	10
Type W Temporary used areas* (stairways, etc)	25
Type X/Y (secured by the personal safety system during operation)	1000



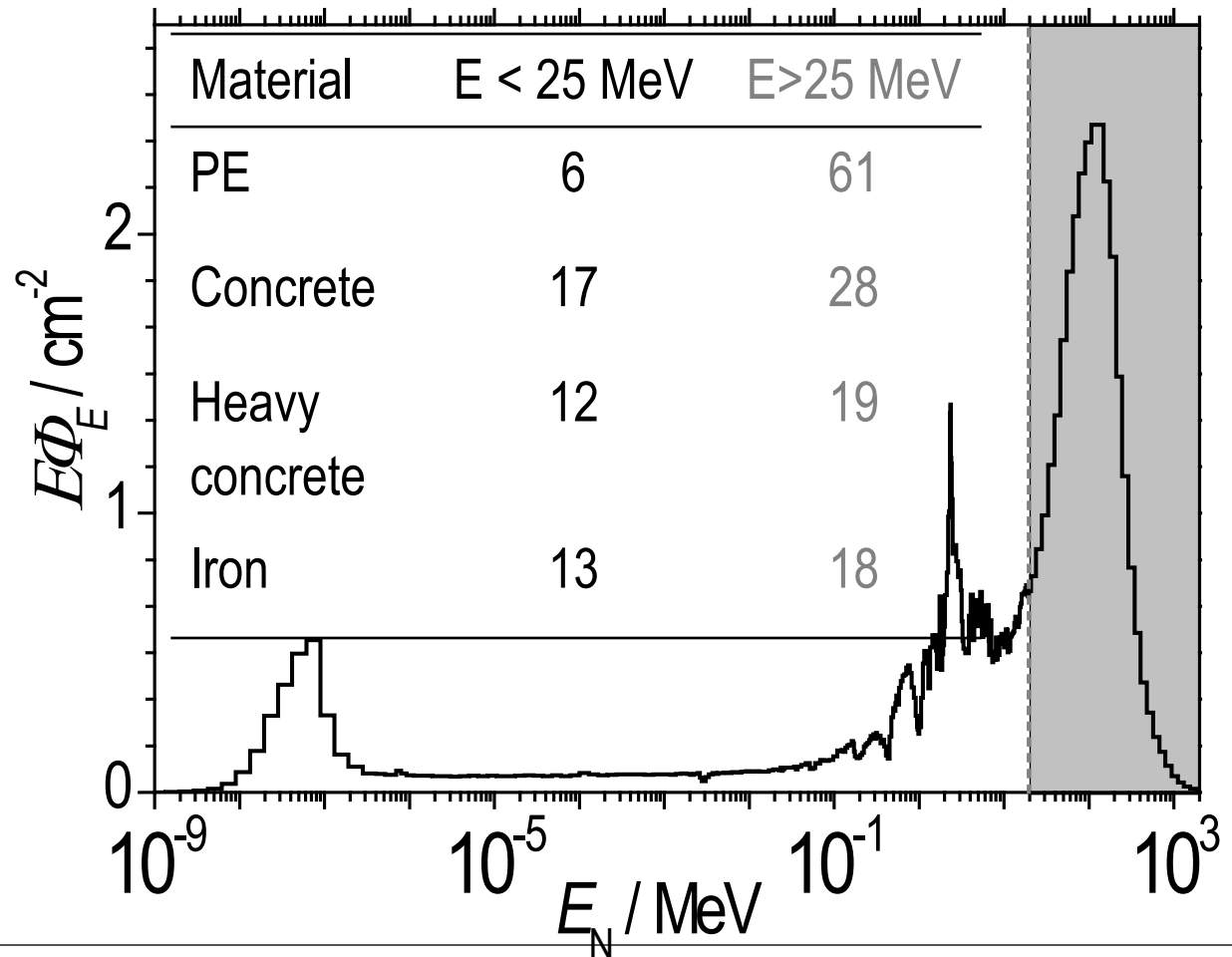
- Outside of controlled areas:

Accessible to the public	0.1
Soil (Activation)	1000**



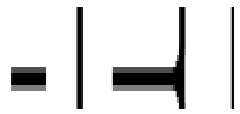
Strahlfänger, -stopper

- Grundlage: Picknick-Platz über dem Strahlentunnel, $0.1 \mu\text{Sv/h}$
- Grundsteine: Dosis ausserhalb kommt vor allem von schnellen Neutronen



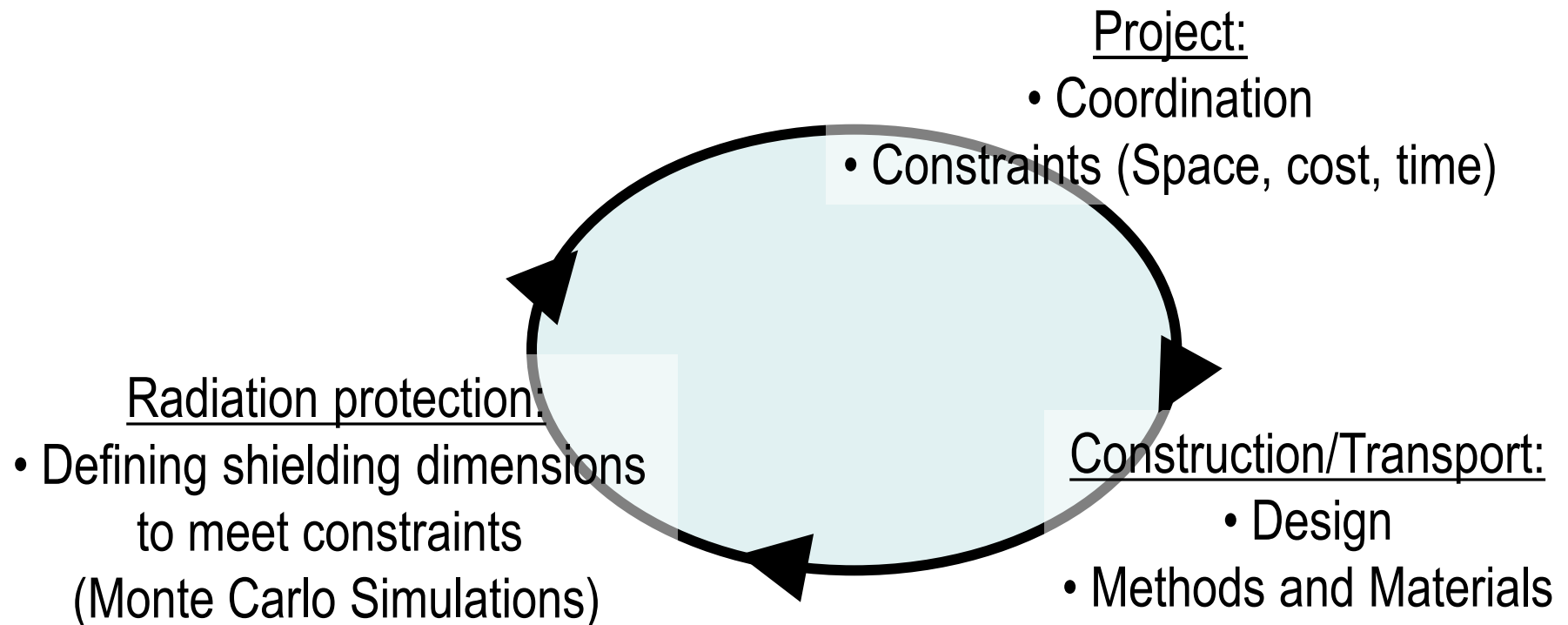
Behind thick shielding:
Dose arises mainly from

- 1) Neutrons
- 2) with high energies
- 3) need “high-Z”-shielding



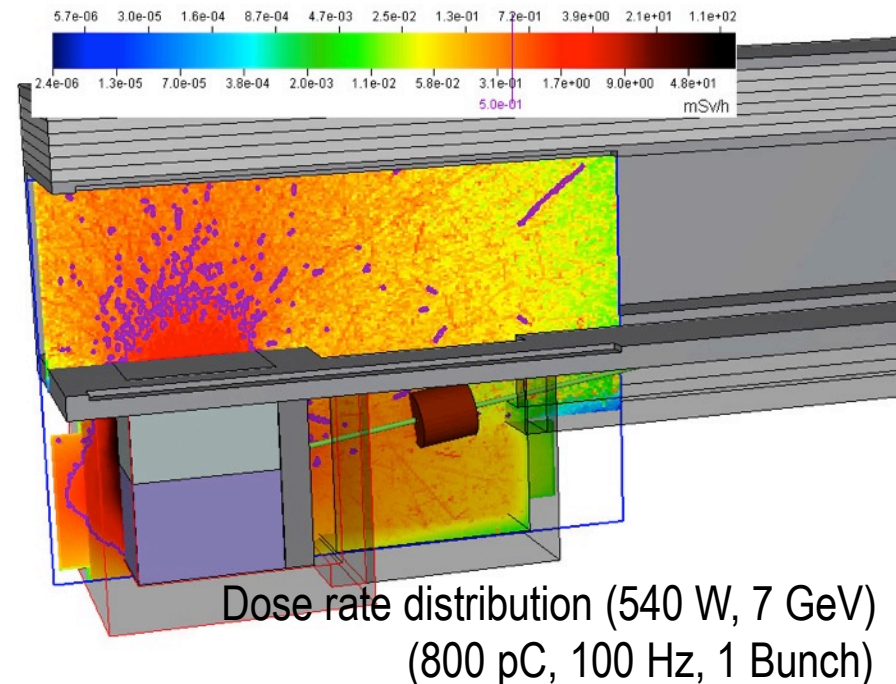
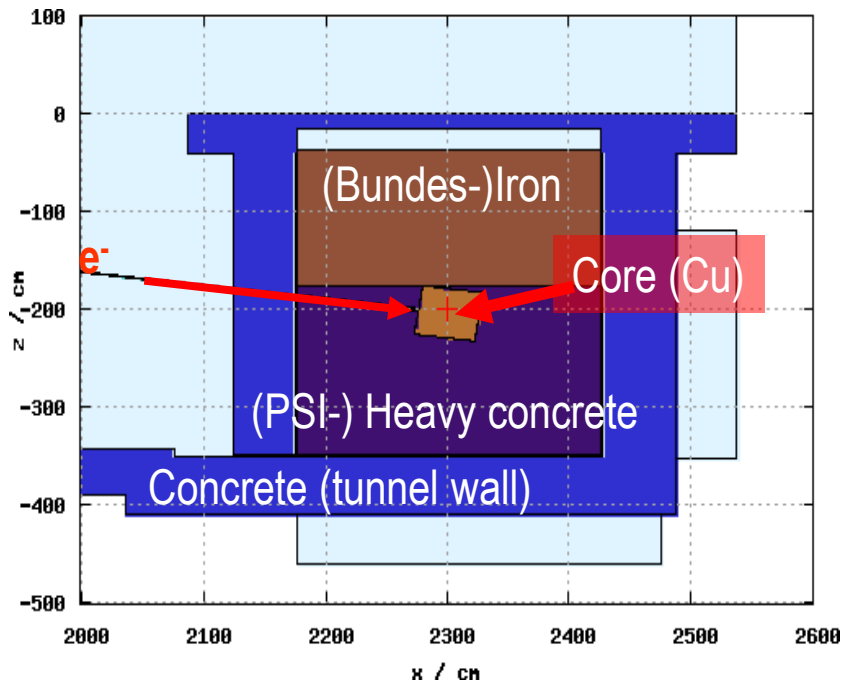
Strahlfänger, -stopper

- Grundlage: Picknick-Platz über dem Strahlentunnel, $0.1 \mu\text{Sv/h}$
- Grundstein: Dosis ausserhalb kommt vor allem von schnellen Neutronen
- Grundprozess: Design-Optimierung über Kosten, Platz und Sicherheit – aber **nicht** Abschirmungsdimensionen



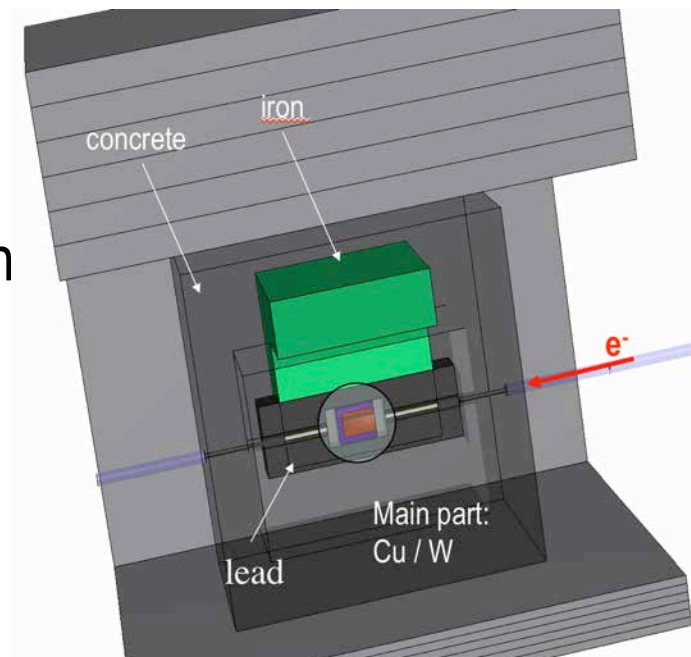
- | - | Strahlfänger, -stopper

- Grundlage: Picknick-Platz über dem Strahlentunnel, $0.1 \mu\text{Sv/h}$
- Grundstein: Dosis ausserhalb kommt vor allem von schnellen Neutronen
- Grundprozess: Design-Optimierung über Kosten, Platz und Sicherheit – aber **nicht** Abschirmungsdimensionen
- Grunddesign: der Strahlfänger geht **doch** nach unten



- | - | Strahlfänger, -stopper

- Grundlage: Picknick-Platz über dem Strahlentunnel, $0.1 \mu\text{Sv/h}$
 - Grundstein: Dosis ausserhalb kommt vor allem von schnellen Neutronen
 - Grundprozess: Design-Optimierung über Kosten, Platz und Sicherheit – aber **nicht** Abschirmungsdimensionen
 - (nächster) Grundschrift: Aktivierungsrechnung -> Targetsektion
-
- Grundprinzip: desgleichen für die Strahlstopper.
 - Optimierung des Designs durch die Strahlenschutzplanung von Reparaturen und Servicearbeiten



Frage 1: wo fängt operativen Strahlenschutz an, wo hört er auf?

- *zeitlich: fängt beim Design an, hört nach dem Rückbau auf*
- *thematisch: ist **Bestandteil** der Anlage (z.B. Betrieb, Reparaturen)*

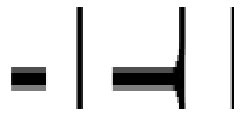
Frage 2: wohin gehören Abschirmungen:

Anlagentechnik? Strahlenschutzaspekt? Sicherungsmassnahme?

- *Von allen drei ein bisschen. Nur in Betrachtung aller Aspekte kommt eine ganzheitliche Lösung her. Bei den verschiedenen Projekten sind die Gewichtungen jeweils anders, **situativ** zu verteilen ...*

Frage 3: wie verlinkt man PSYS und Abschirmungen?

- *Jeweils von Vorteil wenn beide Aspekte **gleichwertig** angegangen werden*
- *Beide haben die **gleiche Rolle**: Abtrennung von Strahlung und Menschen*
- *Ein „Understatement“: sie sind **nicht unabhängig** voneinander*



Vielen Dank an FU96, die OG9645 und ehemaligen für die Mitautor- und -täterschaft!

