



Wir schaffen Wissen – heute für morgen

## **Aufgaben der Sektion 8590 mit Schwerpunkt auf Berechnungen/Simulationen**

D. Kiselev, S. Teichmann, M. Wohlmuther

- S: Strahlungstransportberechnungen (verschiedene Monte Carlo Codes, analytische Programme)
- T: Thermomechanische –hydraulische Berechnungen (ANSYS)
- E: Ingenieur- und technische Arbeiten, Experimente

<p><b>Handhabung radioaktiver Komponenten</b> Berechnung Aktivierung/Dosisleistung, Auslegung/techn. Konzept abgeschirmter „Behälter“, techn. Planung für Untersuchungen</p>	S		E
<p><b>Entsorgung radioaktiver Beschleunigerabfälle</b> Berechnung/Validierung von Nuklidinventaren, Abschätzung von Abfallvolumina von alten und neuen Anlagen, admin. Aufgaben</p>	S		
<p><b>Auslegung von biologischen Abschirmungen</b> Zur Einhaltung von Dosislimiten während Strahlbetrieb</p>	S		
<p><b>Mesonentargetanlagen: Betrieb, Überwach., Entwickl.</b> Techn. Routinearbeiten, Überwachung Betriebsparameter, Weiterentwickl. zur Beibehaltung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit</p>	S	T	E
<p><b>Spallationstargetanlagen: Entwicklung, Überwachung</b> Berechnungen zur Weiterentwicklung von Targets/Moderatoren, Überwachung des Betriebs, Validierungsexperimente</p>	S	T	E

## Monte Carlo (MC) Teilchentransportprogramme:

**MCNPX** (überwiegend verwendet, eigene Code-Weiterentwicklung), **FLUKA**, **MARS**, **PHITS**, (**GEANT**). Für verschiedenste Problemstellungen einsetzbar (z.B. Neutronik, Abschirmung, Aktivierung ...)

## Aktivierung/Nuklidinventar:

**SP-Fispact**, **Cinder**, **Orihet3**, **SP-DCHAIN**. Diese sind durch spezielle Skripts an **MCNPX/PHITS** gekoppelt, um die Berechnung von Nuklidinventaren und Dosisleistungen zu ermöglichen.

**FLUKA**, **MARS**: integriert in Code

**PWWMBS**: für die Nuklidinventarberechnung sekundär bestrahlter Abfallkomponenten. Die Neutronenspektren werden mit **MCNPX** berechnet.

## Speziell für Abschirmung:

**MicroShield**: für einfache Photonenabschirmungsprobleme (Nuklidinput aus MC).

**Duct**: für die Auslegung von Labyrinthen (Input Spektrum aus MCNPX).

**Point Kernel Methode**: für Abschirmungsdesign (Parameter aus MCNPX).

## ANSYS

Für thermomechanische und thermohydraulische Berechnungen. Notwendige Inputdaten wie Energiedeposition kommen aus MC.

- **Aktivierungs- und Dosisberechnungen:**

- zur **Arbeitsplanung**

(z.B. PIREX, Megapie, Inspektion KHE2, Beamdump SwissFEL, QTH51)

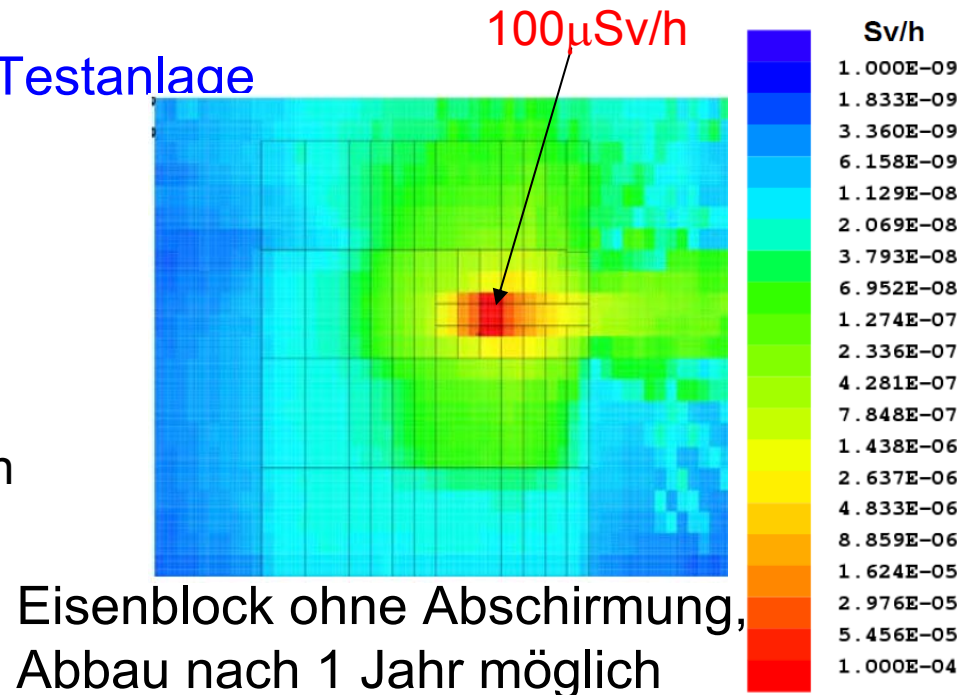
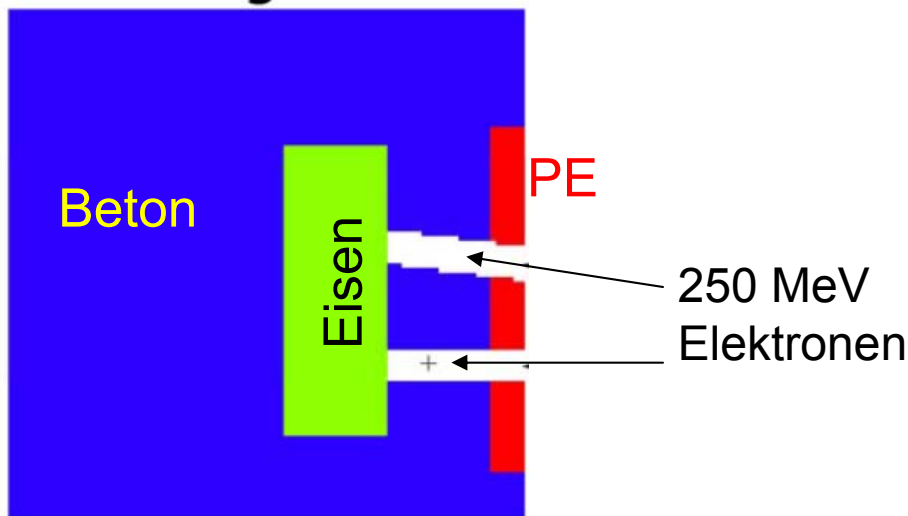
- zur Unterstützung bei der **Materialauswahl** neuer Komponenten

(z.B. Wahl der Aluminiumlegierung für neue Resonatoren Injektor 2, Nuklidinventar als Funktion des Strahlstroms für versch. Materialien)

- zum **Vergleich mit Messungen**

→ Rückschluss auf Nuklidinventar oder Verluststrom (z.B. bei Inj2)

Beispiel: Beamdump für 250 MeV Inj-Testanlage



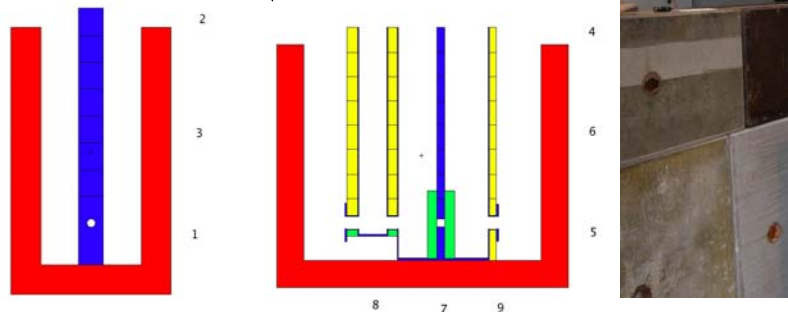
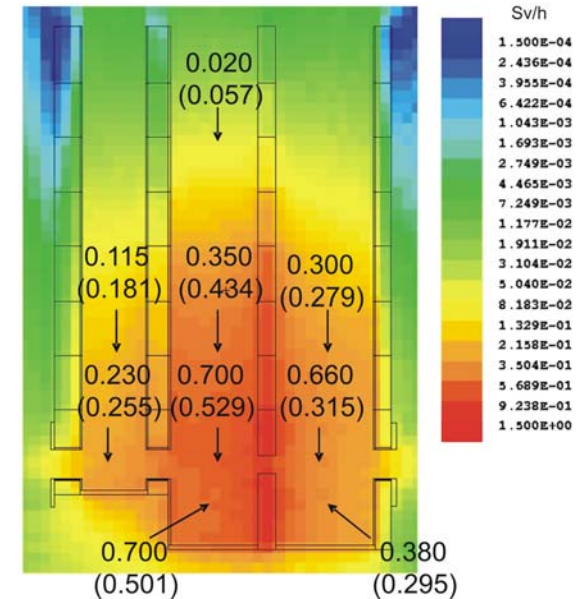


**Motivation:** Das PIREX Experiment war im Nukleonen Areal untergebracht und musste aufgrund des Neubaus von UCN abgebaut und entsorgt werden.

Zur besseren Strahlenschutzplanung wurde auch die Situation der Vakuumkammer im Container simuliert.



Berechnete, in Klammern, und gemessene DL (Sv/h)



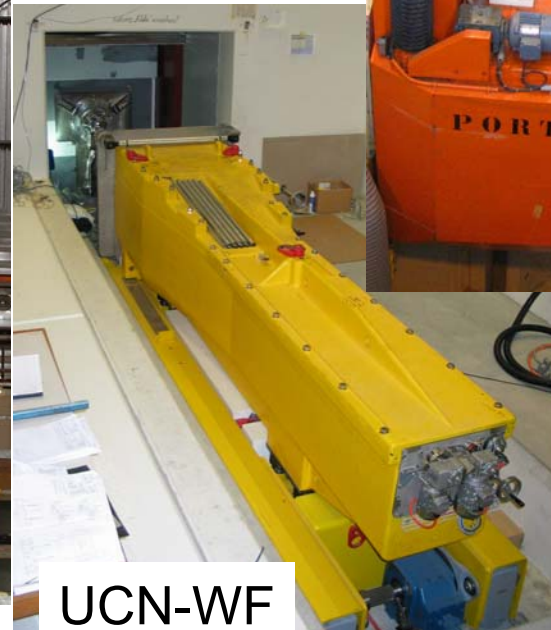
- **Auslegung und technisches Konzept für abgeschirmte Behälter:**
  - Wechselflaschen (Neudesign UCN Wechselflasche)
  - Parkierzellen (neue Parkierzelle im ATEC u. Aufrüstung der alten)
  - Transportbehälter/Abfallcontainer (z.B. Megapie, Einlagerung KHE2)



TargetE-WF



K&P-WF



UCN-WF

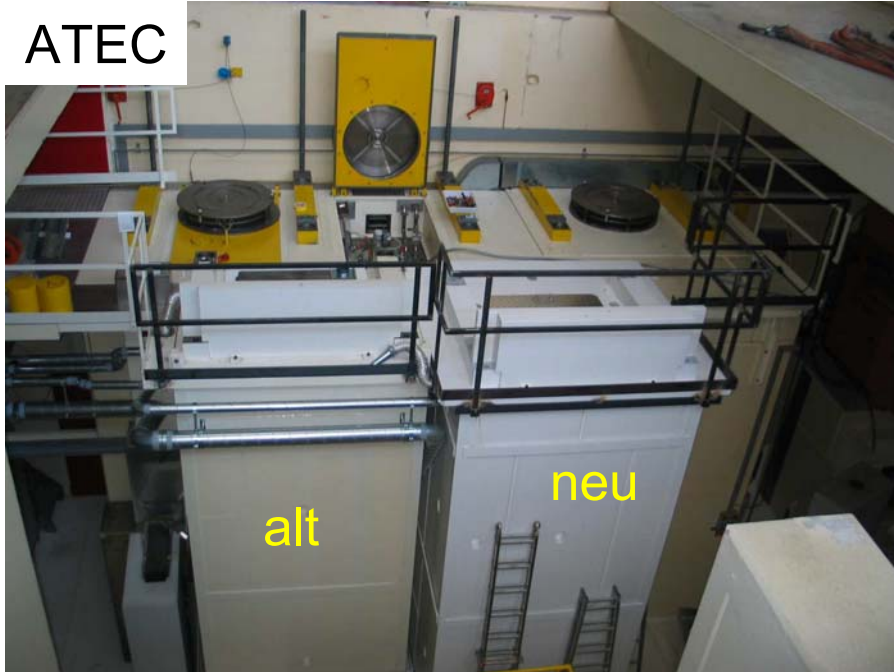


TargetM-WF

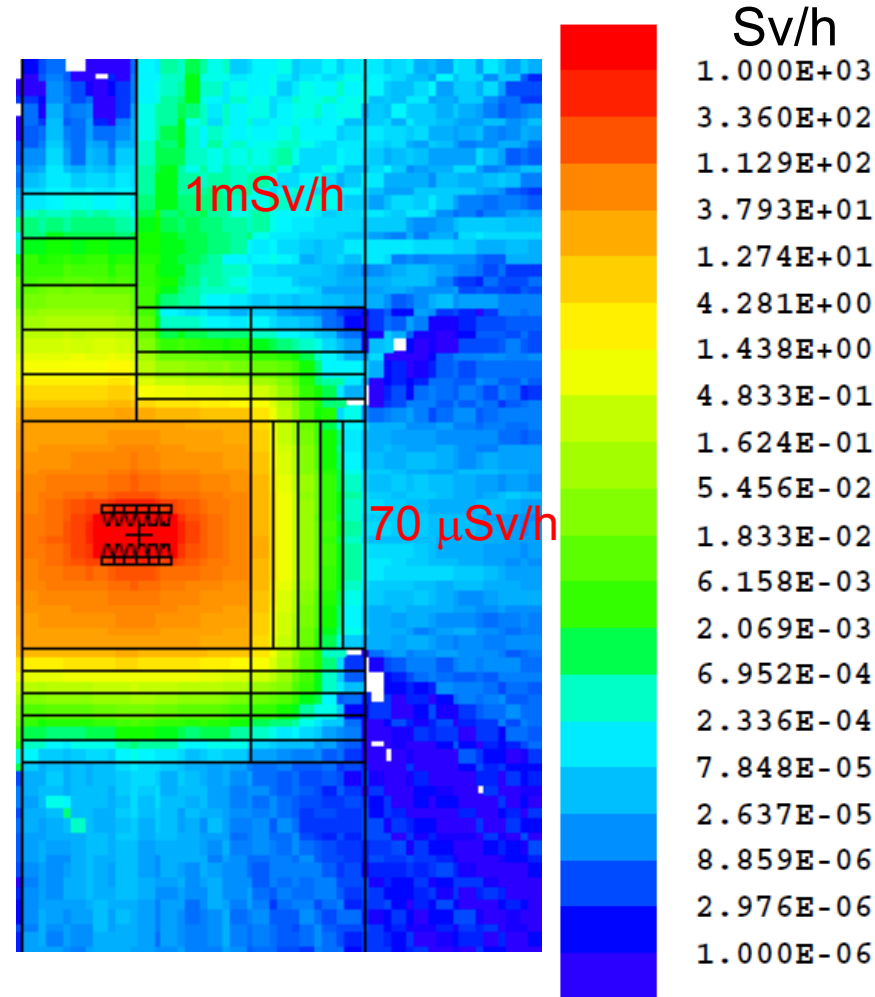
## Beispiel: Neue Parkierzelle u. Aufrüstung der alten

Grund: Belegung der alten Parkierzelle mit KHE2 für mind. 1 Jahr

ATEC



Ohne zusätzliche Abschirmung:



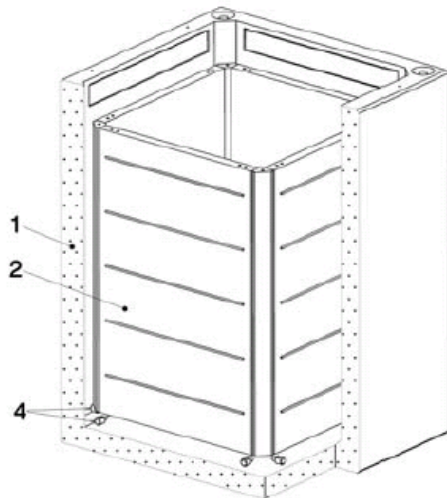
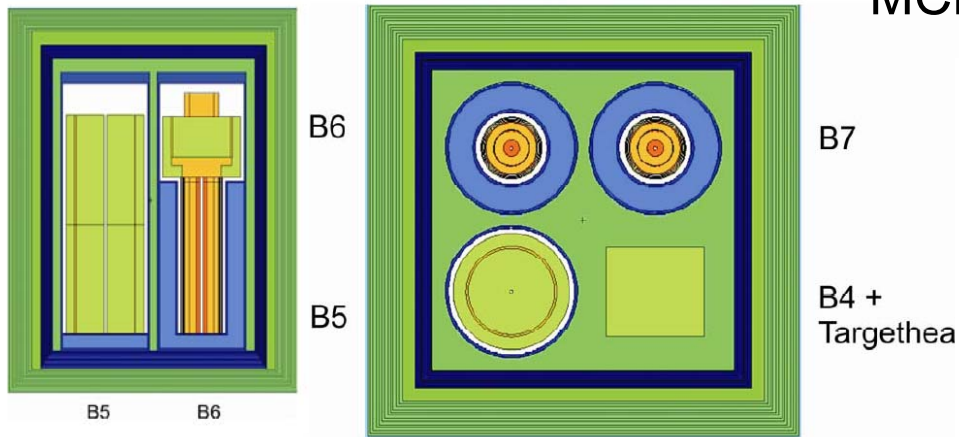
Aufrüstung der alten Parkierzelle:

- Neuinstallation der Lüftung (wg.  $^3\text{H}$ )
- Neues Schienensystem zur Aufnahme des KHE2
- Verstärkung der Abschirmung mit 20 cm Stahl im Innern

→ gemessene DL ~ Untergrund im Lagerraum

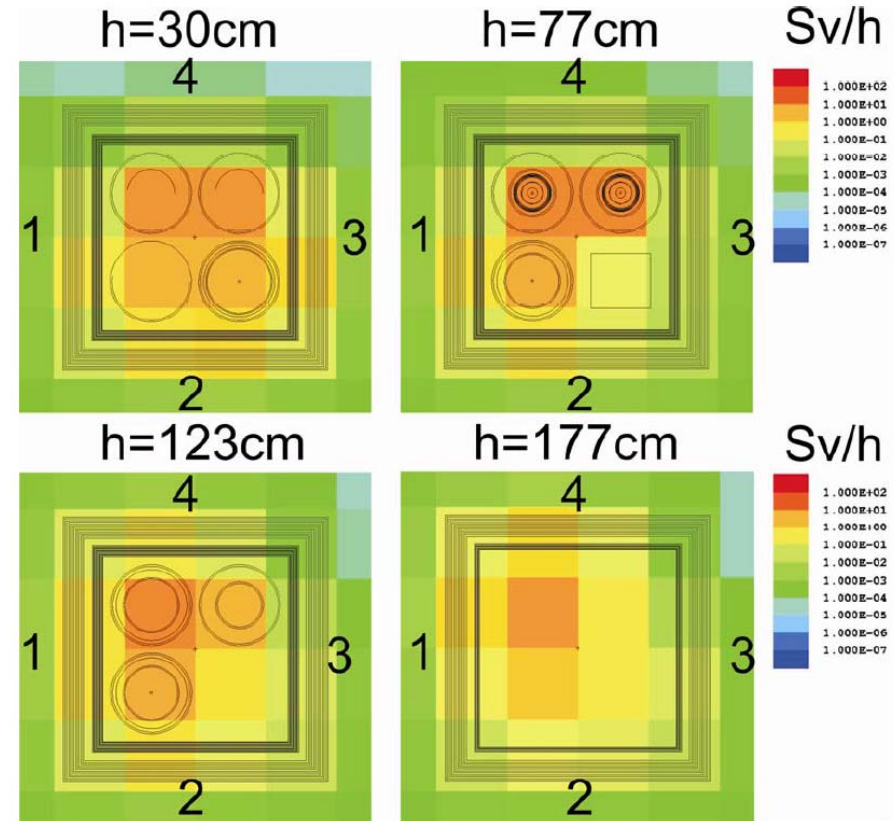


## MCNPX Geometrie



- 1 ... KC-T12
- 2 ... Spezieller Stahleinsatz

## MCNPX Berechnung d. remanenten Dosis



Es wurde Übereinstimmung zw. Messung und Simulation festgestellt. Vor allem lokale Dosismaxima wurden korrekt vorhergesagt. (MEGAPIE-Abfallcontainer derzeit in ZWILAG)



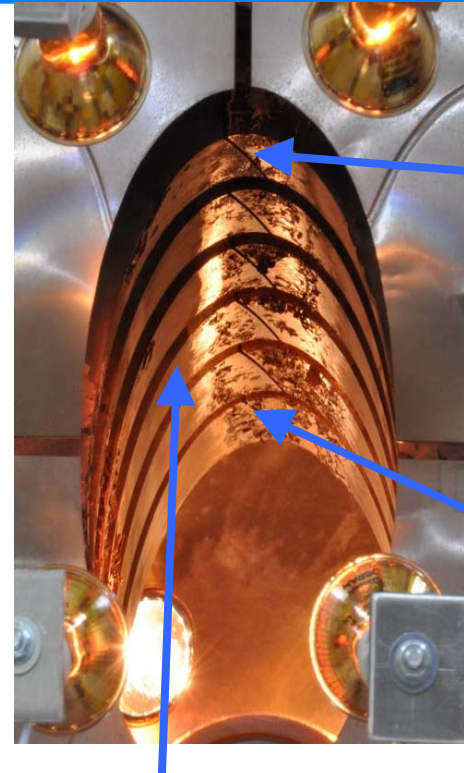
## Inspektion von KHE2

im ATEC:



Dosisleistung gemessen:  
**300 Sv/h** in 10 cm Abstand  
am Strahleintritt

gute Übereinstimmung mit  
MCNPX-Rechnung

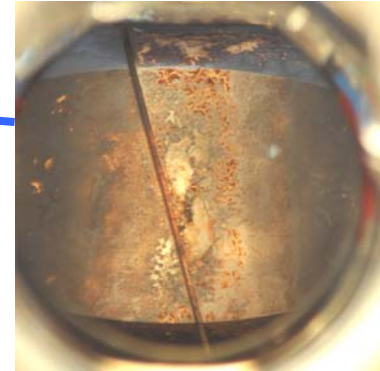


keine  
Beschädigung/Ablagerung  
dazwischen!

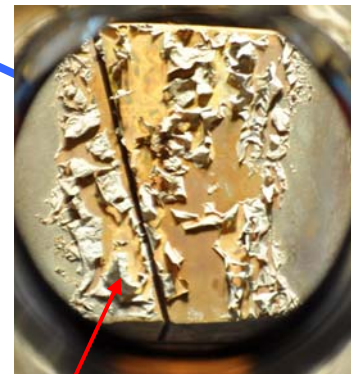
Probennahme:

Vergleich Messung & Rechnung:  
gute Übereinstimmung,  
Überschuss  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{22}\text{Na}$ ,  ${}^{110\text{m}}\text{Ag}$

Beam entry



Beam exit



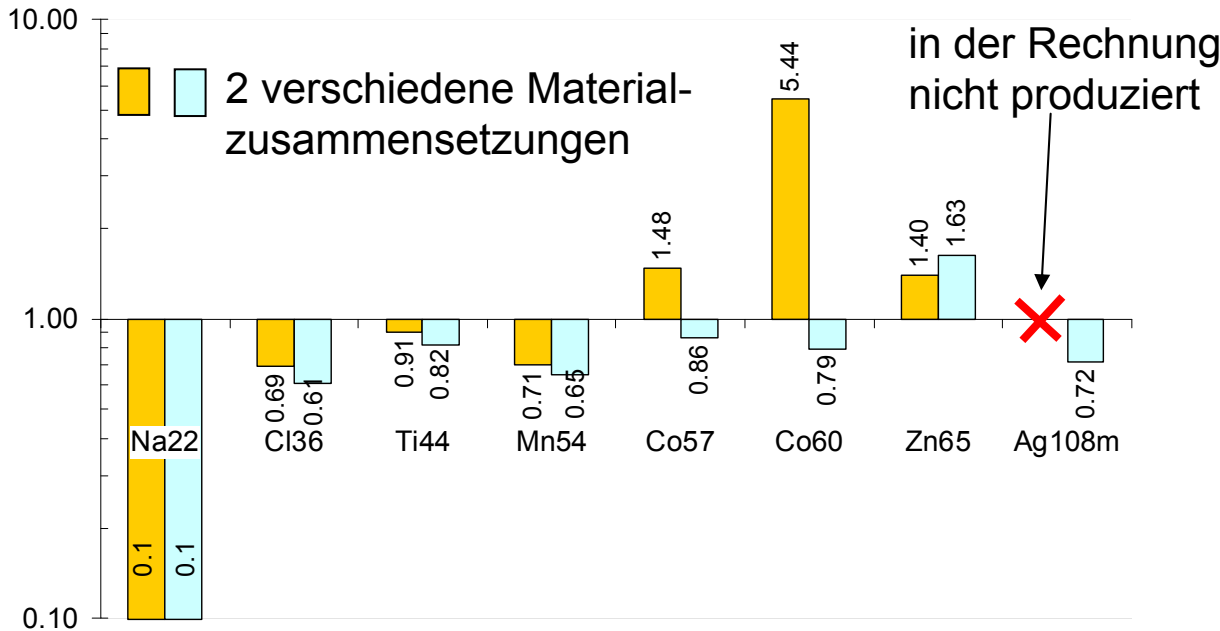
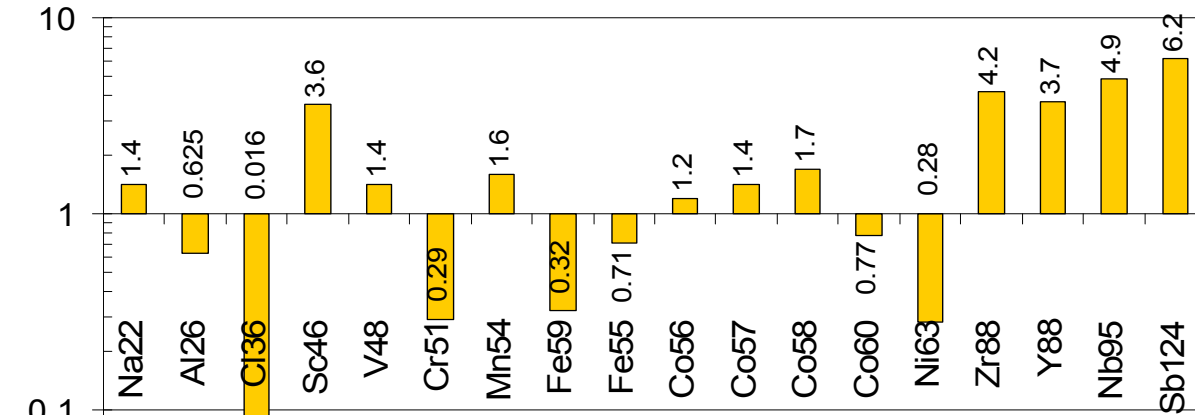
- **Berechnung von Nuklidinventaren:**

- von Komponenten in den **Abfallcontainern** (mit PWWMBBS, MCNPX, FLUKA), basierend auf der gelieferten Dokumentation (Prüfung auf Vollständigkeit!)
- Abschätzung des **Abfallvolumens zukünftiger und bestehender Anlagen** z.B. SWISSFEL, UCN (Voraussetzung für Betriebsbewill., Forderung BAG), HIPA (Forderung NAGRA)
- von stillgelegten Anlagen (Injektor1)
- **Validierung** durch Vergleich mit Messungen (Radioanalytik, SU) (Auflage von NAGRA)

- **Administrative und unterstützende Aufgaben:**

- Kontrolle/Verwaltung der KAT-Zettel und dazugehöriger Dokumente, Einträge in die Datenbank ISRAM, AGT Spezifikationen
- Zusammenarbeit mit ATEC-Personal, RBE und SU bei der Befüllung der Abfallcontainer (Beispiel: Graphitkollimator aus Ringzyklotron)

exp./berechnete Aktivität



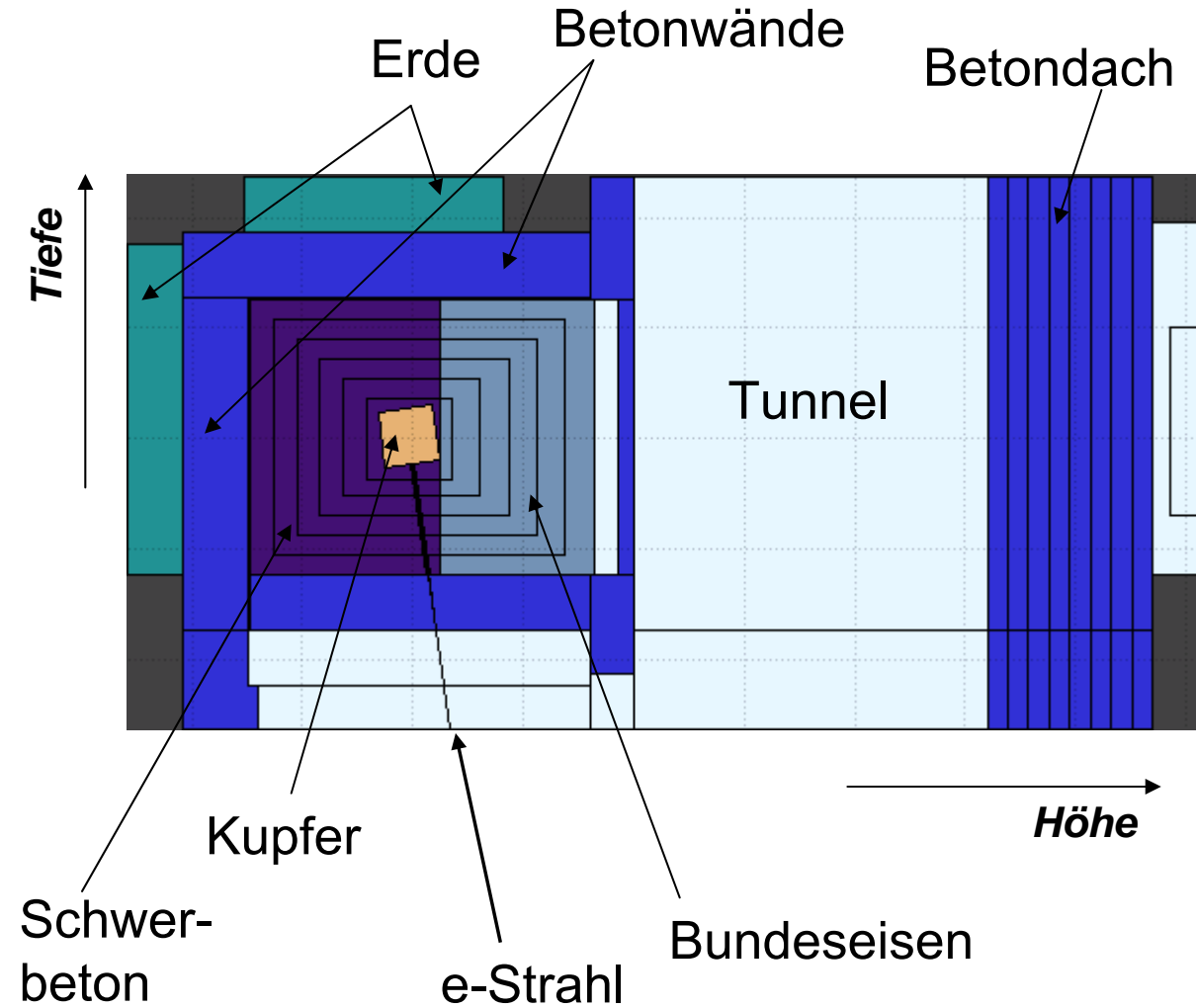
PWWMBS

Rechnung für  
Edelstahlprobe  
von Strahlrohr  
am ASK61 ( $\mu$ E4-  
Strahllinie)

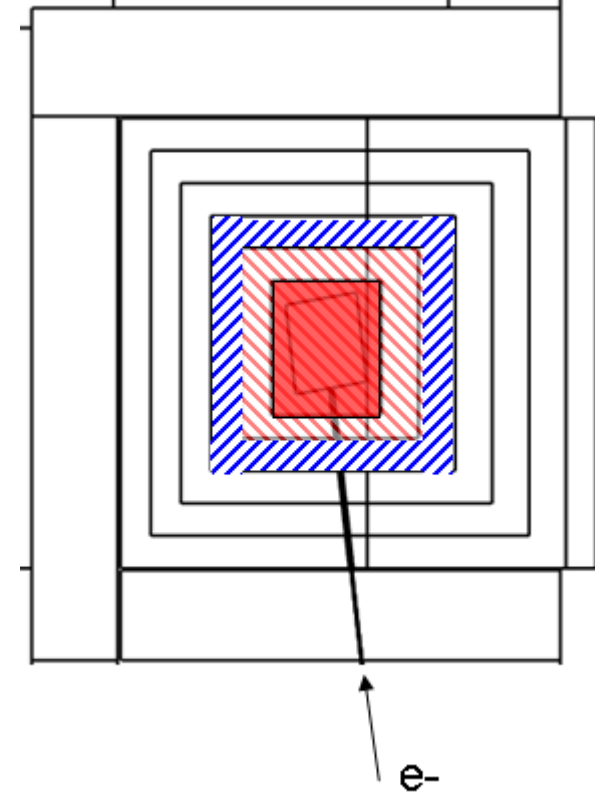
MCNPX/CINDER

Rechnung für Alu-  
Probe der SINQ  
Targetschutzhülle

# Beispiel: Aramis Beamdump für SWISSFEL



Radioaktiver Abfall nach 40 Jahre Betrieb:



ca. 17 t Abfall  
(mit neuen Freigrenzen)

Zusammenarbeit mit Eike Hohmann (Design)



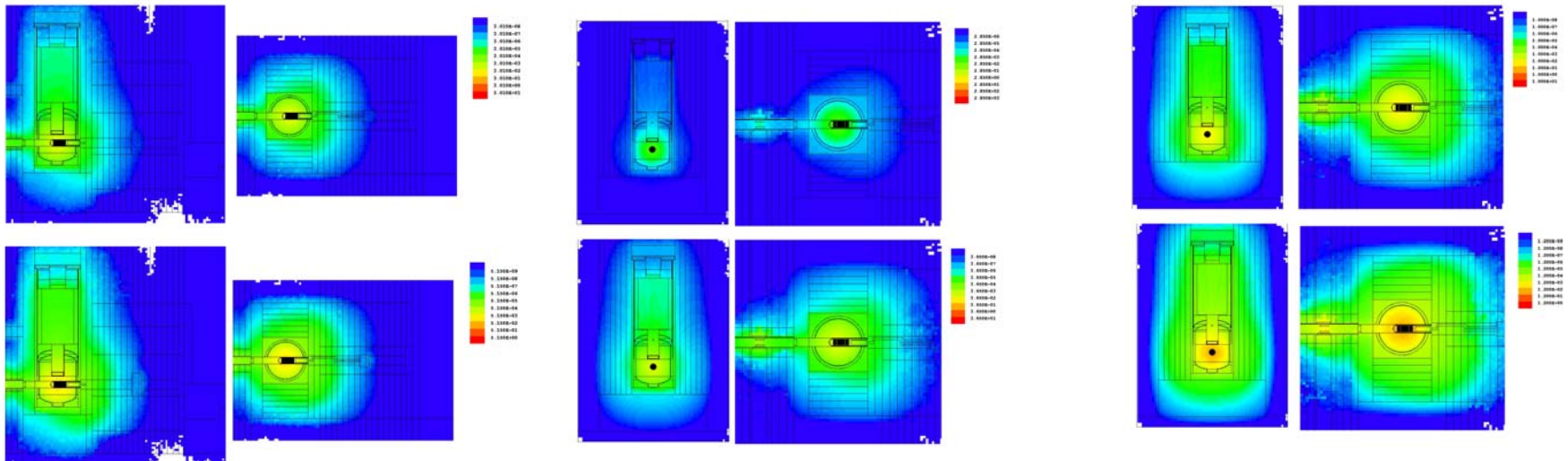
**Berechnungen mit MCNPX:**

- Für den Erhalt der Betriebsbewilligung der UCN-Anlage wurde vom BAG die Abschätzung des entstehenden Gesamtabfallvolumens gefordert.

3 Jahre Betrieb +  
30 Jahre Abklingen

3 Jahre Betrieb +  
75 Jahre Abklingen

20 Jahre Betrieb +  
30 Jahre Abklingen



Annahme: Betrieb bei 20  $\mu$ A

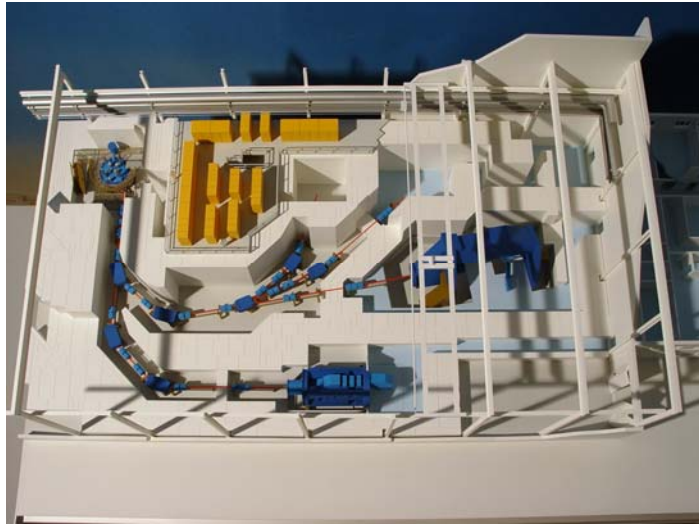
Berechnung der kritischen Neutronenflüsse,  $\Phi_{\text{krit}}$ , welche zu  $DL > 0.1 \mu\text{Sv/h}$  (@ 10 cm) führen  $\rightarrow$  zu entsorgende Volumina können über Kontouren der Flussverteilungen berechnet werden (dunkelblau = inaktiv)

Zur Einhaltung von Dosisleistungsgrenzwerten während Strahlbetrieb:

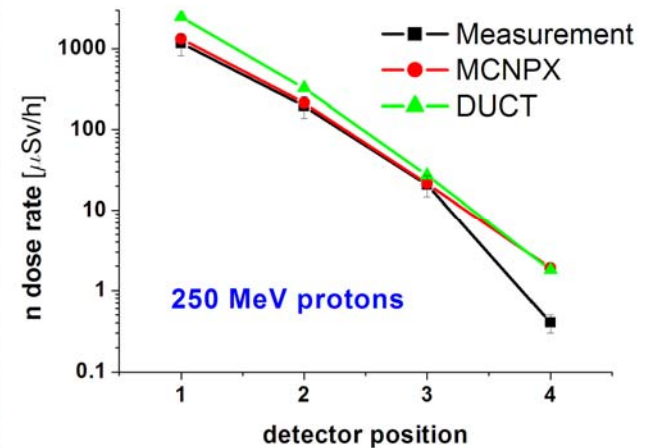
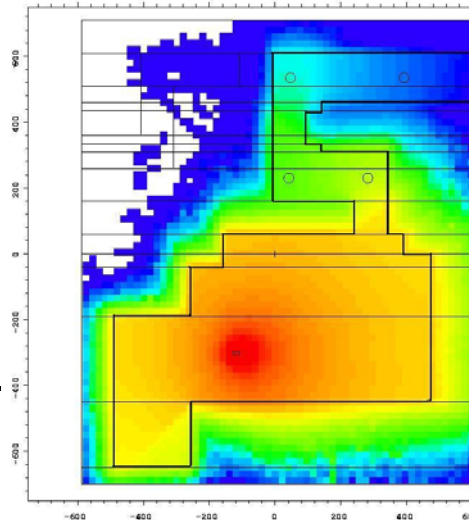
- Proscan/OPTIS2/Gantry2/PIF
- Proscan+
- UCN: diverse Rechnungen,  
Kontrolle des Sicherheitsberichtes hinsichtlich Abschirmung
- Inj.2 in Richtung HF-Gebäude
- neue HF-Durchführungen für 500 MHz Buncher
- Resonator4 bei AXA Magnet (Inj2.): Skyshine von Inj2. Dach

Zusammenarbeit mit SU für Vergleichsmessungen und Festlegung der Limiten.

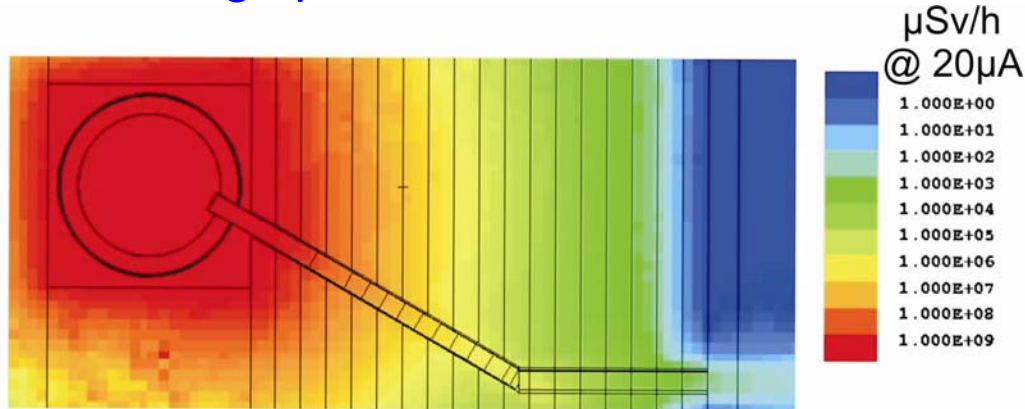
- Abschirmdesign mit Point Kernel Methode: 
$$H(E_p, \theta, d(\theta)) = \frac{H_0(E_p, \theta)}{r^2} e^{-\frac{d(\theta)}{\lambda(\theta)}}$$
- Quellterme und Abschwächungslängen aus MCNPX
- Labyrinth mit analytischem Programm DUCT
- Vergleichsmessungen mit SU



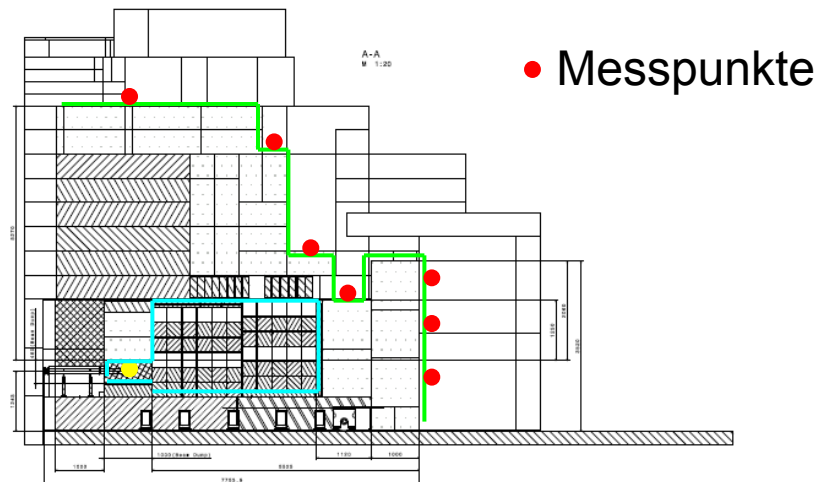
z.B.: Messung und Methodenvergleich Labyrinth Testareal



Abklärung spezifischer Problemsituationen: z.B.: Neutronenleiter



Vergleichsmessung mit SU beim UCN Beamdump für Aktualisierung der im SiBe verwendeten Abschirmparameter





2006 wurden über Resonator 4 des Injektor2 40-cm-dicke Polyäthylenblöcke montiert um das Skyshine Problem zu minimieren



Mit dem geplanten Einbau des neuen Resonators 4 muss eine andere Lösung gefunden werden – Abklärungen und Berechnungen laufen

- **Technische Routinearbeiten** (z.B. TgE Wechsel)
- **Weiterentwicklungen zur Beibehaltung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit von HIPA** bei steigendem Strom und zusätzlichen Pulsen durch UCN Betrieb (Neuentwicklung KHE2&3, Test Vollkeramiklager)
- **Messung und Überwachung von Betriebsparametern** (z.B. Kühleffizienz von KHE2, Überwachung TargetE & M Rotation)

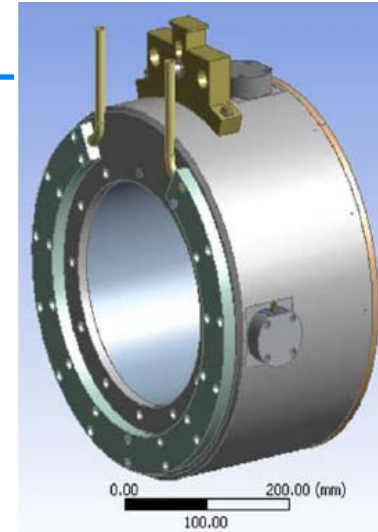
## Unterstützung der Arbeiten mit:

- **Monte Carlo Strahlungstransportrechnungen:** Teilchenproduktion, Energiedeposition, DPAs (Displacement of Atoms = Mass für Materialschädigung → begrenzte Lebensdauer von Komponenten)
- **Multiphysikrechnungen (ANSYS):** Auslegung von Komponenten, Planung von Experimenten, Unterstützung der Auswertung/Interpretation, Überprüfung bestehender Komponenten wg. erhöhtem Strom und UCN Pulsbetrieb

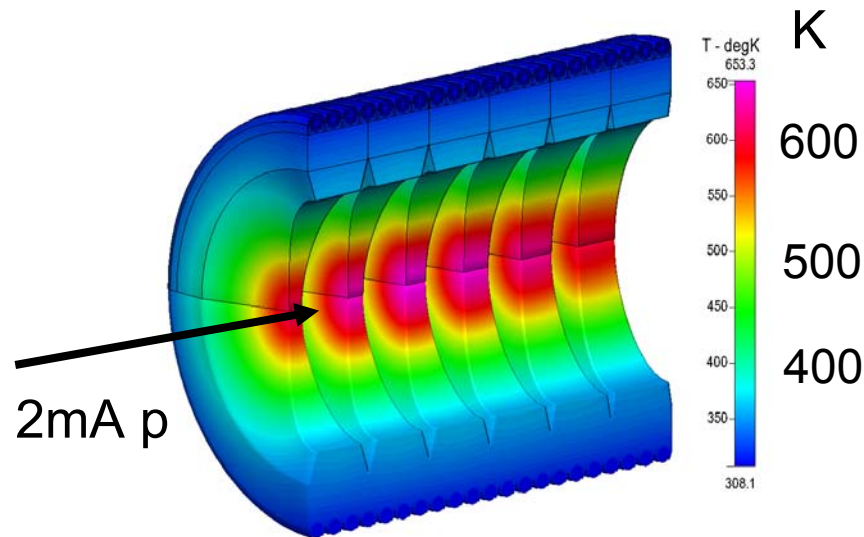
**gilt gleichermassen für die Entwickl./Überwach. der Spallationstargetanlagen**

## Motivation:

- nicht alles kann gemessen werden (insb. im Betrieb)
- Vermeidung von teuren Konstruktionen, die nicht funktionieren
- Vermeidung von Betriebsausfall und rad. Abfall

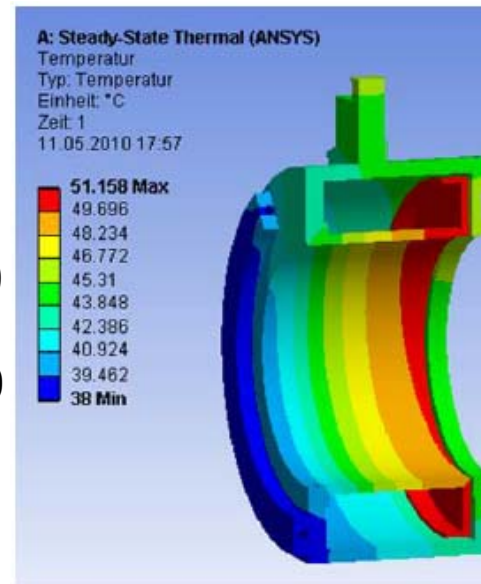


## Temperaturverteilung im KHE2:



Limit: 2.4-2.5 mA

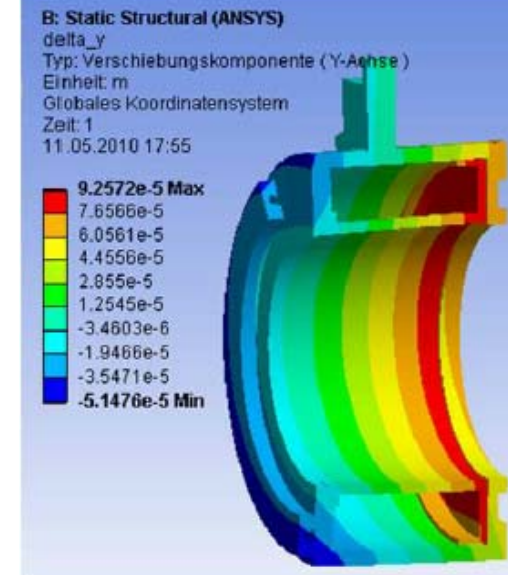
## MHC5: Strommonitor Temperaturverteilung:



Problem:

Resonanz abhängig vom Strahlstrom

## Strukturanalyse (Verschiebung)



Target E93 im April 2012: 33.5 Ah



Segmente gegeneinander verbogen.  
wieviel? → Messung im ATEC geplant  
warum? → Rechnung zurückgestellt  
Grund: UCN Pulsbetrieb??

Target M65: August 2012  
3 Löcher im Target

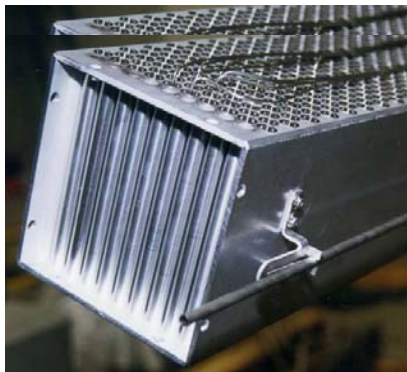


Interlock von Steuerung  
jetzt schneller: (50 statt 700 ms)

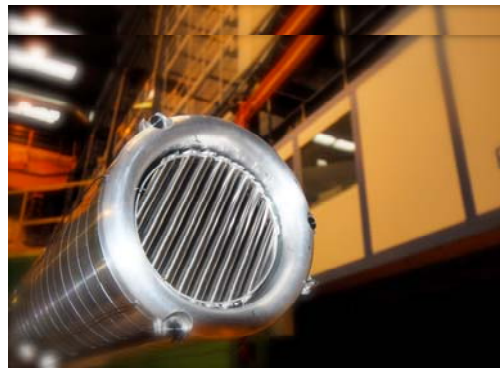


# Entwickl. / Überwach. Spallationstargetanlagen

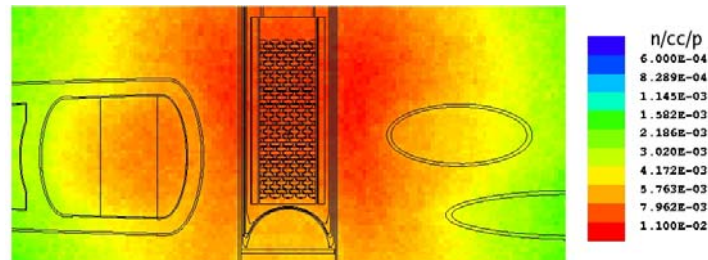
- Teilchentransportberechnungen zur **Steigerung der Neutronenausbeute** von SINQ → Redesign Target (von Mark III zu Mark IV Steigerung um 60%)
- **Validierung** der verwendeten Codes und Wirkungsquerschnitte durch Messungen an SINQ und UCN (z.B. Messungen an ICON und HRPT)
- **Thermomechanische Berechnungen zur Kühlung** und experimentelle Validierung
- Installation und Analyse von **Sensoren** beim SINQ Target (Vibration, Beschleunigung)



Target5 (Mark III)



Target8 (Mark IV)

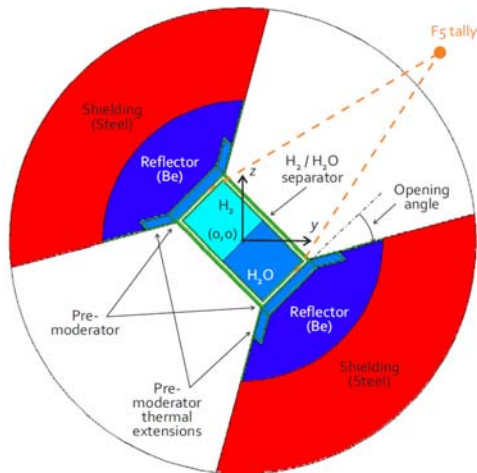


Neutronfluss (MCNPX)

Kompetenzen werden auch für **andere Projekte** eingesetzt:

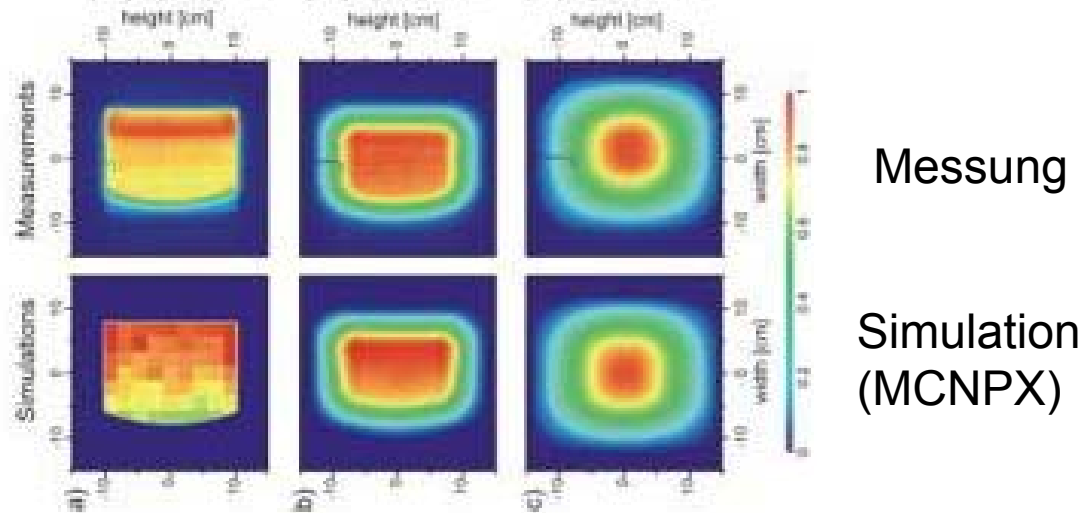
- Bi-spektraler Moderator für ESS (in-kind Beitrag der Schweiz)
- Projekte bei SLS und SwissFEL (Kühlsysteme, Einsatz von Sensoren)

ESS – bi-spektraler Moderator:



Weiterentwicklung eines speziellen Code-Paketes:  
Variation der Geometrie mit „Optimizer“ in MCNPX  
→ Maximierung des n-Flusses, Signal to Noise ...

Code Validierung an ICON:

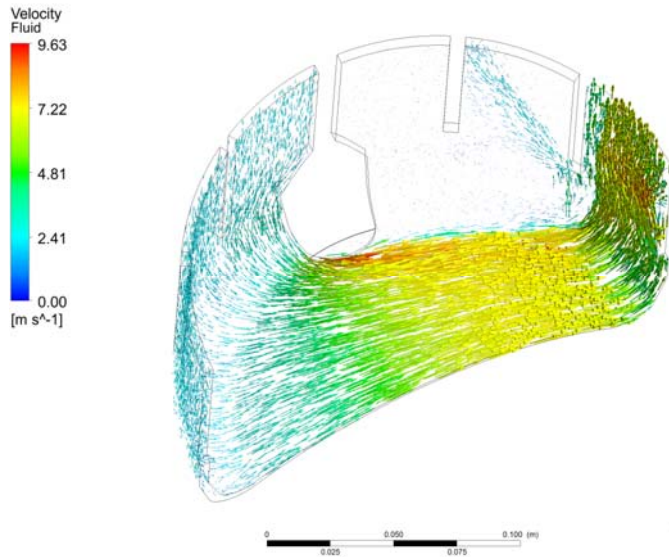


Zusammenarbeit mit U. Filges, E. Lehmann

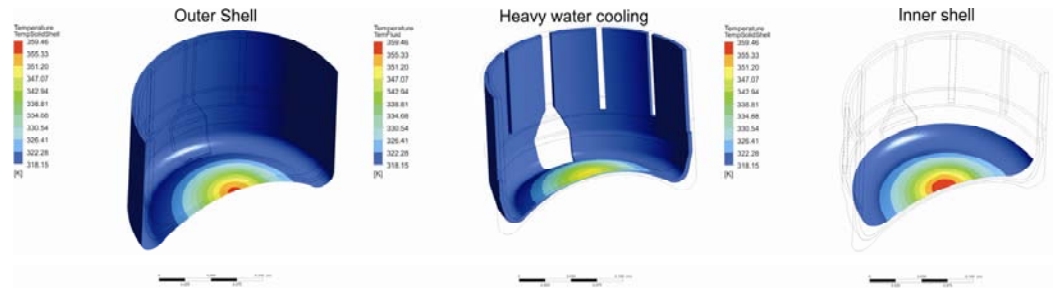
**Ausblick:** Berechnungen zur effizienteren Moderation in D<sub>2</sub> Quelle und H<sub>2</sub>O Streuer in SINQ geplant (u.a. mit neuem Code Paket)

**Ausblick:** Messkampagnen in Zusammenarbeit mit LDM an SINQ und LTP an UCN in Arbeit (Validierung)

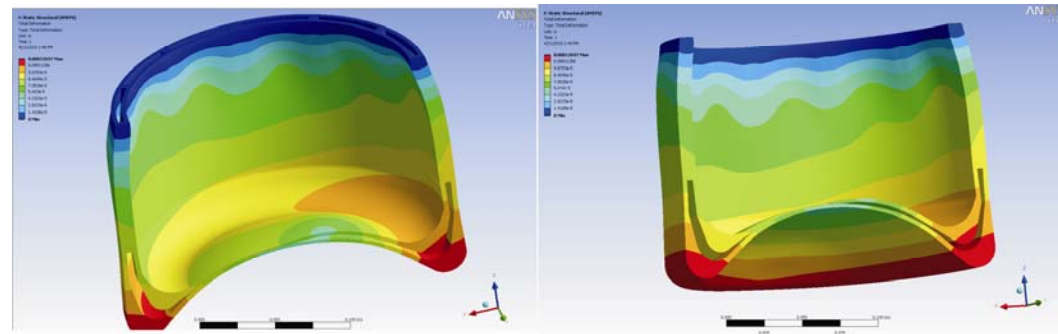
**Motivation:** Protonen verlieren bis zur Spallationszone weniger Energie → höhere Neutronenausbeute (~10%), wenn Kalotte invertiert



Geschwindigkeitsverteilung des Schwerwassers innerhalb der doppelwandigen AIMg3 Schutzhülle



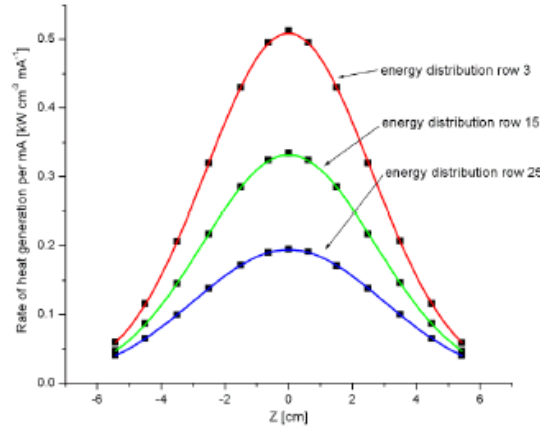
Temperaturen im Bereich der AIMg3 Kalotte bei Normalbetrieb von SINQ



Deformation der inneren (links) und äusseren (rechts) AIMg3 Wand bei dezentralem Strahl

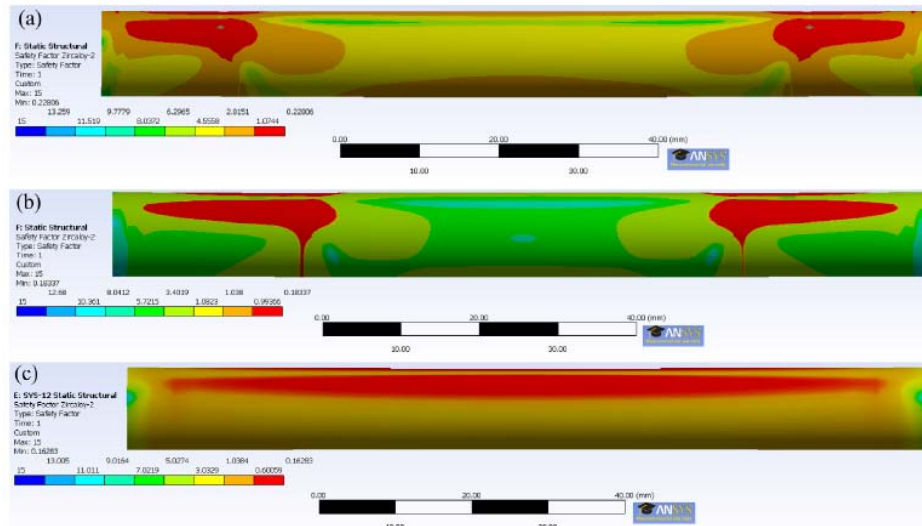


## Energie Deposition



Gegen Ende des Betriebs von Target 8 (2009/2010) wurde erhöhte Radioaktivität im Kühlwasser festgestellt. Bruch von Cannelloni (und Blanket?). Aufgrund des gepulsten UCN-Betriebs wird nun auch noch der Einfluss von zyklischem Ermüden untersucht.

## ‘Safety Factors’ für die Reihen 3, 15 und 25





- **Langjährige Erfahrung in Teilchen- und Strahlungstransportrechnungen:**  
vielfältige Anwendungen und Projekte: z.B.
  - biologische Abschirmungen & Abschirmbehälter
  - Dosisleistungsabschätzungen
  - Nuklidinventar
  - Neutronik....
- **Effiziente Unterstützung bei der Realisierung von Abschirmungen:**  
Ziel: pragmatische und kostengünstige Lösung
- **Zusammenarbeit mit SU und RadWaste Gruppe sowie LDM und UCN:**  
Validierung der Rechnungen zu Abschirmung & Aktivierung, Neutronik
- Ergebnisse der Rechnungen fließen in Konstruktion, Funktionstests sowie Experimente ein
- **Technisches Knowhow** in der Sektion ermöglicht Bau von Einschüben, Wechselflaschen, Spallations-Targets etc.

Pedro Baumann, Techniker  
Daniel Laube, Techniker  
Ake Strinning, Ingenieur:  
techn. Konzepte, Entsorgung administrativ

} Betrieb Mesonentargetanlagen,  
Wechselflaschen/Parkierzellen

Sergejs Dementjevs, Dr. Physiker  
Stefan Joray, Ingenieur  
Filippo Barbagallo, Techniker

} Experimente zur Validierung,  
insb. Kühlung,  
Sensorsysteme

Raffaello Sobbia, Dr. Physiker: ANSYS

Sabine Teichmann, Dr. Physikerin: Abschirmung  
Daniela Kiselev, Dr. Physikerin: Nuklidinventar, Dosis  
Michael Wohlmuther, Dr. Physiker: Codeentwicklung  
Vadim Talanov, Dr. Physiker: SINQ, UCN  
Tibor Reiss, Postdoc: ESS

} Teilchentransport-  
programme