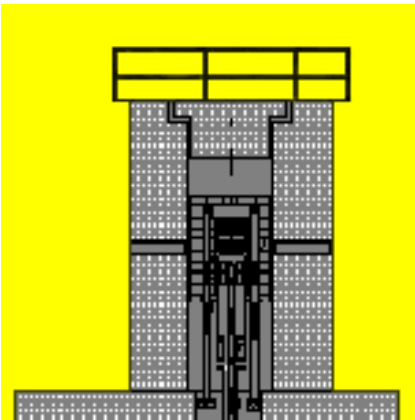


Entwicklung Kritikalitätstester

Problem:

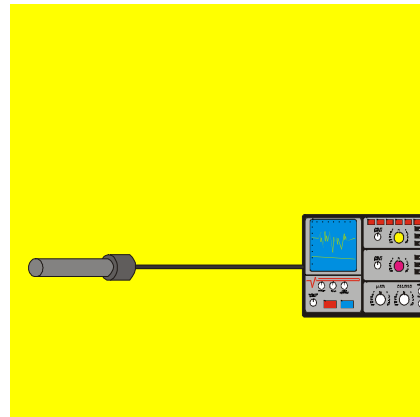
schwer zugängliche Spaltzonen erfordern einen hohen Zeit- und Personalaufwand für die Präsentation des Kernbrennstoffs zur Kernmaterialkontrolle

Herstellen des überkritischen Reaktorzustands durch den Reaktoroperator



Inspektionsaufgabe:
Ist der deklarierte Kernbrennstoff im Reaktor?

Messung der Neutronenflussdichte innerhalb oder außerhalb des Reaktors



Unabhängiges Messgerät
(Vielkanalanalysator als Multiscaler)

Entscheidung über den vorgeführten Reaktorzustand



Auswerte-
algorithmus
TREND 95

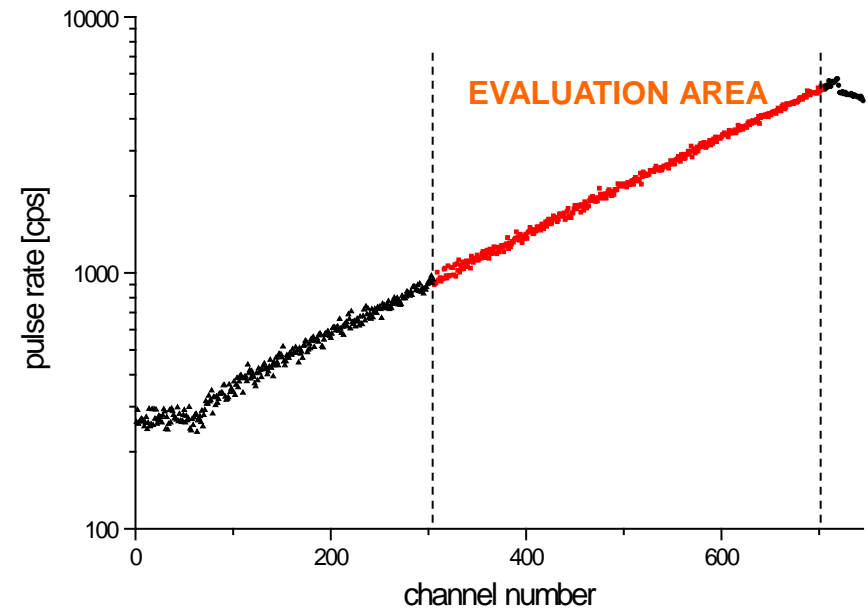
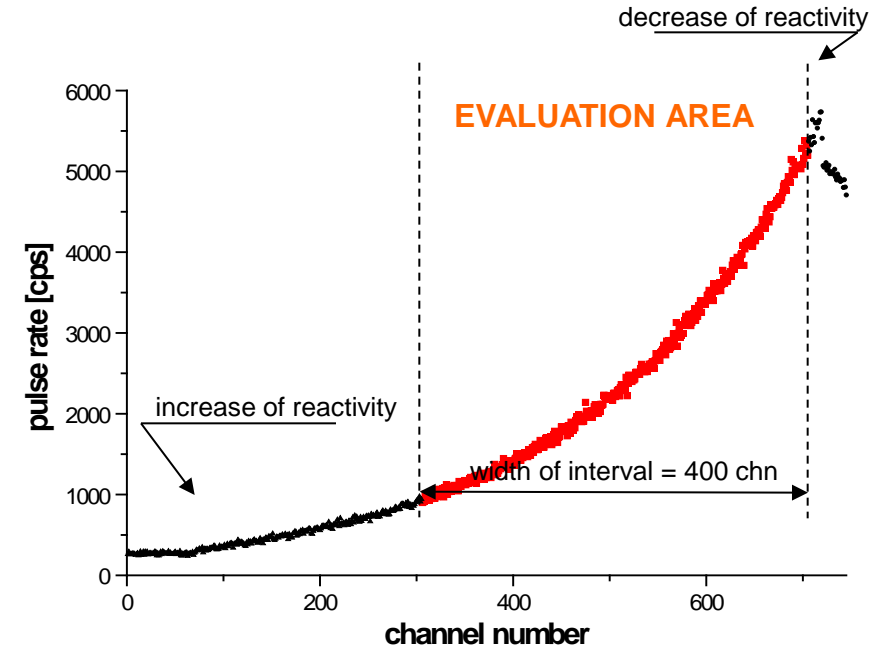
Überkritischer Zustand bestätigt:
mindestens die kritische Masse ist im Reaktor vorhanden

Auswertealgorithmus TREND 95

Messung des exponentiellen
Leistungsanstiegs mit stabiler
Reaktorperiode



Logarithmierung des Ergebnisses und
Prüfung der Linearität innerhalb der
Fehlergrenzen



Trainingskurse für Inspektoren der IAEA zur Anwendung des Kritikalitätstesters



Erweiterung und Verifikation von TRAMO zur Lösung von gekoppelten Neutronen/Gammatransportproblemen und Überprüfung von Kerndatenbibliotheken

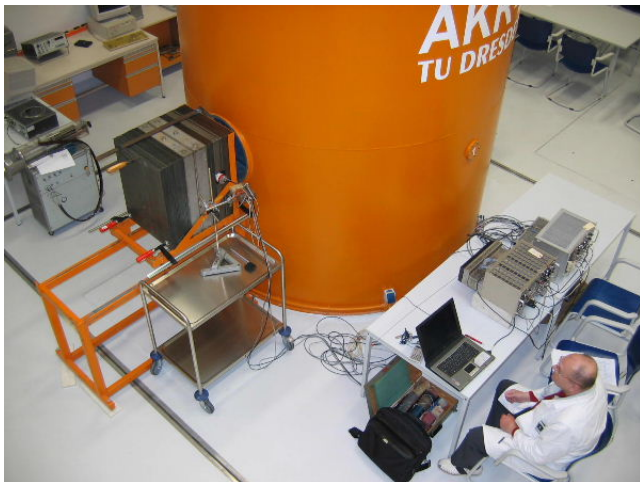
Hintergrund der Untersuchungen:

- Aktuelle Erkenntnisse belegen einen bisher vernachlässigten Beitrag der Gammastrahlung zur Versprödung von Reaktormaterialien.
- Die Berechnung von Gammefeldern stellte einen Schwachpunkt in der Reaktormaterialdosimetrie dar und erforderte die Weiterentwicklung von Transportberechnungsmethoden sowie ihre Verifizierung durch Experimente, wobei die Energiespektren der Neutronen- und Gammastrahlung die maßgebliche Wichtungsfunktion sind.

DFG-Verbundprojekt zwischen:

- FZD (IFS, Abt. FWST) ⇒ Projektleitung, Monte-Carlo-Rechnungen
- HS Zittau/Görlitz (FB MW) ⇒ Bestrahlungen am ZLFR, Einsatz von TLD
- TU Dresden (IKTP) ⇒ Neutronen- und Gammaspektroskopie (NE213-Szintillator)
- TU Dresden (WKET) ⇒ Bestrahlungen am AKR, absolute Monitorierung, Aktivierungs sonden

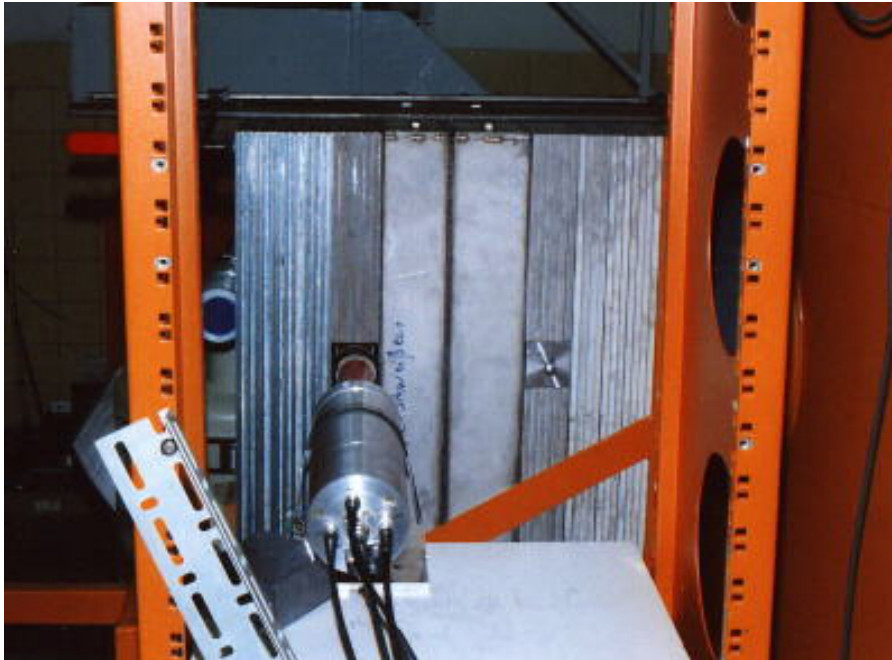
Erweiterung und Verifikation von TRAMO



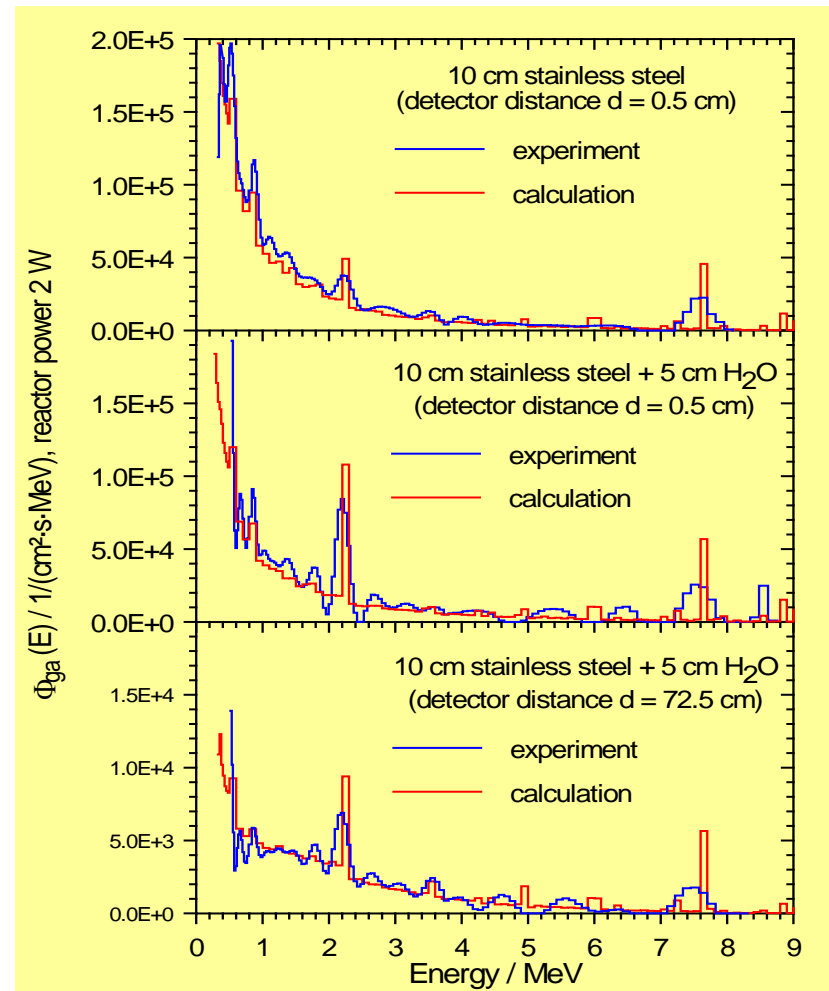
Inhalt des Projektes:

- Aufbau von variablen Anordnungen aus Eisen-Wasser-Schichten am AKR der TUD und dem ZLFR in Zittau zur Druckbehältersimulation
- Messung hochenergetischer Gamma- und Neutronenspektren mit einem NE213-Spektrometer und **Absolut**vergleich zu Monte-Carlo-Rechnungen (MCNP und TRAMO)
- Absolutbestimmung thermischer Neutronenflussdichten mit einem He3-Detektor einschließlich Absolutkalibrierung des Detektors

Erweiterung und Verifikation von TRAMO



Beispiele absolut gemessener Gammaskpektren hinter Schichtanordnungen am AKR und Vergleich mit MCNP-Rechnungen



Erweiterung und Verifikation von TRAMO

Vergleich von Simulationsprogrammen

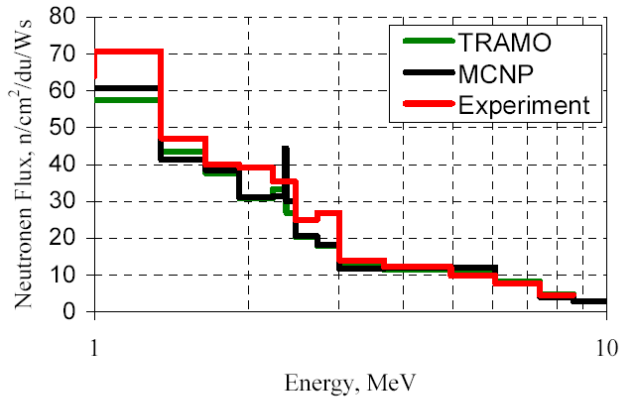


Figure 2. Comparison of neutron flux spectra

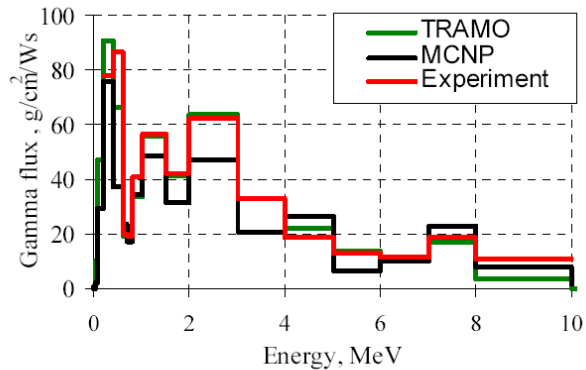
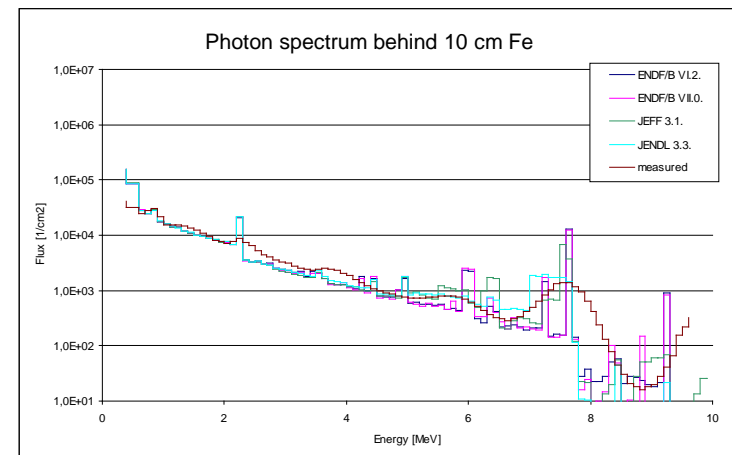
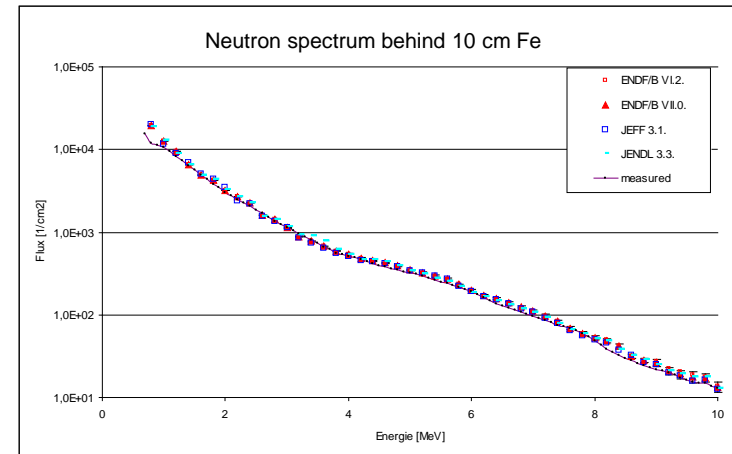
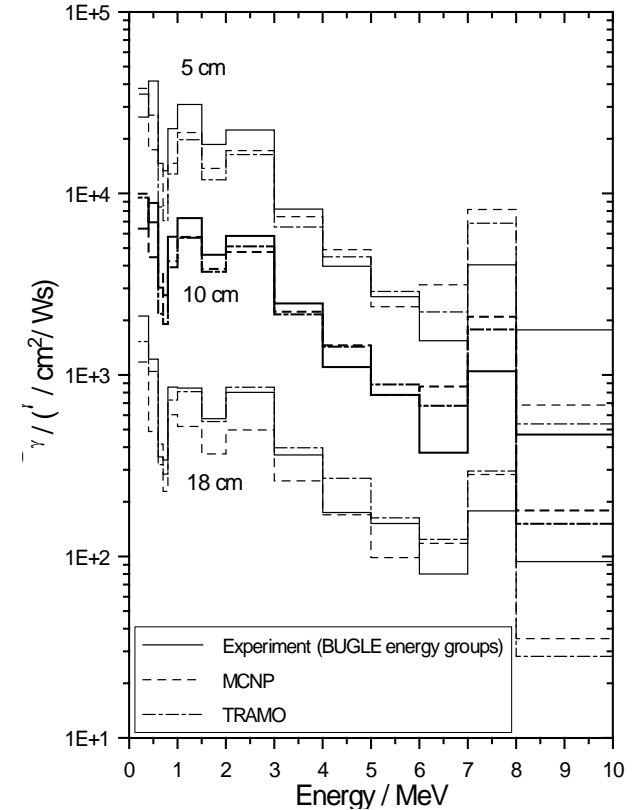
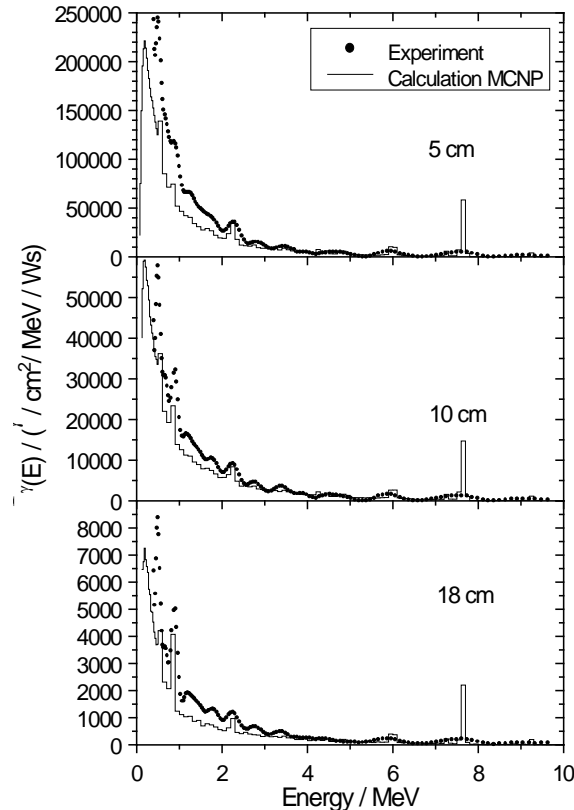
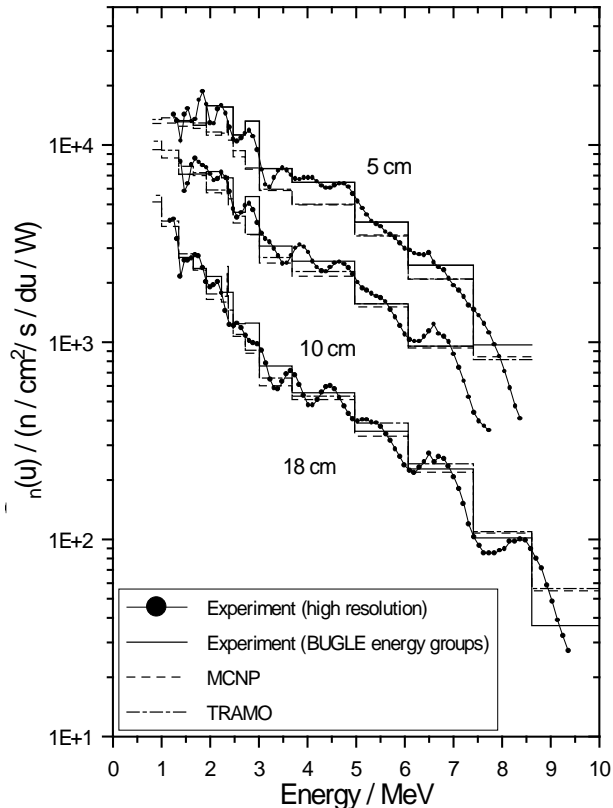


Figure 3. Comparison of gamma flux spectra

Vergleich von Kerndatenbibliotheken

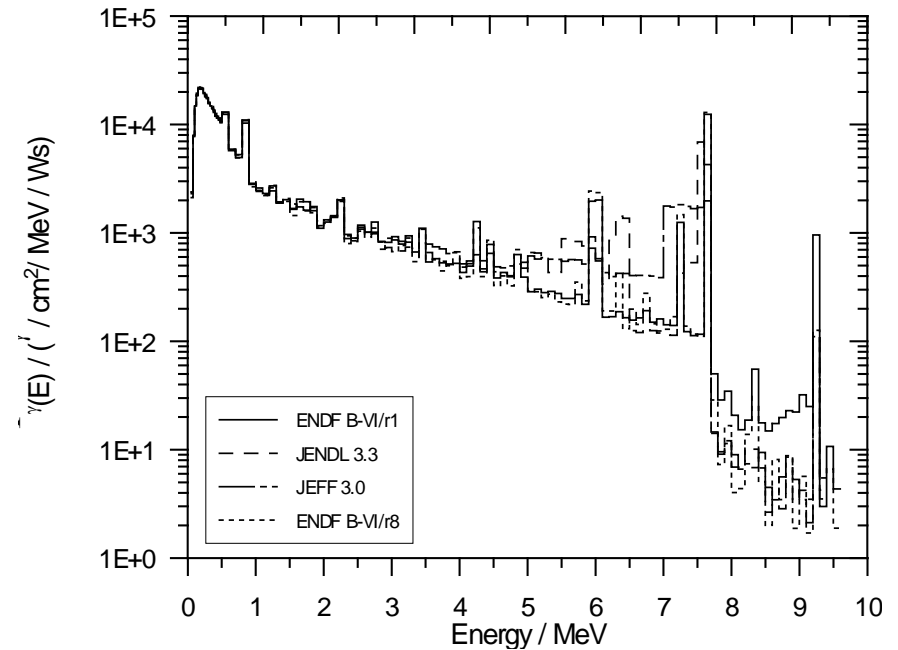
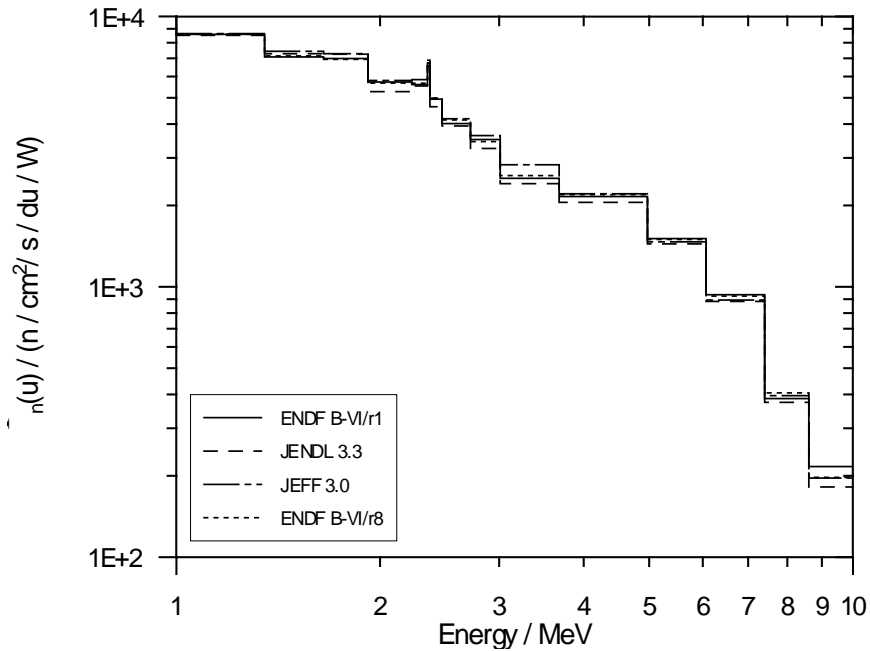


Erweiterung und Verifikation von TRAMO



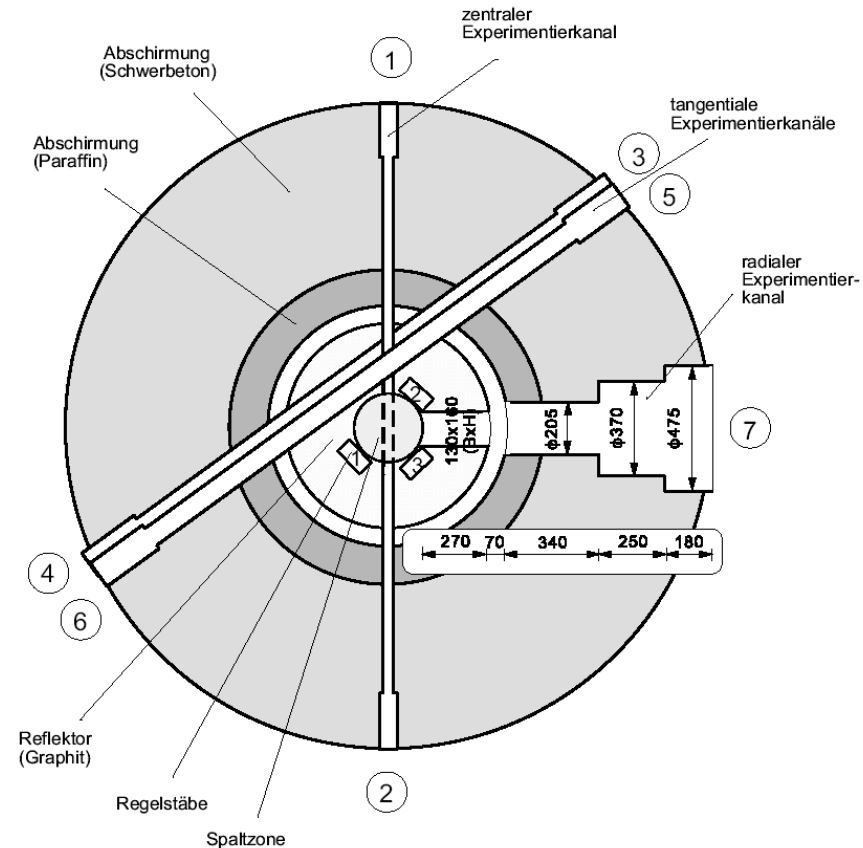
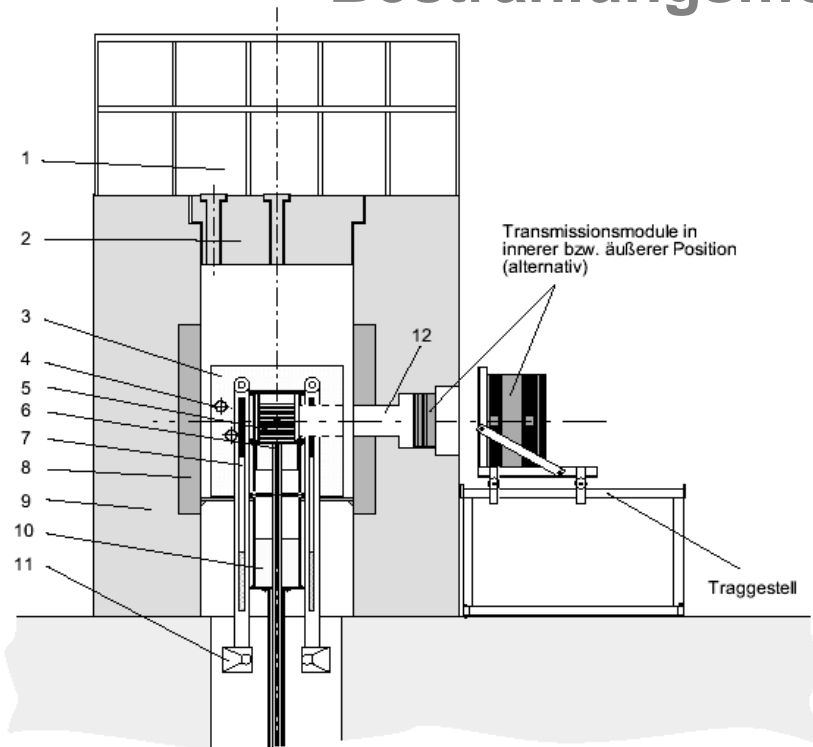
Comparison of neutron (left) and gamma (center and right) fluxes measured and calculated on absolute scale for 3 thicknesses of iron module at AKR (detector position behind module)

Erweiterung und Verifikation von TRAMO



Absolute neutron (left) and gamma (right) fluxes calculated with MCNP using various nuclear data libraries (module 10 cm iron at AKR, position behind module)

Bestrahlungsmöglichkeiten am AKR



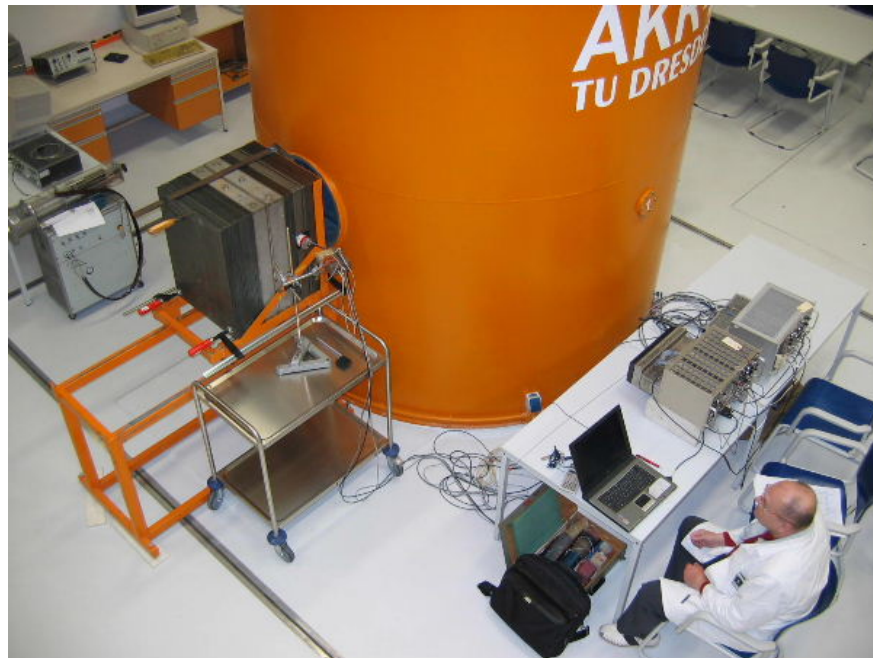
- 1 Reaktorkopf mit Schutzgeländer
- 2 Reaktordeckel
- 3 Reflektor (Graphit)
- 4 tangentielle Experimentierkanäle
- 5 Spaltzone
- 6 Neutronenquelle in eingefahrener Position
- 7 Regelstäbe
- 8 Abschirmung (Paraffin)
- 9 Abschirmung (Schwerbeton)
- 10 Container der Neutronenquelle
- 11 Regelstababtriebe
- 12 radialer Experimentierkanal Nr. 7

100 cm

Bestrahlungskanäle:

1 - 2 Zentralkanal	$\phi_{\text{eff, max}} = 24 \text{ mm}$
3 - 4 Tangentialkanal	63 mm
5 - 6 Tangentialkanal	63 mm
7 Radialkanal	mindestens 130x160 mm

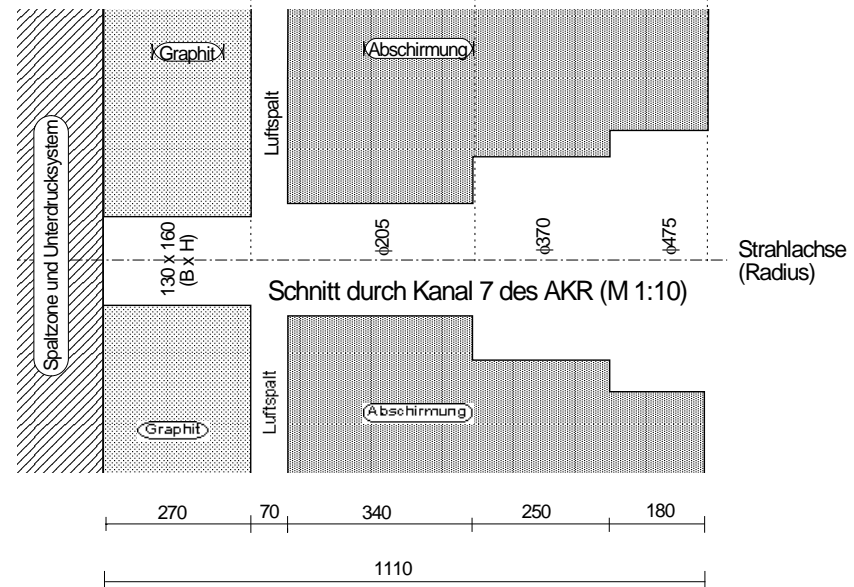
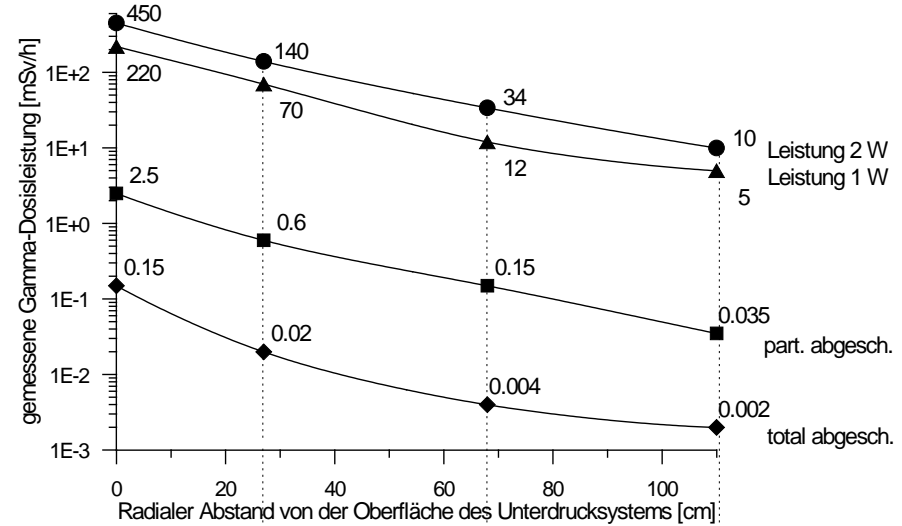
Bestrahlungskanäle am AKR



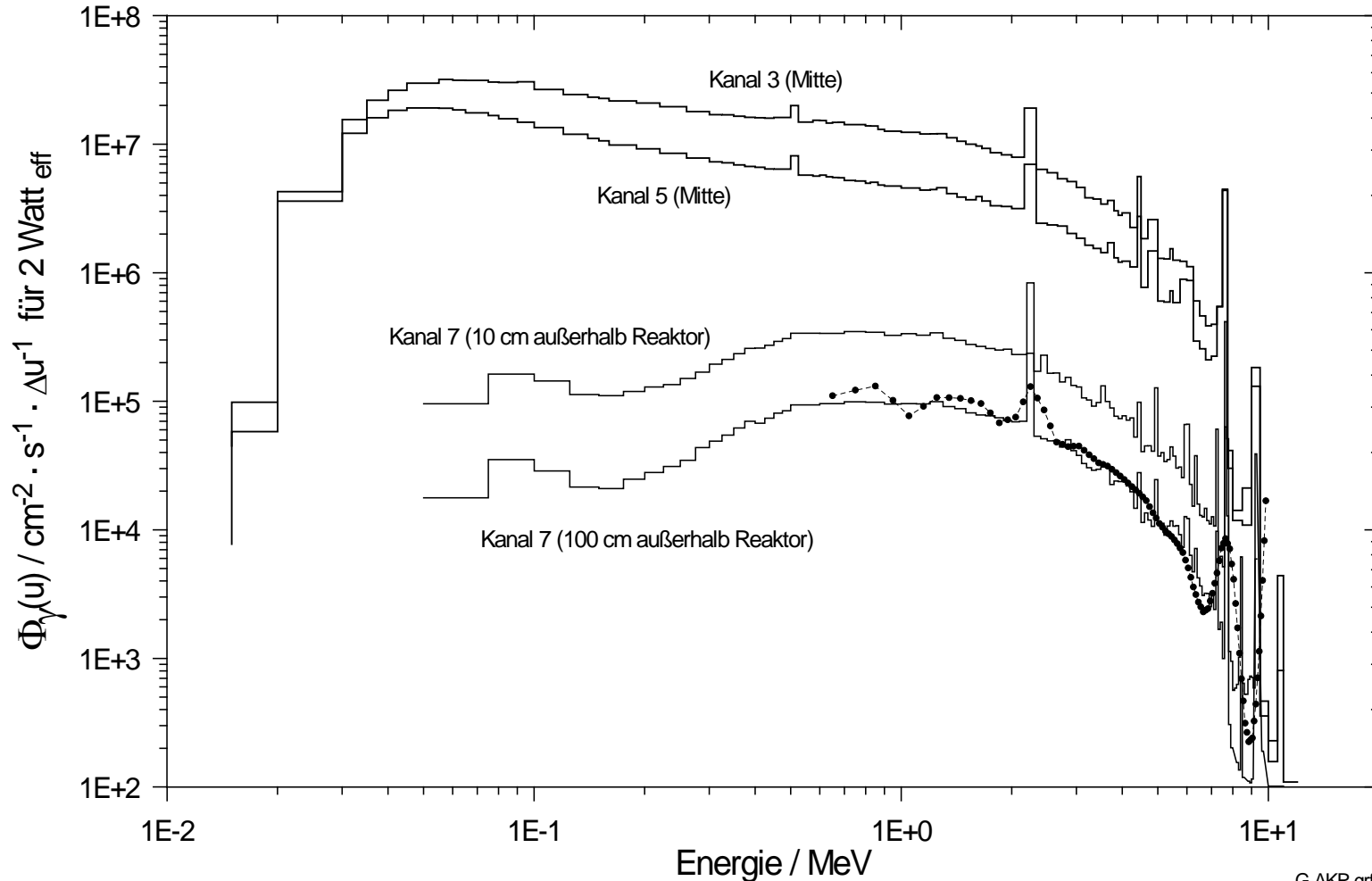
Bestrahlungskanäle:

1 - 2	Zentralkanal	$\phi_{\text{eff, max}} = 24 \text{ mm}$
3 - 4	Tangentialkanal	63 mm
5 - 6	Tangentialkanal	63 mm
7	Radialkanal	mindestens 130x160 mm

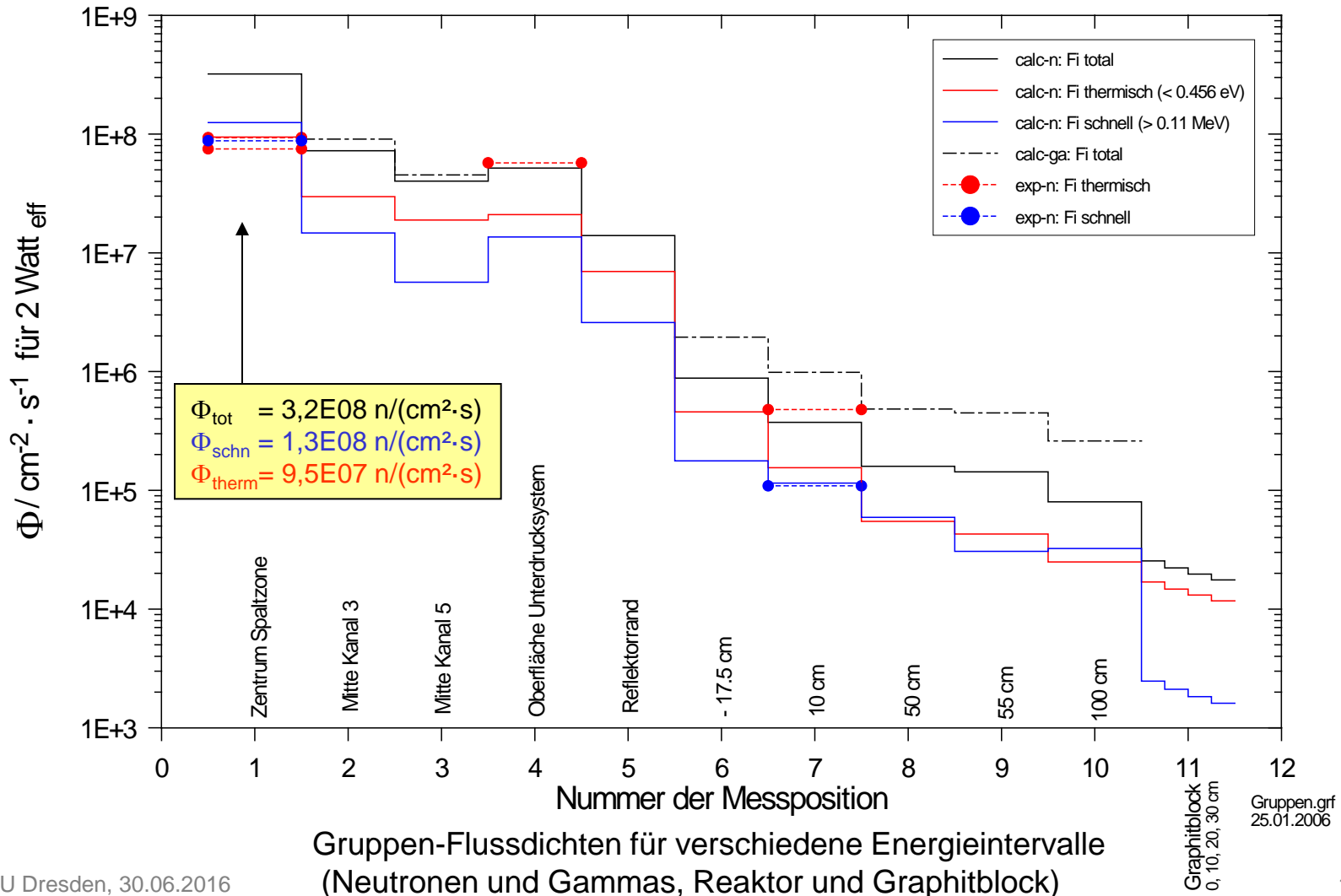
Gamma-Dosisleistung im Kanal 7 des AKR (65 keV - 2 MeV) im offenen Kanal



Gamma-Spektrumsergebnisse (Rechnung und Experiment)



Zusammenfassung





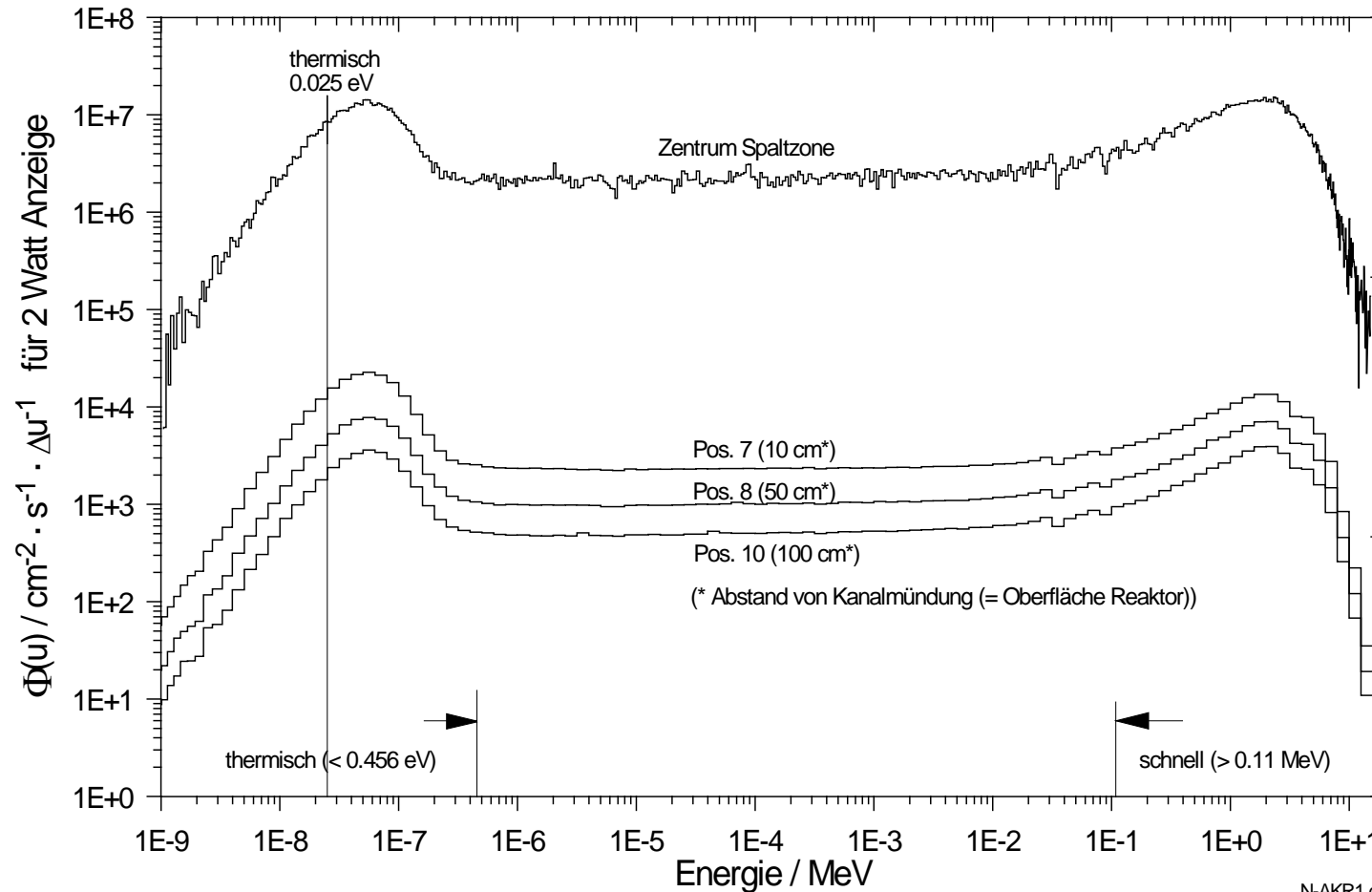
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Äquivalentdosisleistungen

Bestrahlungsposition	maximale Probenabmessung	E (Neutronen)	E (Gamma)
1	φ 24 mm	40 Sv/h	5,5 Sv/h
2	φ 60 mm	4,4 Sv/h	-
3	"	1,8 Sv/h	-
4	13 x 16 cm ²	8,3 Sv/h	0,5 Sv/h
5	φ 20,5 cm	1,5 Sv/h	150 mSv/h
6	φ 47,5 cm	120 mSv/h	-
7	keine Begrenzung	30 mSv/h	10 mSv/h
8	"	20 mSv/h	-
10	"	10 mSv/h	-
11	φ 32 mm	0,9 mSv/h	-

Maximal erreichbare Äquivalentdosisleistungen
(gerechnet für Neutronen, gemessen für Gamma)
bei angezeigter Reaktorleistung von 2 Watt

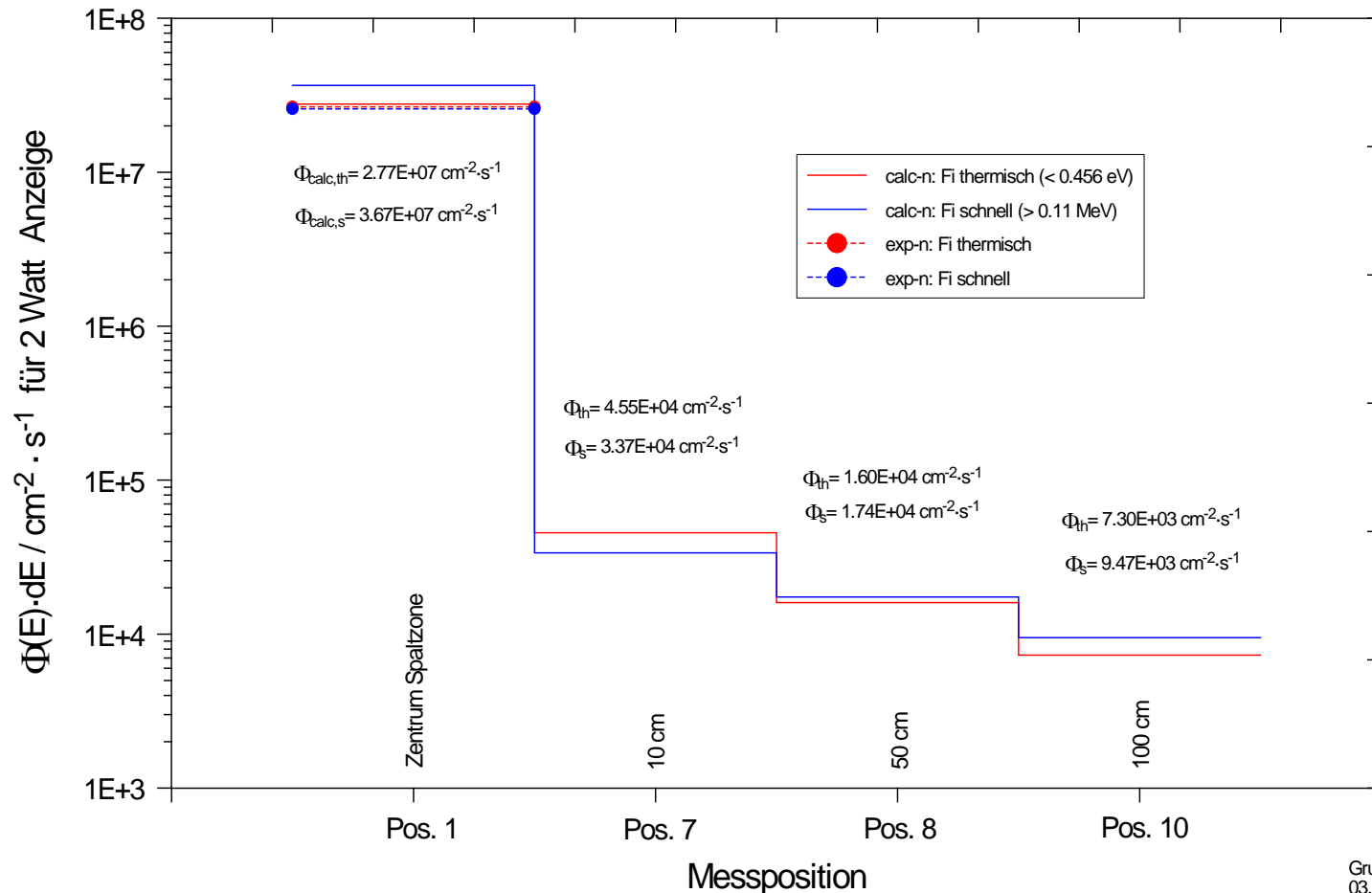
Achse Radialkanal 7 bei 2 Watt Anzeige



N-AKR1.grf
03.09.2014

Neutronen-Spektrumergebnisse auf Zentralachse EK7 (Rechnungen MCNP)

Achse Radialkanal 7 bei 2 Watt Anzeige



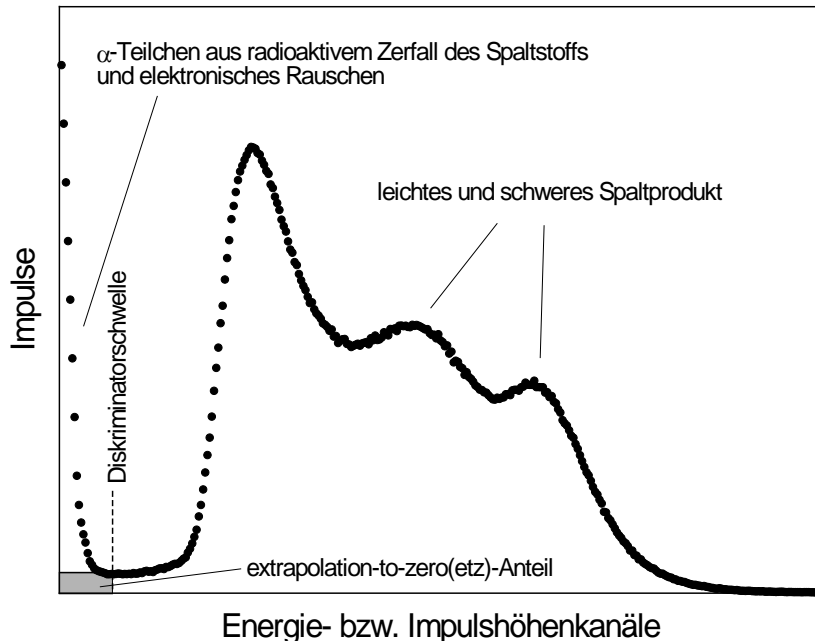
Gruppen1.grf
03.09.2014

Gruppen-Flussdichten für thermische und schnelle Neutronen bei 2 Watt Leistungsanzeige

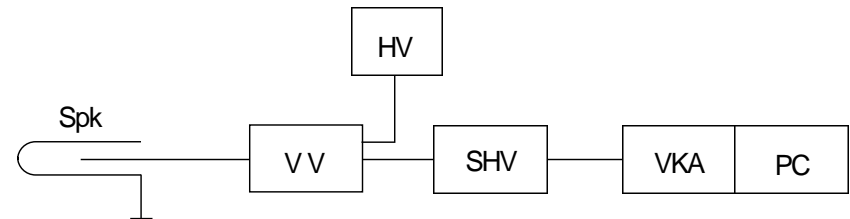
Monitorierung

Absolut kalibrierte Miniaturspaltkammer FC4A:

- $\phi 6.2$ mm x 45 mm, akt. Länge 25 mm
- 212 μg ($\pm 5\%$) U-235 (93 %)

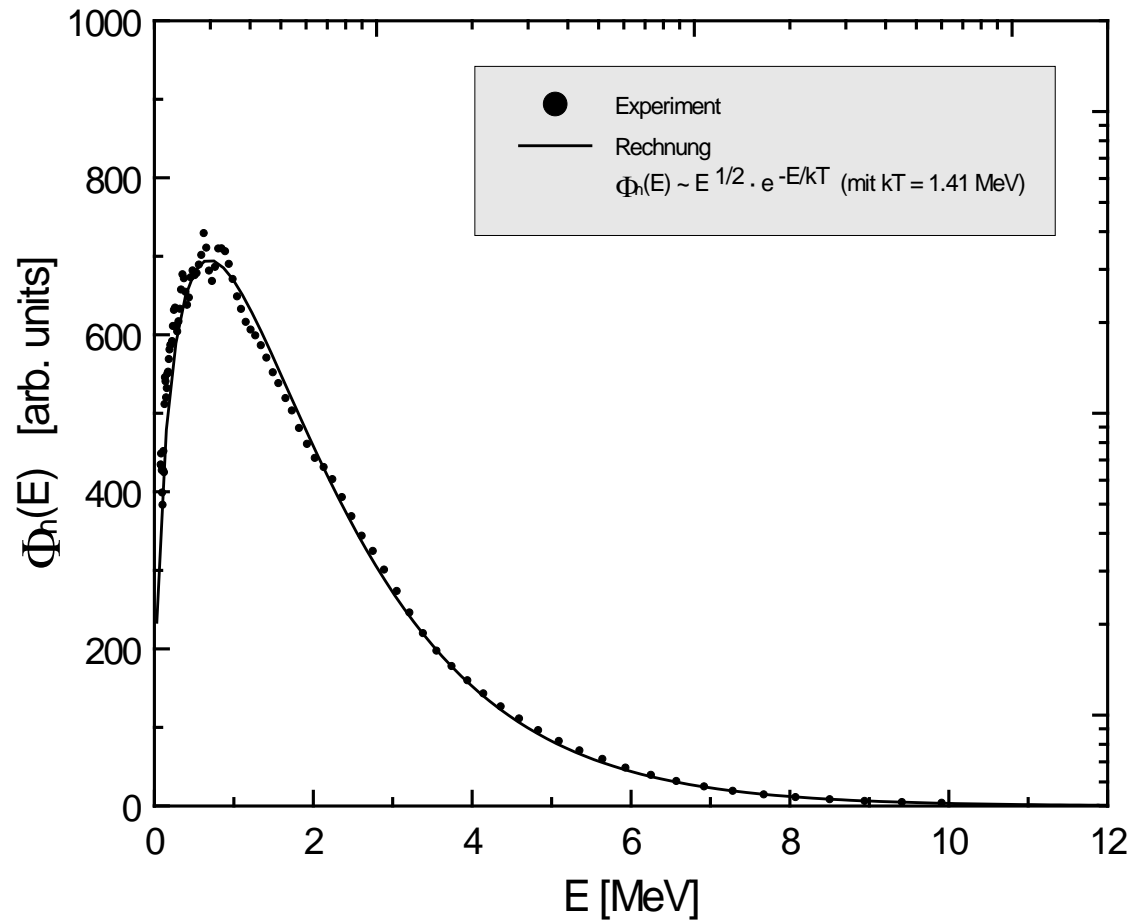


Impulshöhenspektrum

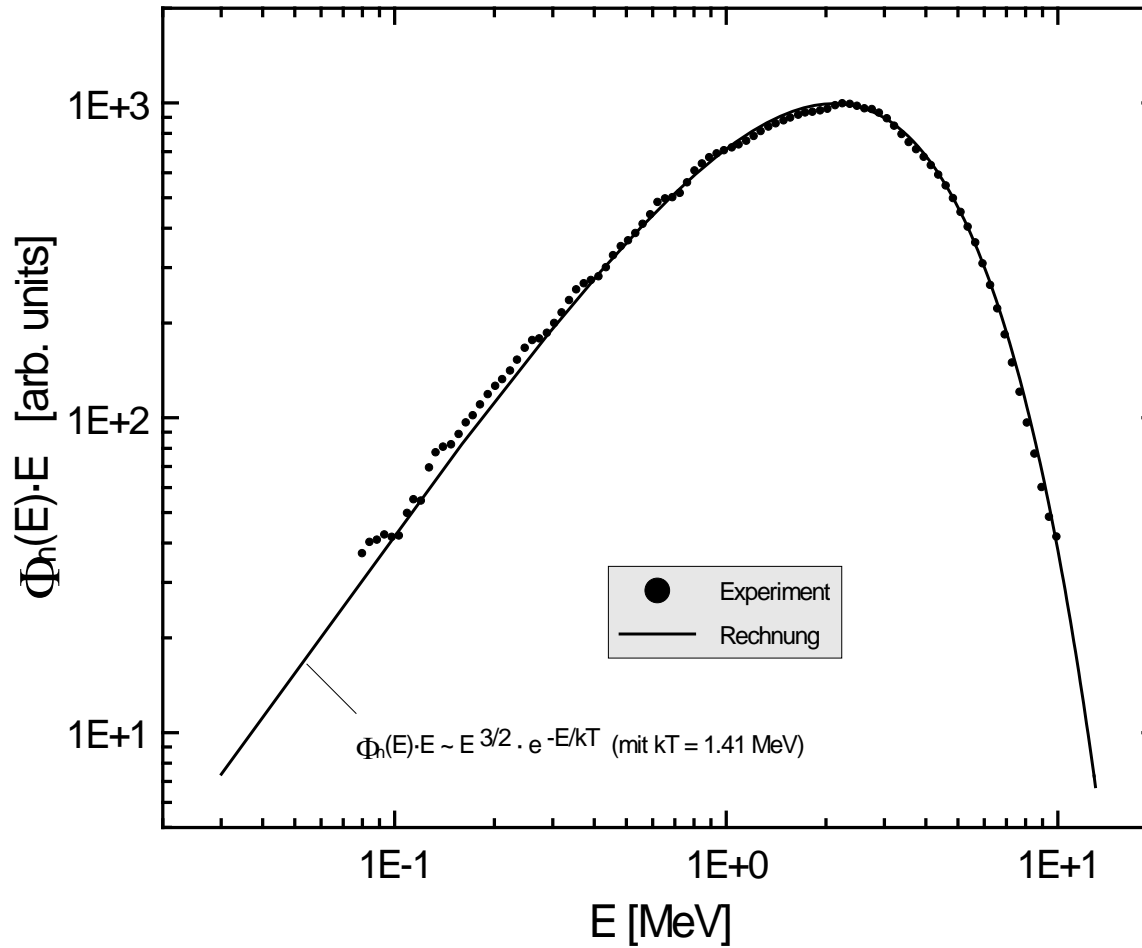


- Spk Spaltkammer
- VV Vorverstärker
- HV Hochspannungsversorgung
- SHV Spektroskopischer Verstärker
- VKA Vielkanalanalysator
- PC Messcomputer

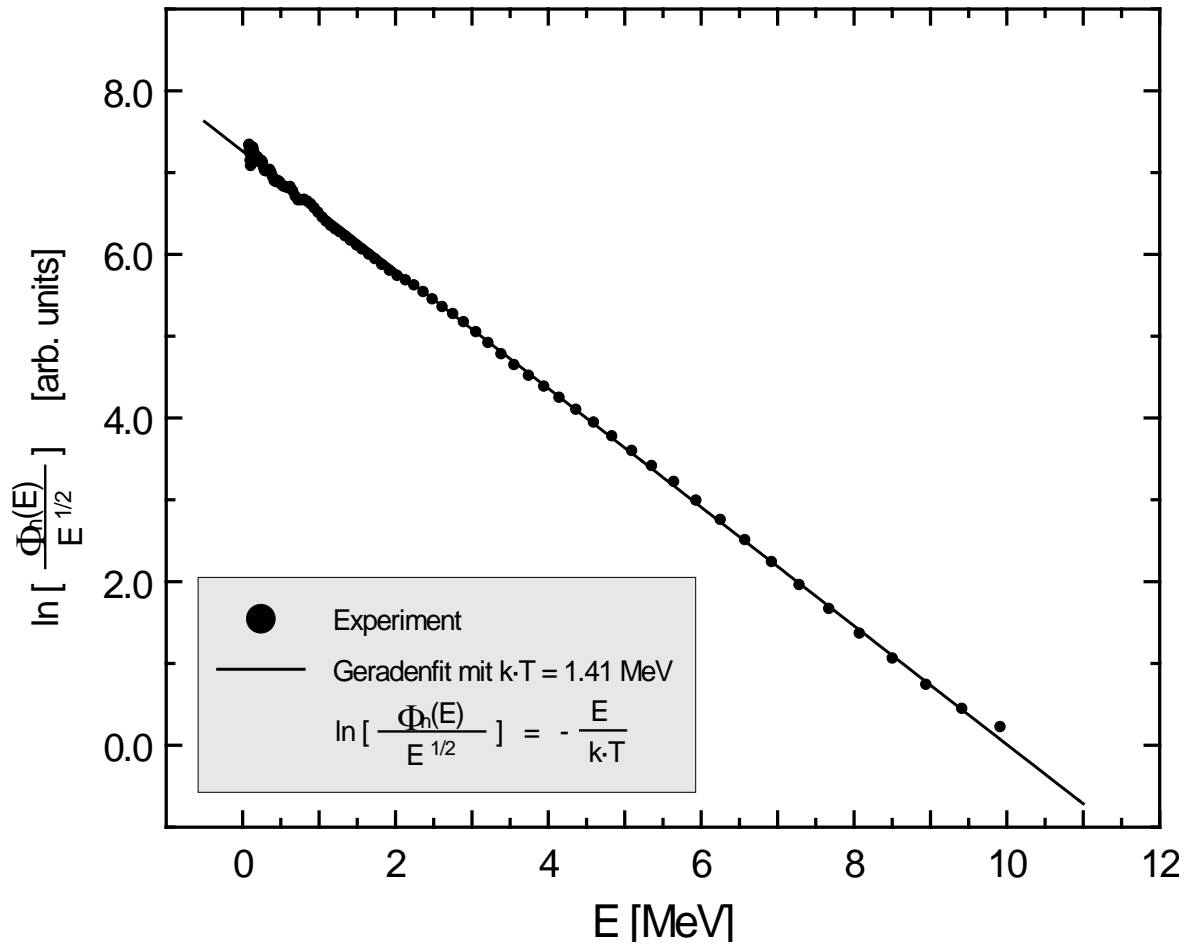
Experimentieraufbau



Spaltspektrum einer Neutronenquelle Cf-252 (Spontanspaltung)



Spaltspektrum einer Neutronenquelle Cf-252 (Spontanspaltung)



Spaltspektrum einer Neutronenquelle Cf-252 (Spontanspaltung)