

XXXIX. Arbeitstreffen "Kernphysik,, Schleching  
Februar 2008

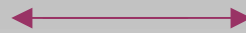
# FRANZ - Eine Quelle zur Erzeugung intensiver Neutronenstrahlen und geplante Experimente

Neue Beschleunigerkonzepte

Oliver Meusel

# Motivation

Institut für Angewandte Physik



Stern-Gerlach-Zentrum

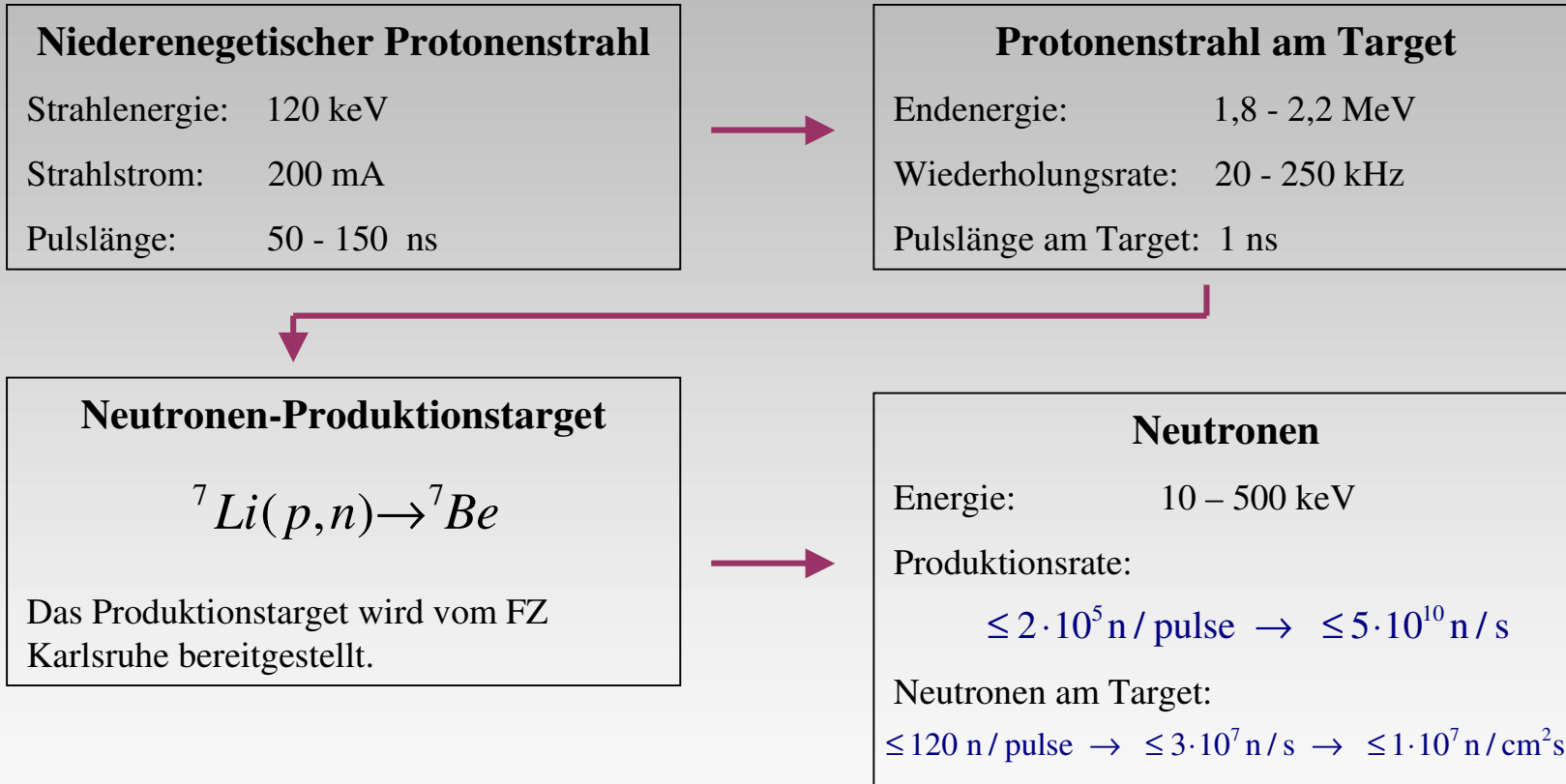
Beschleunigerkonzepte für intensive  
Ionenstrahlen

Anwendung für  
Hochstrombeschleuniger

- Injektor für RHIC BNL
- Protonen LINAC für  $\bar{p}$  - Produktion (FAIR)
- UNILAC upgrade (FAIR)
- Krebstherapieanlage in Heidelberg

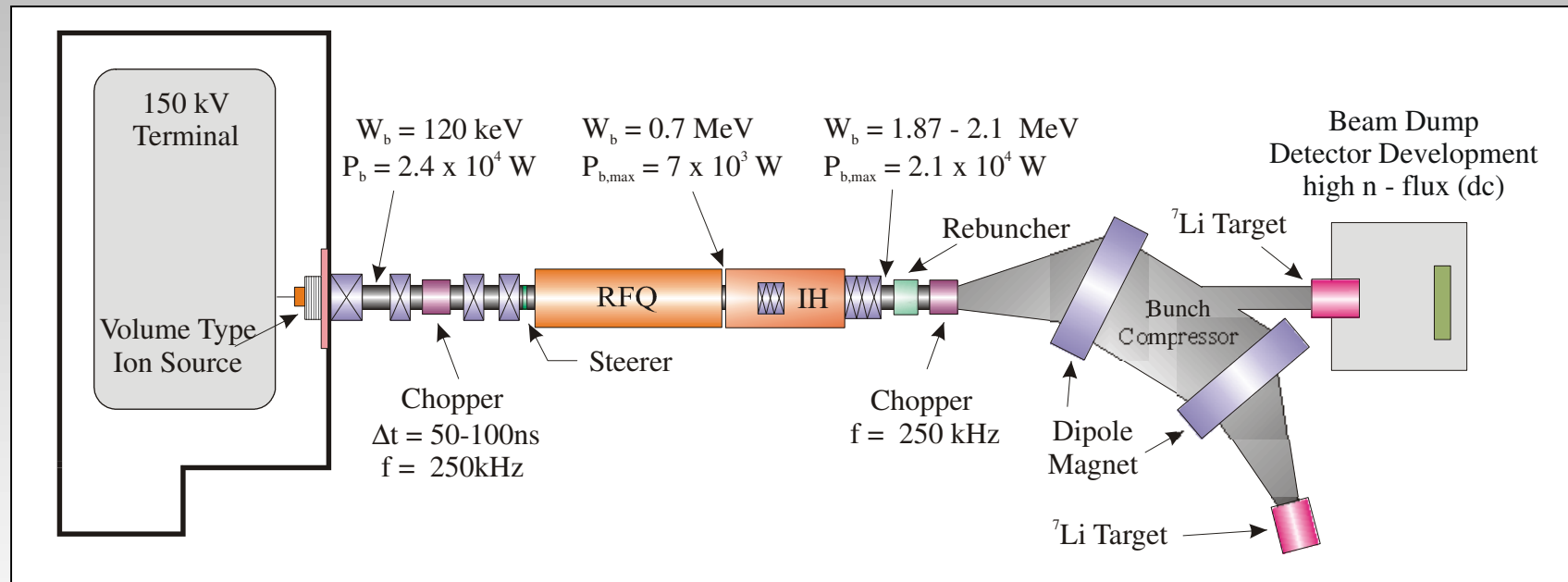
# Übersicht

## Neutronengenerator



# Überblick

## Auslegung des Treiberbeschleunigers

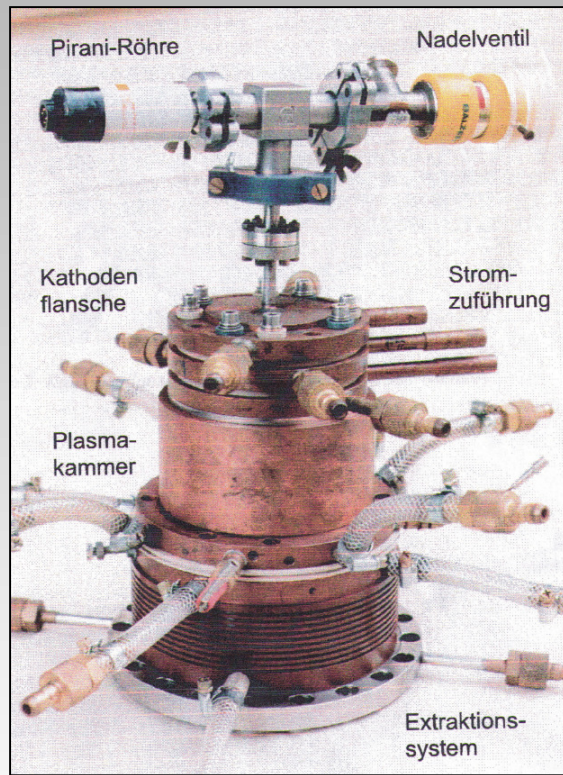


technisches Layout des Treiberbeschleunigers des Neutronengenerators

# Hochstromionenquelle

## Anforderungen an die Protonenquelle

© R. Hollinger

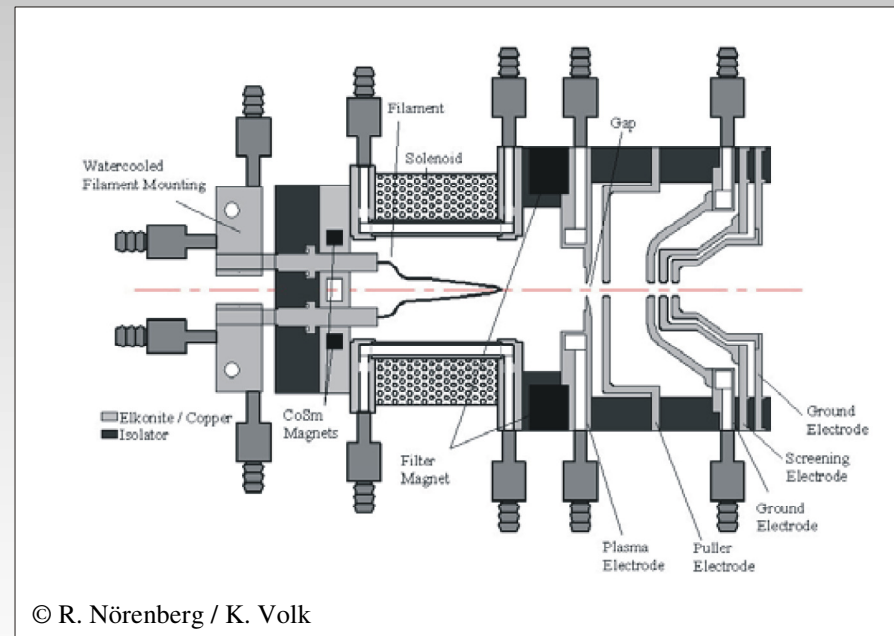


Prototyp der Hochstrom Protonenquelle

Strahlstrom  $I = 200 \text{ mA (DC)}$

Protonenanteil  $\sim 90 \%$

Emittanz (rms,norm.)  $\epsilon_{\text{rms}} < 0,15 \pi \text{ mm mrad}$

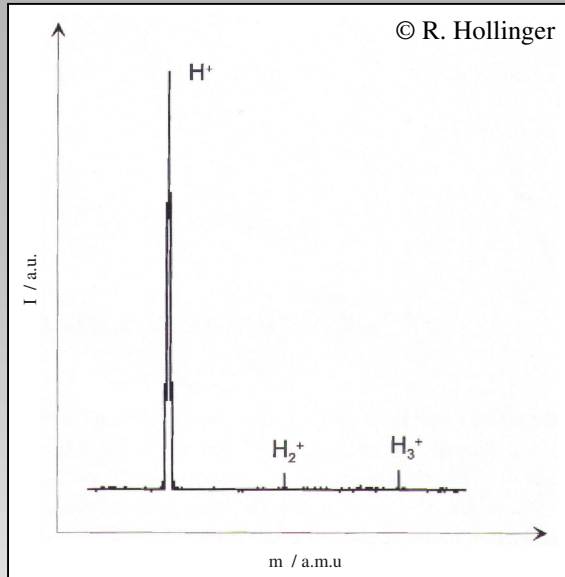


© R. Nörenberg / K. Volk

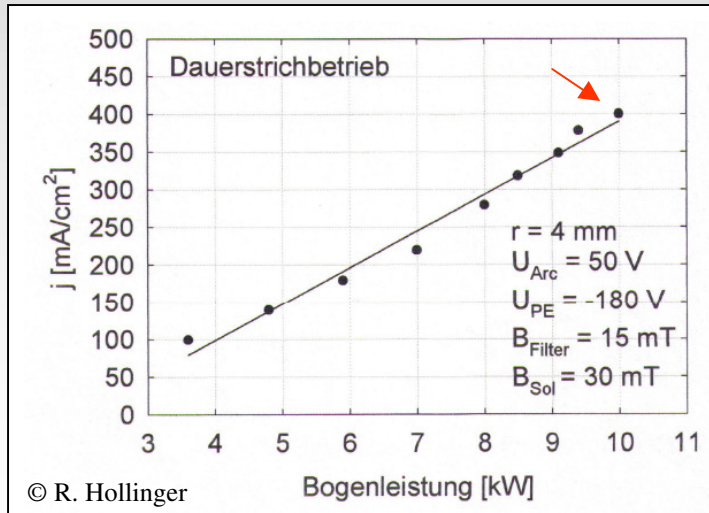
schematische Darstellung der Protonenquelle

# Hochstromionenquelle

## Performance des Prototyps

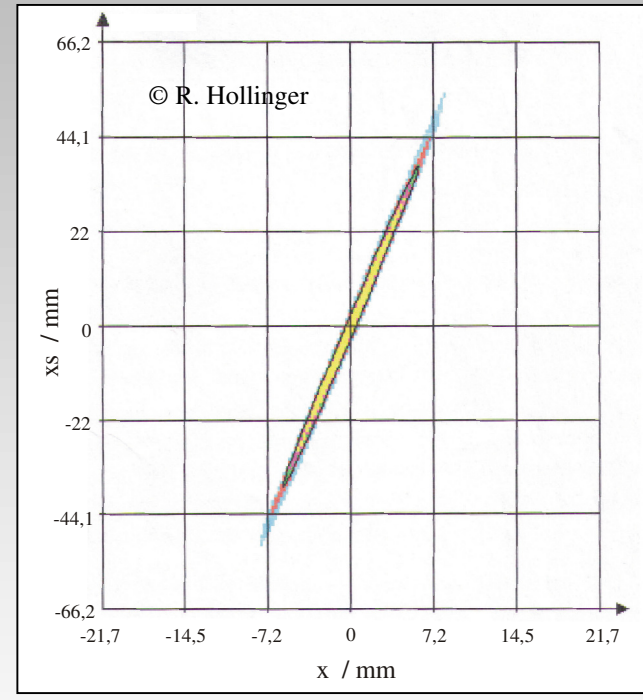


Strahlzusammensetzung  
p – Anteil > 90%



Extraktionsstrom  
als Funktion der  
Bogenleistung

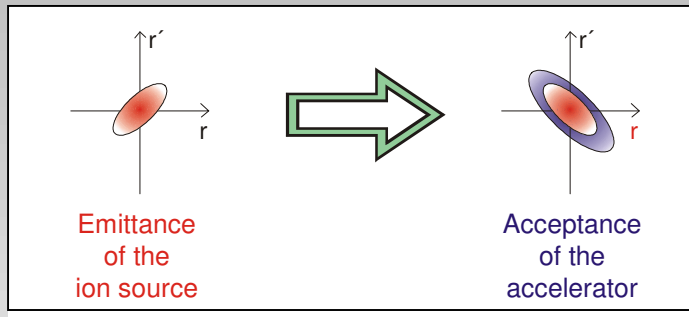
$$\epsilon_{\text{rms},90\%,\text{norm}} = 0,042 \pi \text{ mm mrad}$$



gemessene Phasenraumdichteverteilung  
bei  $W_b = 26 \text{ keV}$ ,  $I = 56 \text{ mA}$

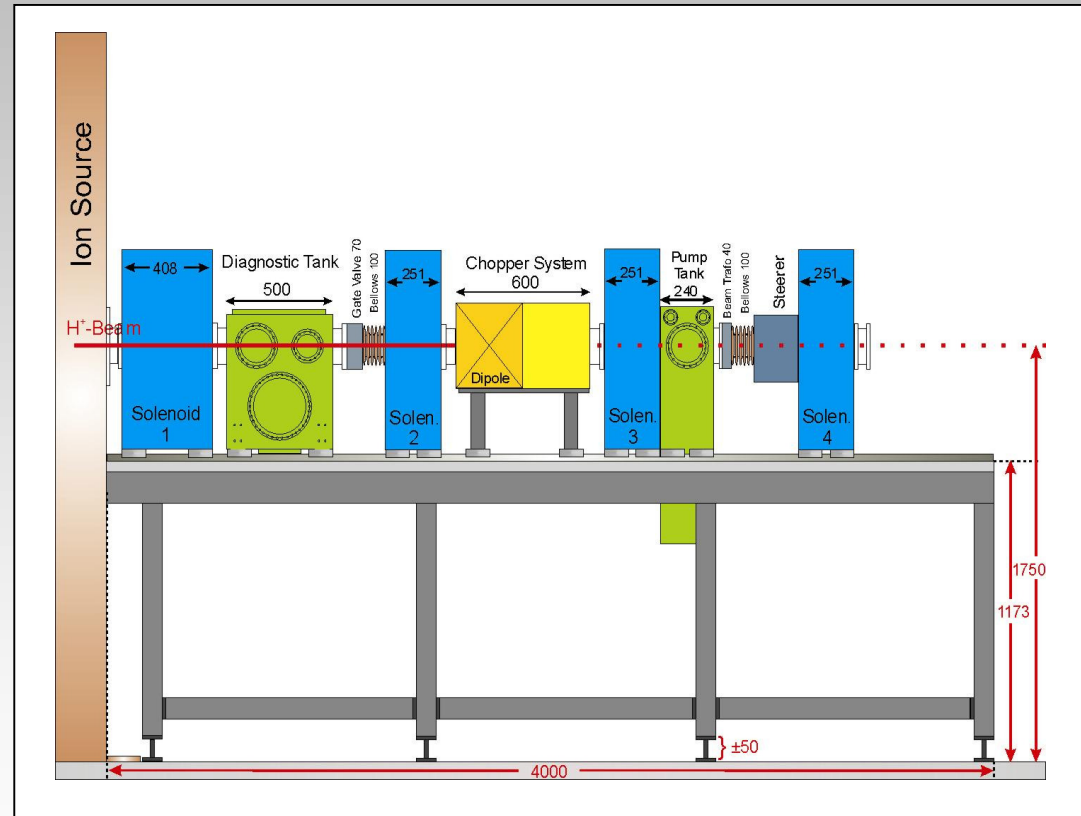
# Niederenergie Strahltransport

## Anforderung an den Transportkanal



$$\frac{d^2}{dz^2} r_s = \frac{\epsilon^2}{r_s^3} + \frac{K}{r_s} - \kappa(z) r_s$$

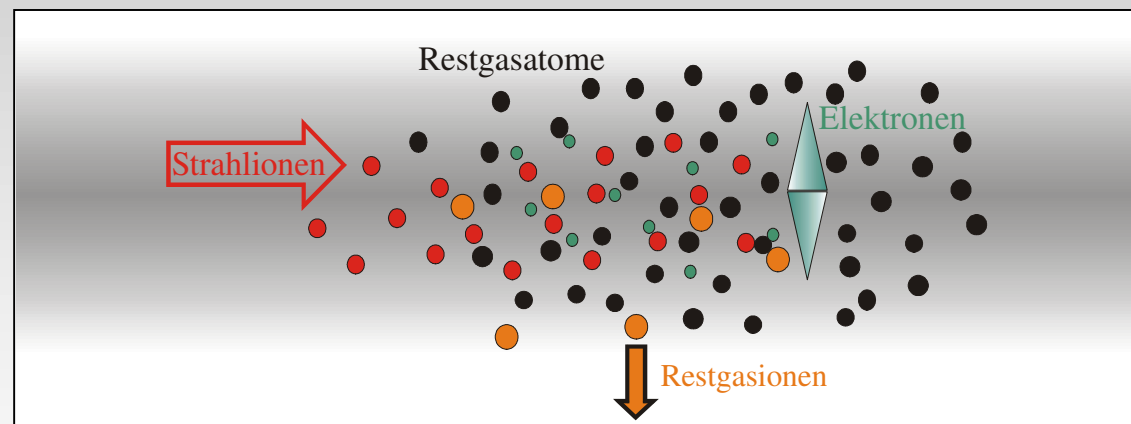
Envelopengleichung zur Beschreibung des Strahltransports



# Niederenergie Strahltransport

## Raumladungskompensation

Reduktion des Strahlpotentials durch das Einbringen von Ladungen mit entgegengesetztem Vorzeichen



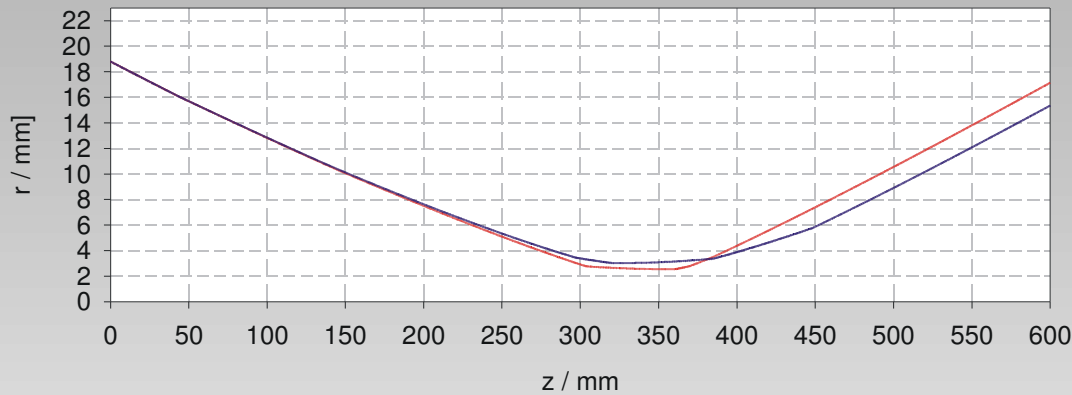
Partikelverteilung im Strahlvolumen



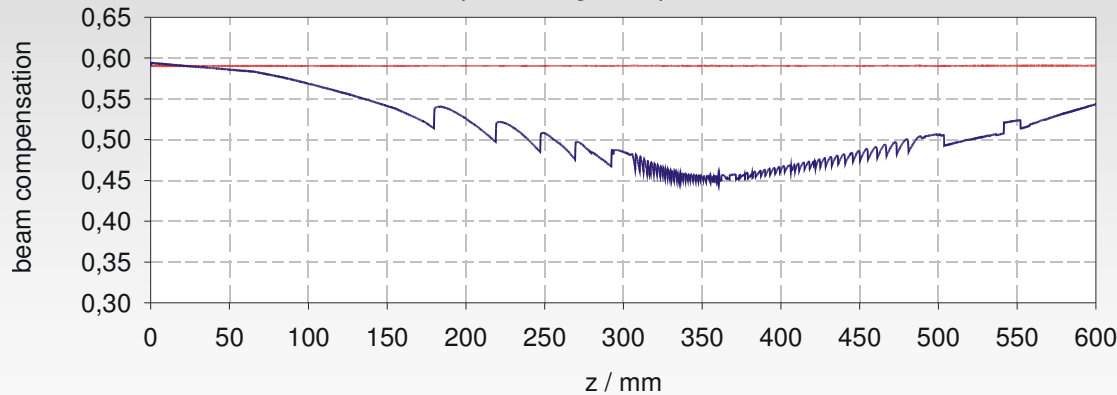
# Niederenergie Strahltransport

## Temperatur der Kompensationselektronen

beam envelope

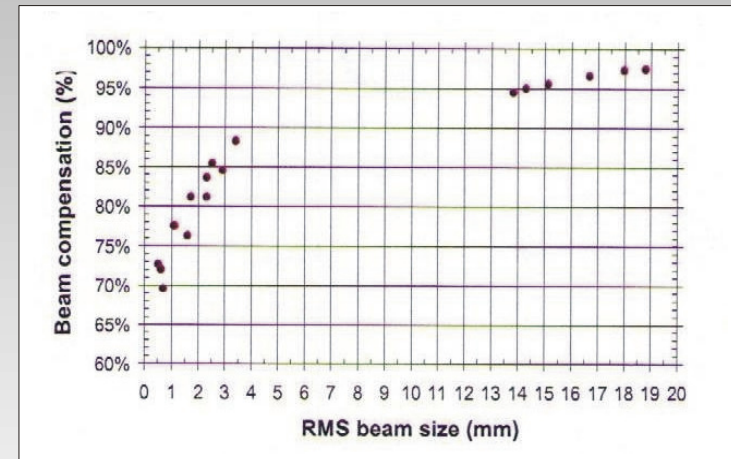


space charge compensation



$$n_e(r) = n_e(r = \Phi_{b,\max}) \cdot e^{-\left(\frac{\Phi_b}{kT_e}\right)}$$

© cea saclay, R. Gobin et. al.

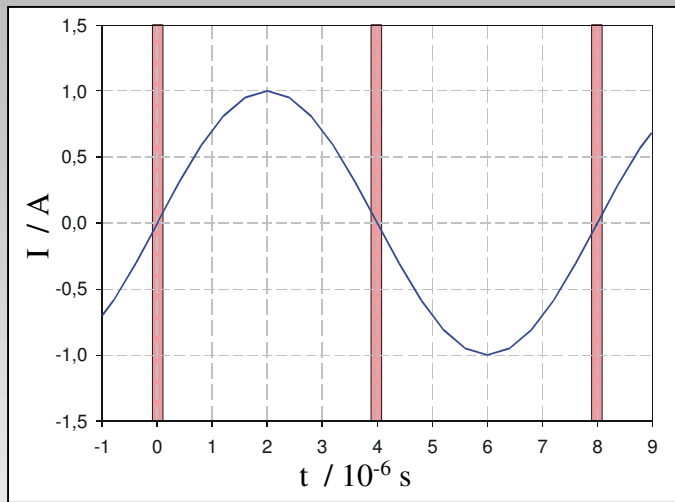


Gemessene Raumladungskompensation als Funktion des Strahlradius

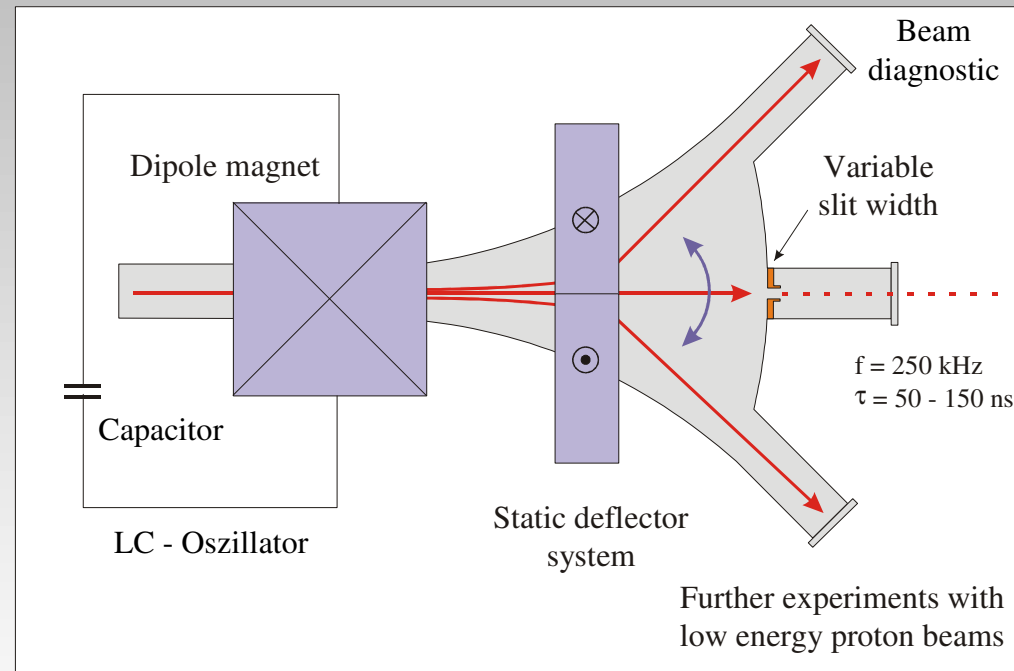
Strahltransportsimulation mit konstantem Kompensationsgrad (rot) und bei einer gesetzten Elektronentemperatur von  $T_e = 6$  eV (blau)

# Niederenergie Strahltransport

## Protonenstrahl mit Zeitstruktur



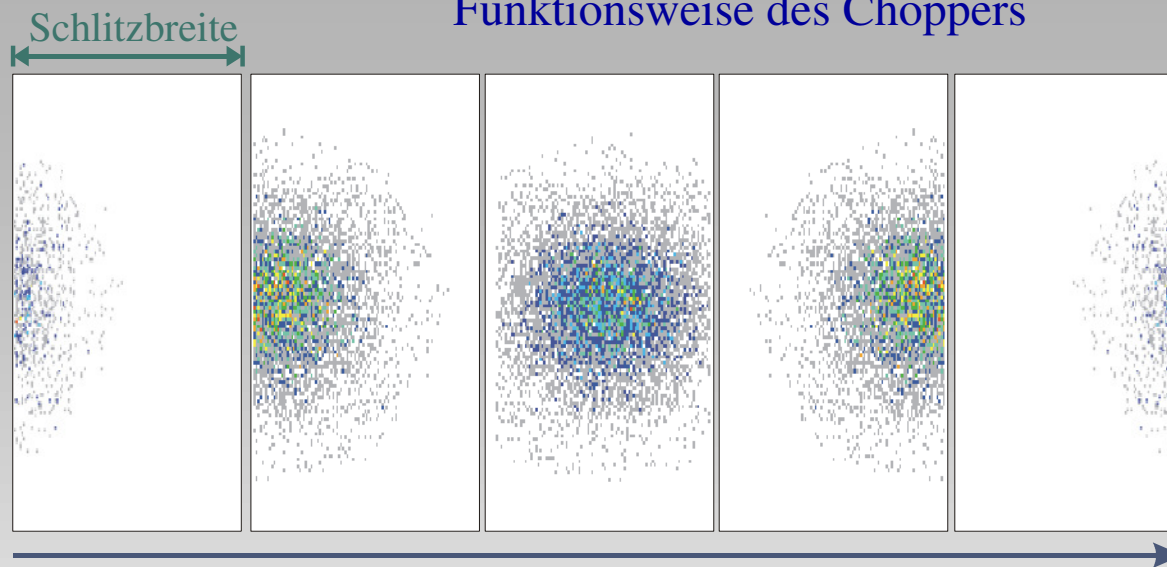
Magnetstrom als Funktion der Zeit



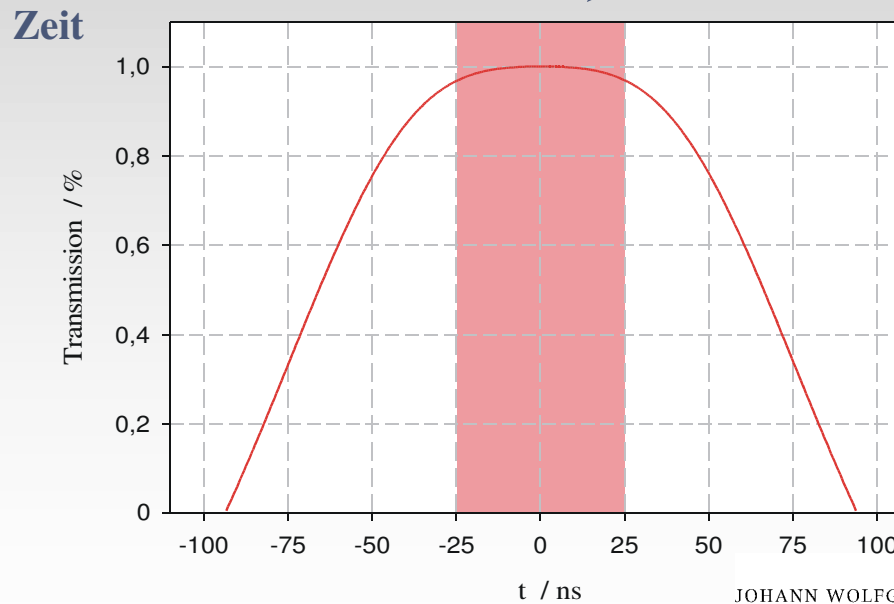
schematische Darstellung des magnetischen Choppers

# Niederenergie Strahltransport

## Funktionsweise des Choppers

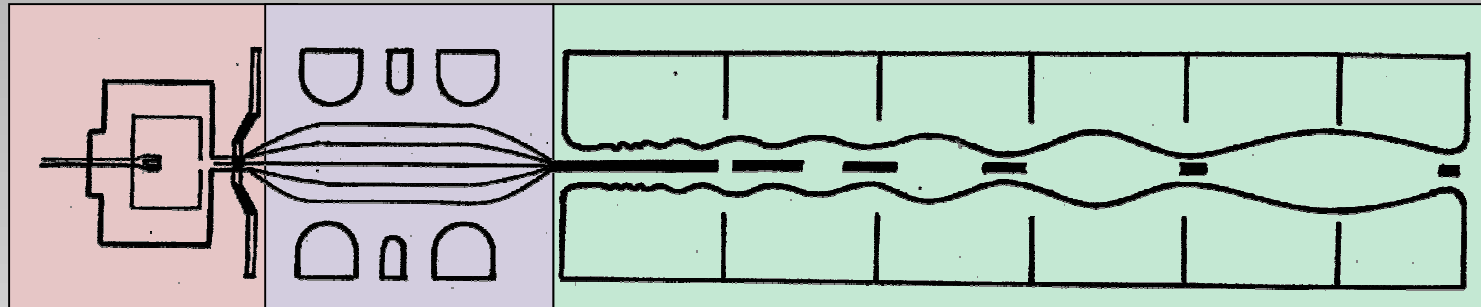


Mit der Schlitzbreite lässt sich die Intensität und Pulsdauer variieren



# RFQ-Beschleuniger

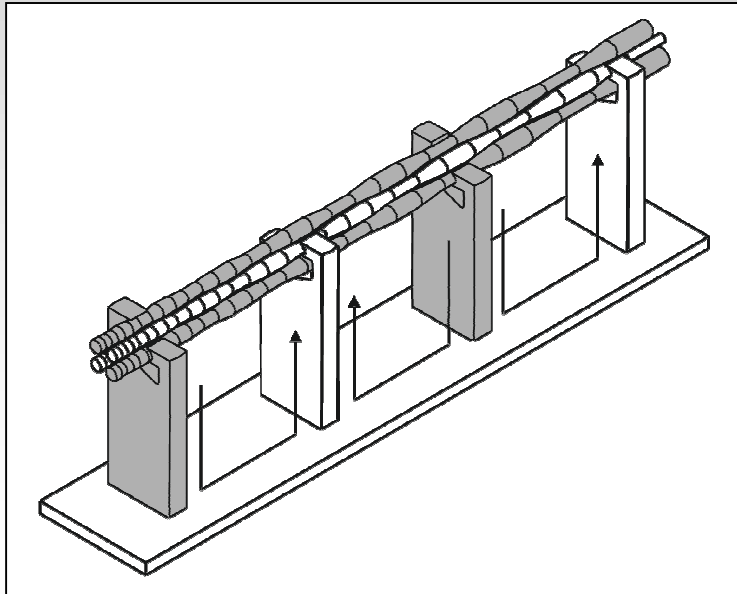
## Funktionsweise des RFQ



Ionenquelle

Strahl-  
anpassung

RFQ - Beschleuniger



Leitungsresonator bestehend  
aus Elektroden, Stützen und  
Grundplatte

# RFQ-Beschleuniger

## Four-Rod-RFQ für hohe Strahlintensitäten

SARAF – Projekt Israel

$f_0 = 176$  MHz,  $I = 50$  mA,  $P = 64$  kW/m, cw - Betrieb



Blick ins Innere des RFQ



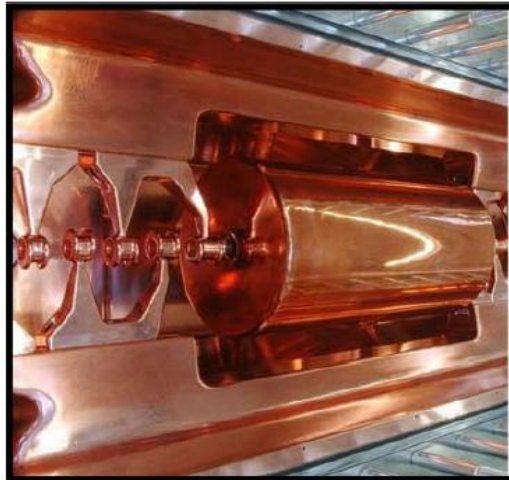
Konditionierung des RFQ

# Driftröhrenbeschleuniger

## H - Moden Resonatoren

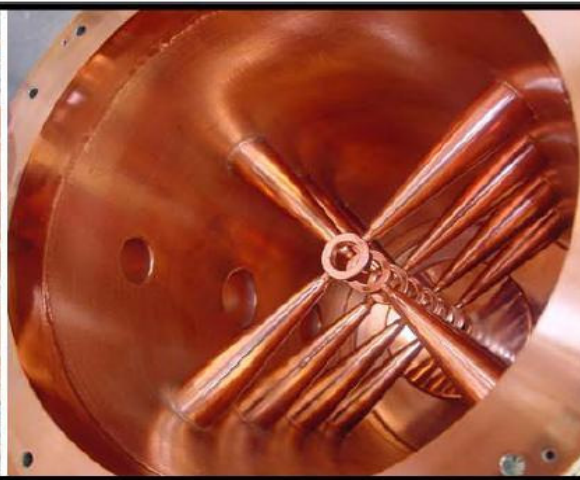
**rt IH**

$E < 30 \text{ AMeV}$   
 $30 < f < 250 \text{ MHz}$



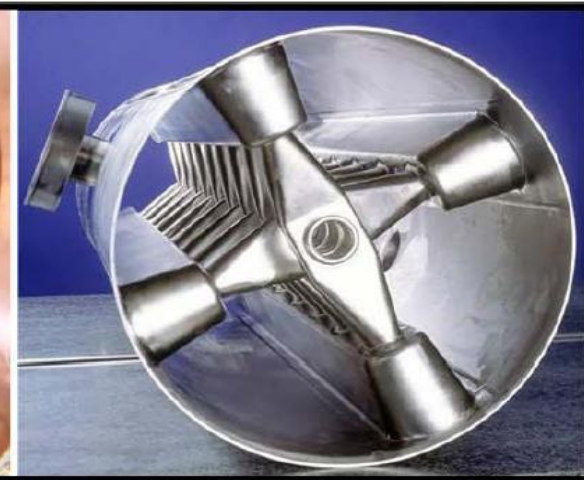
**rt CH**

$E < 100 \text{ AMeV}$   
 $150 < f < 700 \text{ MHz}$



**sc CH**

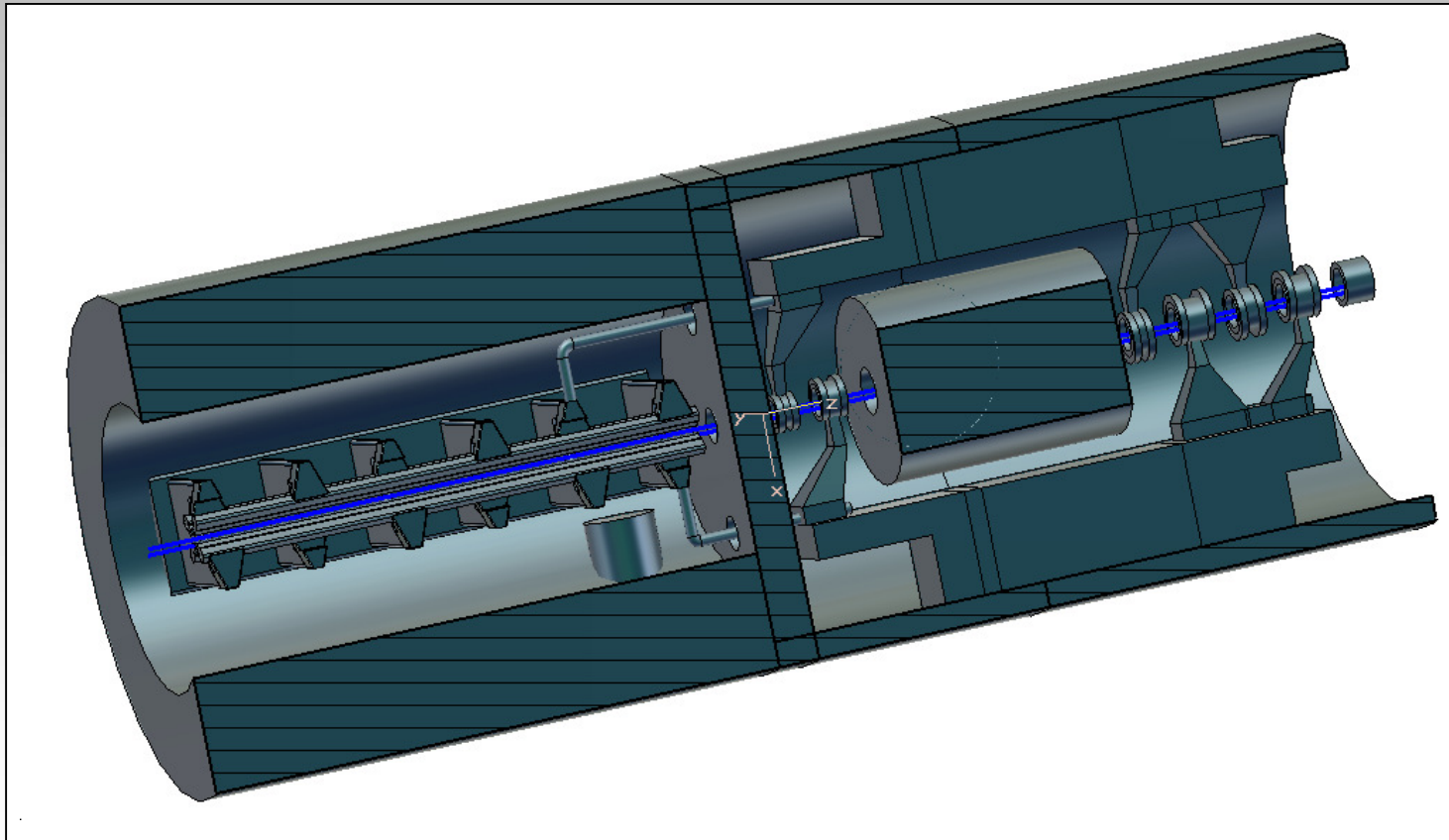
$E < 100 \text{ AMeV}$   
 $150 < f < 700 \text{ MHz}$



# Gekoppelte HF - Resonatoren

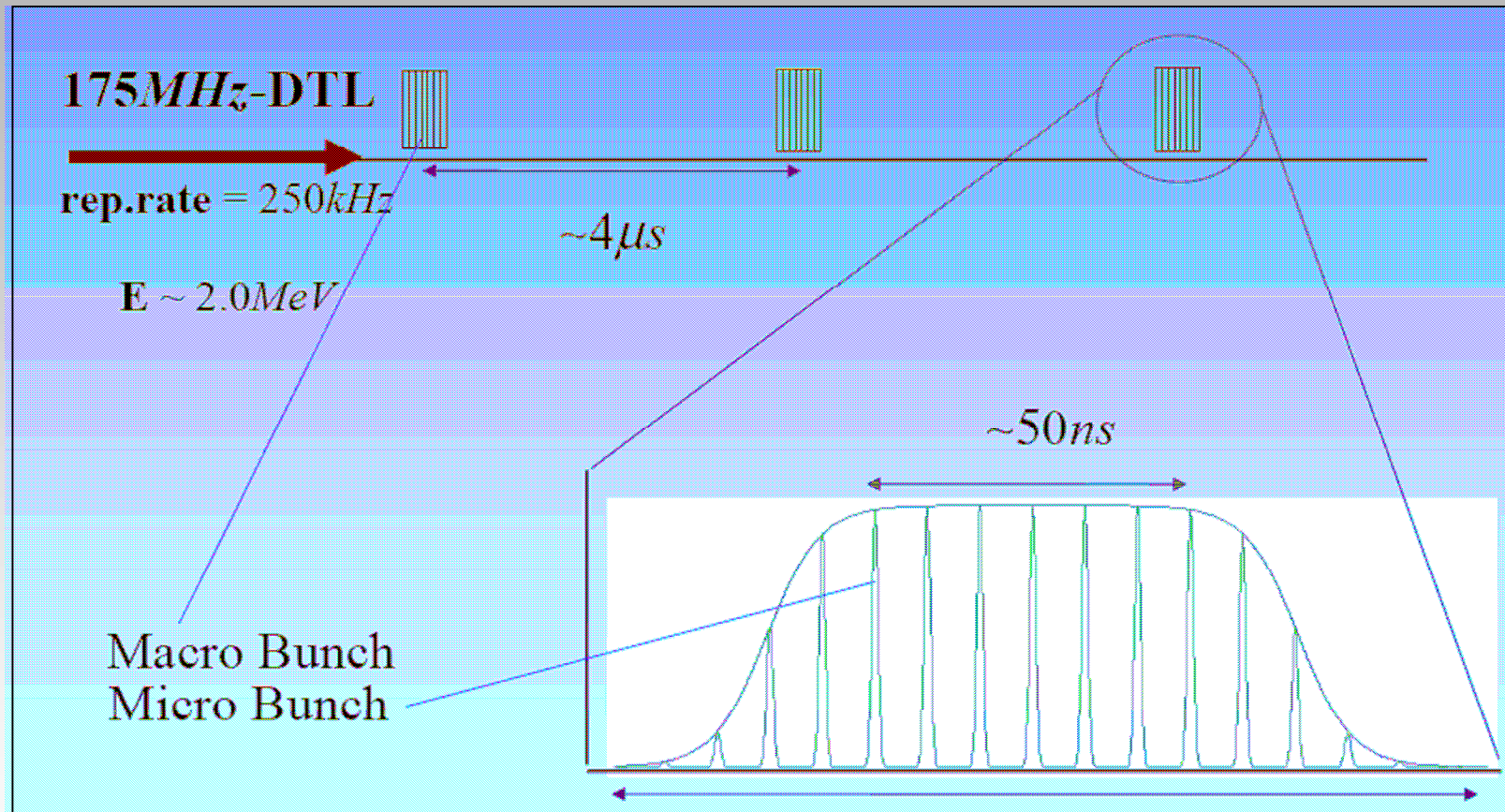
Reduktion der Investitionskosten

© H. Liebermann / A. Bechtold



# Bunch - Kompressor

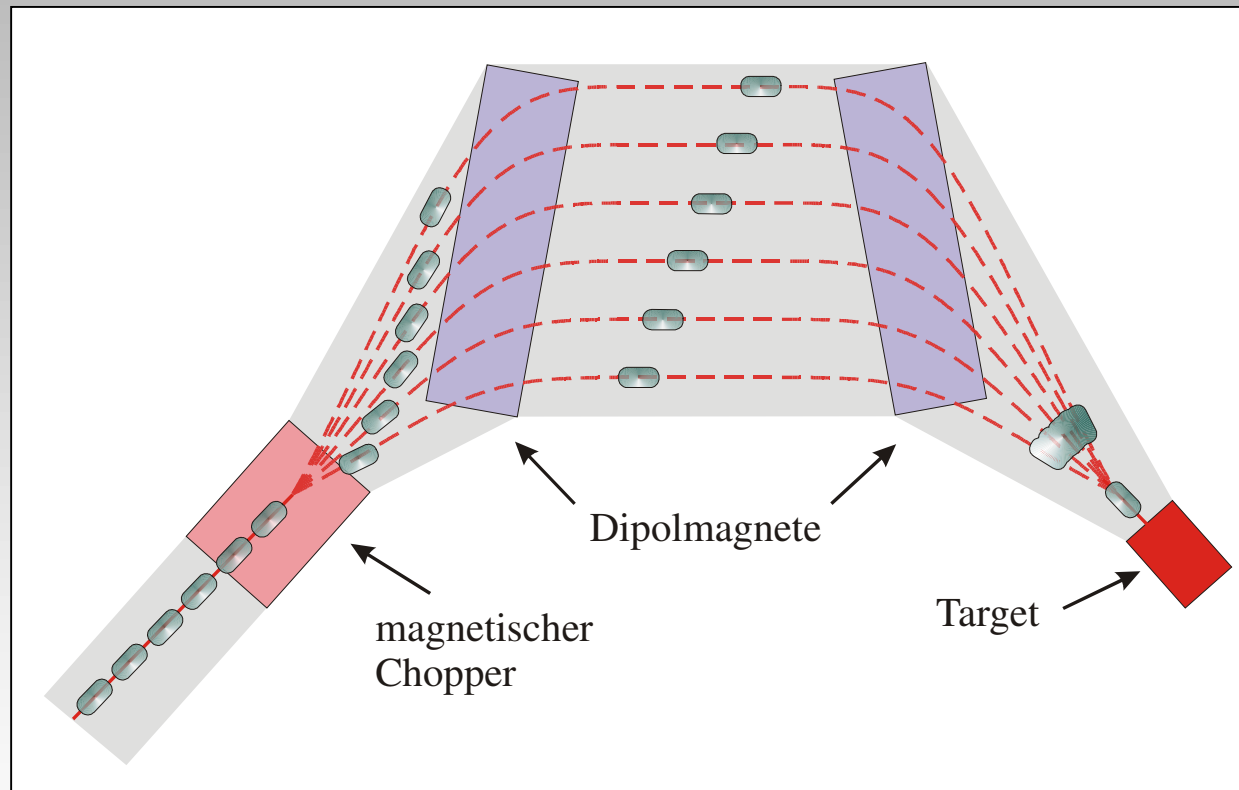
## Zeitstruktur nach dem Beschleuniger





# Bunch - Kompressor

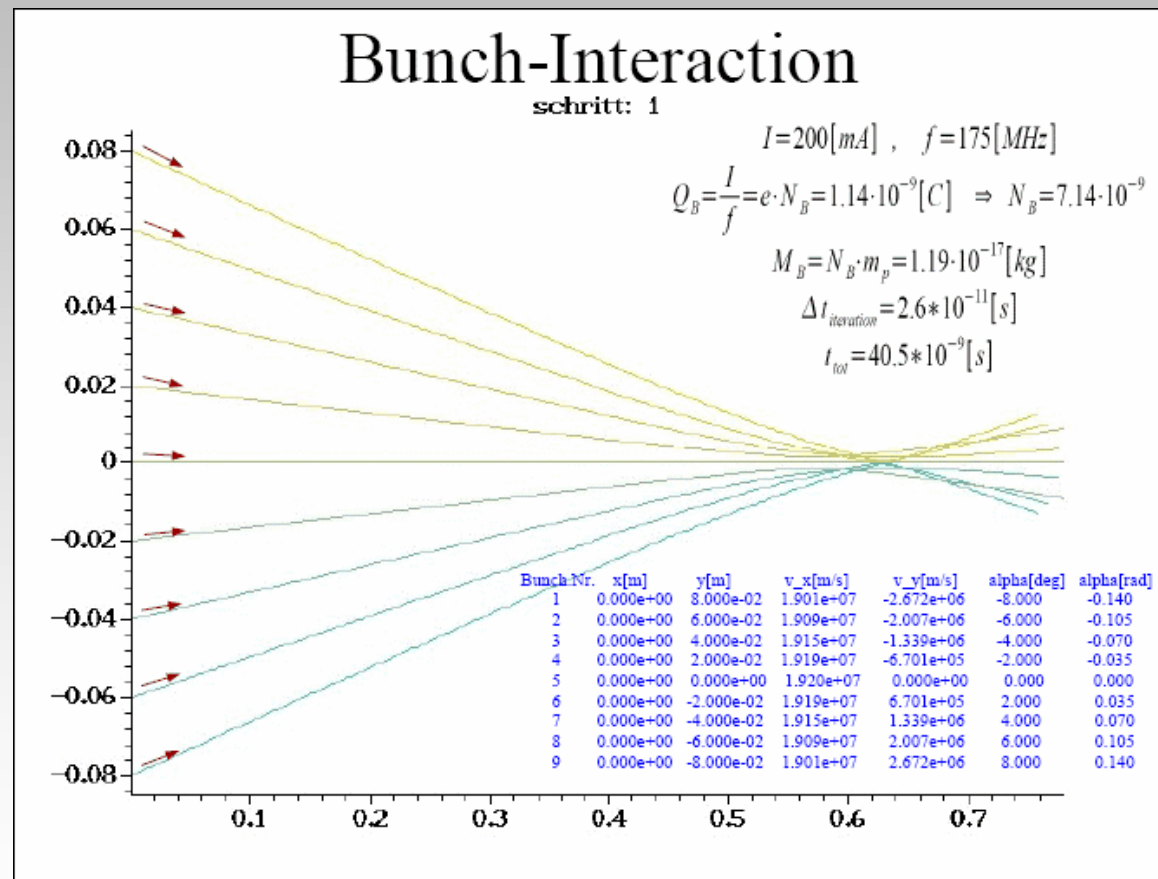
Bunch-Kopression nach dem  
Moblely-Prinzip



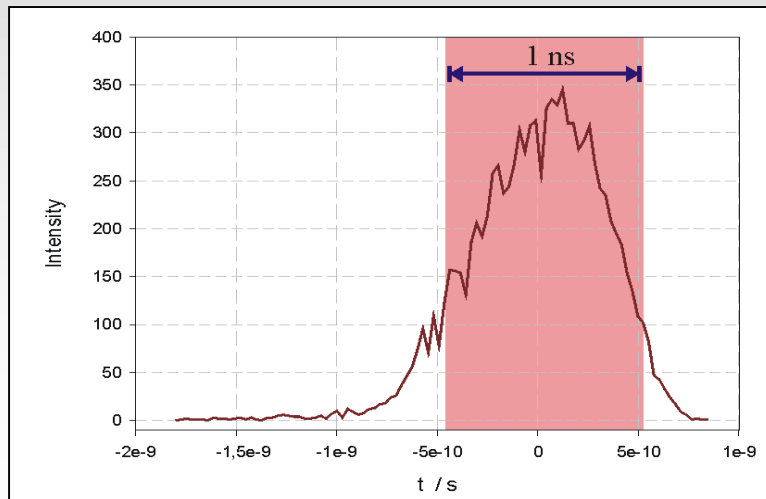
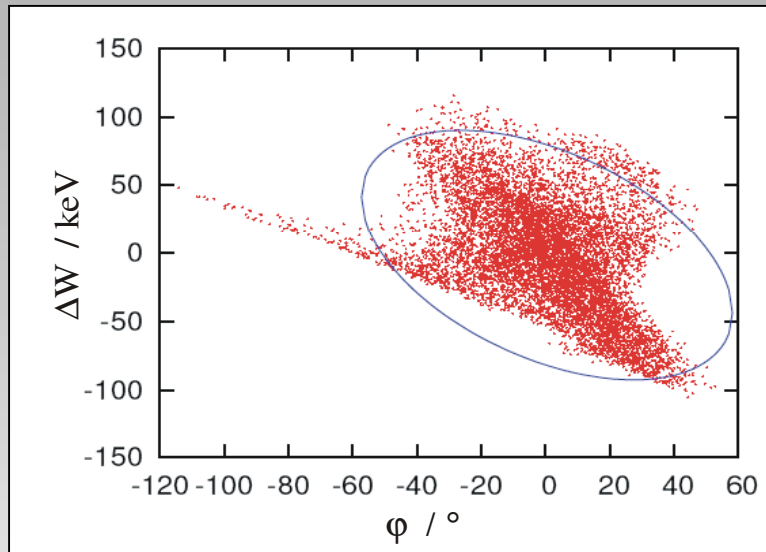
schematische Darstellung der Funktion des Bunch-Kompressors

# Bunch - Kompressor

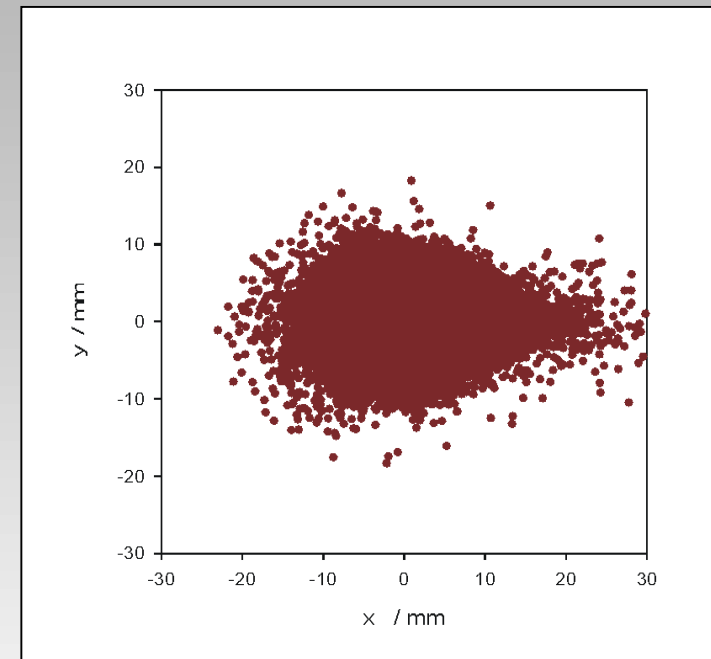
## Numerische Simulation des Strahltransports



# Strahleigenschaften am $^7\text{Li}$ - Target



## End to End - Simulationen



### Time of Flight

$$A \sim 6 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\text{peak}} = 2,7 \text{ MW/cm}^2$$

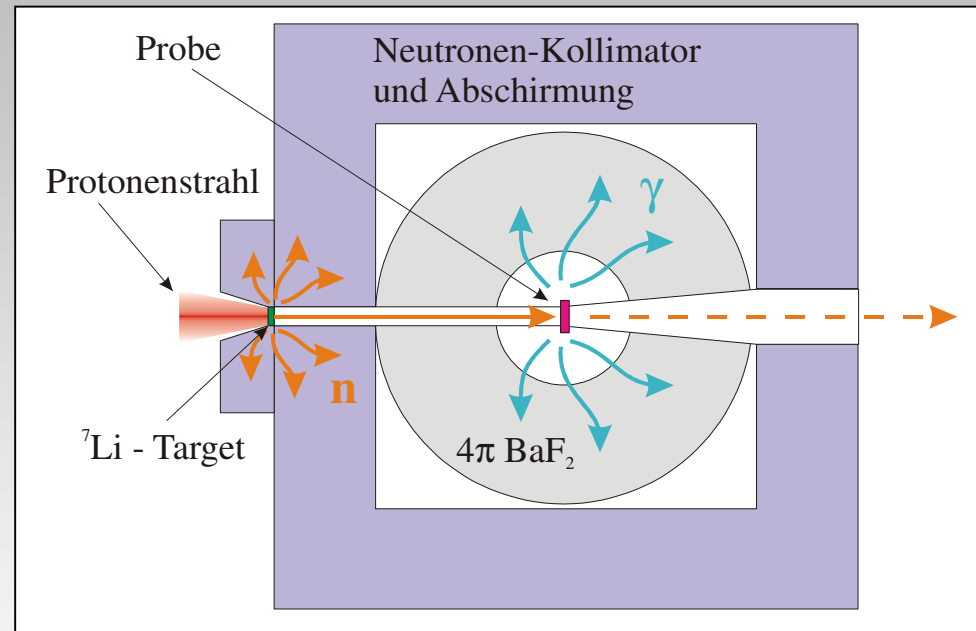
### Aktivierung

$$A \sim 6 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 10 \text{ kW/cm}^2$$

# Produktionstarget

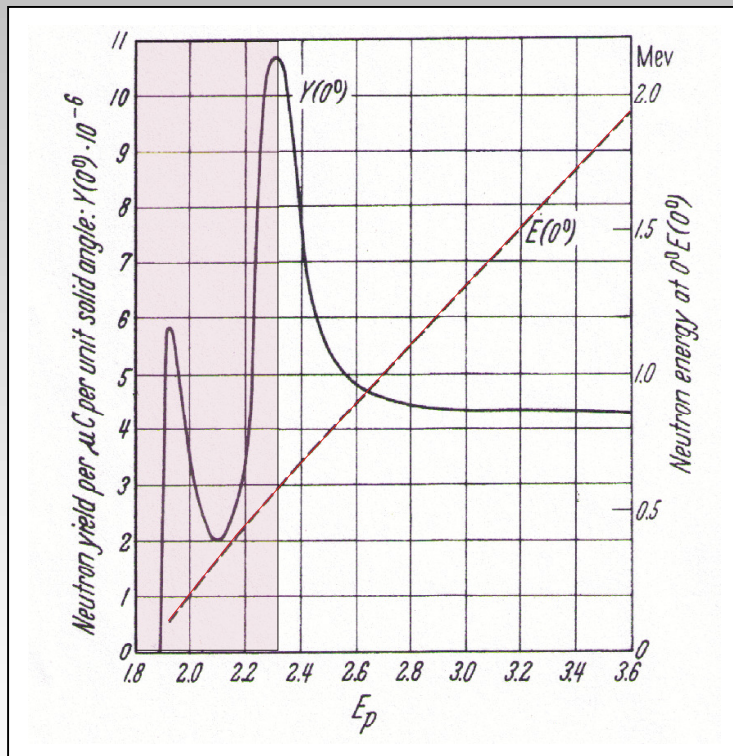
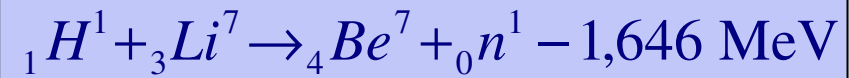
## Neutronen-Produktion



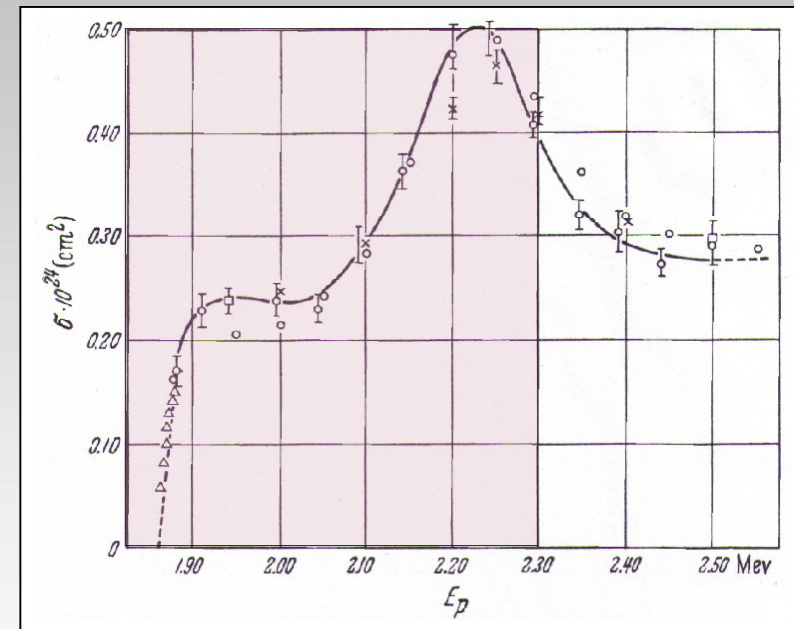
schematische Darstellung des Produktionstargets und des Detektorsystems

# Produktionstarget

## Produktionsreaktion



Neutronen-Ausbeute und Neutronen-Energie als Funktion der Primärstrahlenergie



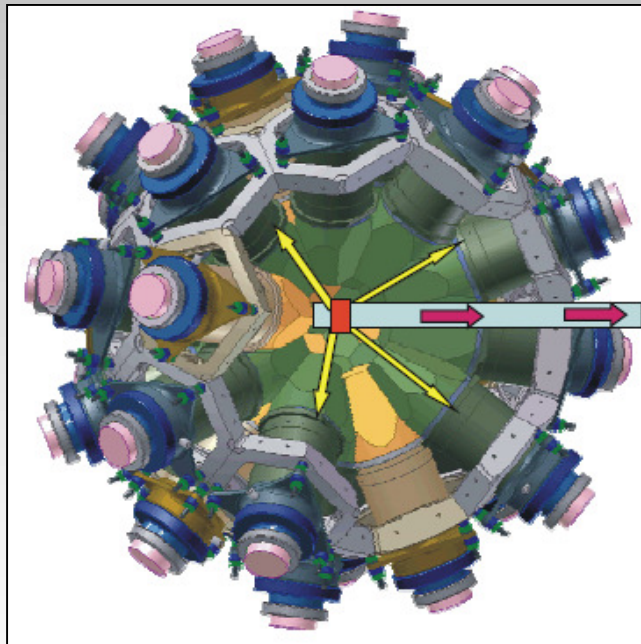
Wirkungsquerschnitte für die Produktion der Neutronen als Funktion der Primärstrahlenergie

# Detektorsystem

$4\pi$  BaF<sub>2</sub>- Detektor

Kooperation mit FZ Karlsruhe / GSI

© <http://nuclear-astrophysics.fzk.de/>



Szintillationskristalle sind zu einer 42-fach segmentierten Kugelschale angeordnet

© <http://nuclear-astrophysics.fzk.de/>

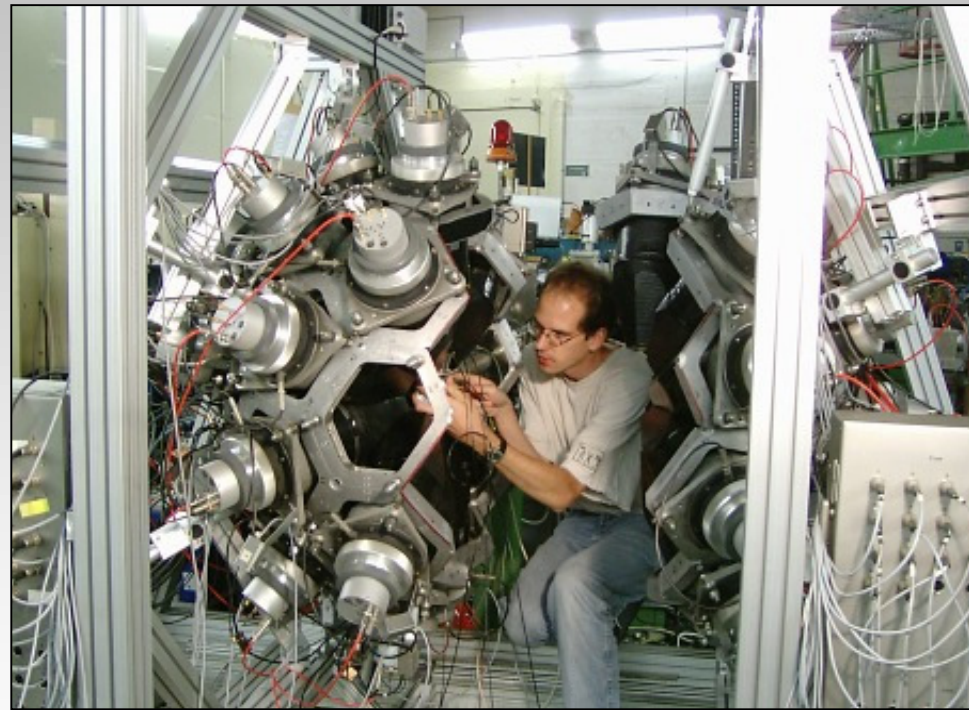
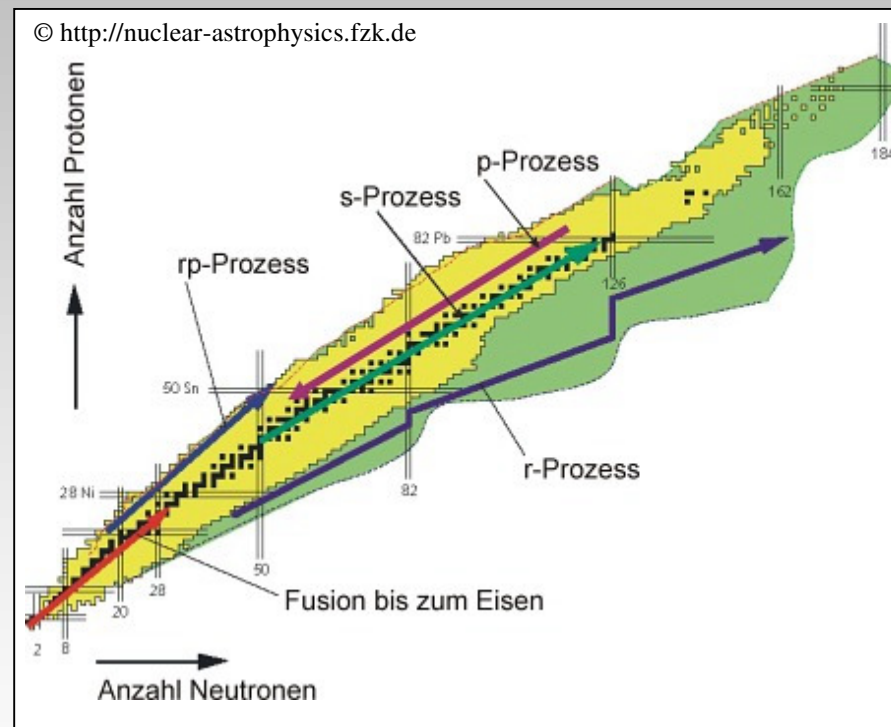


Foto des Detektors zur genauen Vermessung von Neutronen-Reaktionen in Karlsruhe

# Experimente

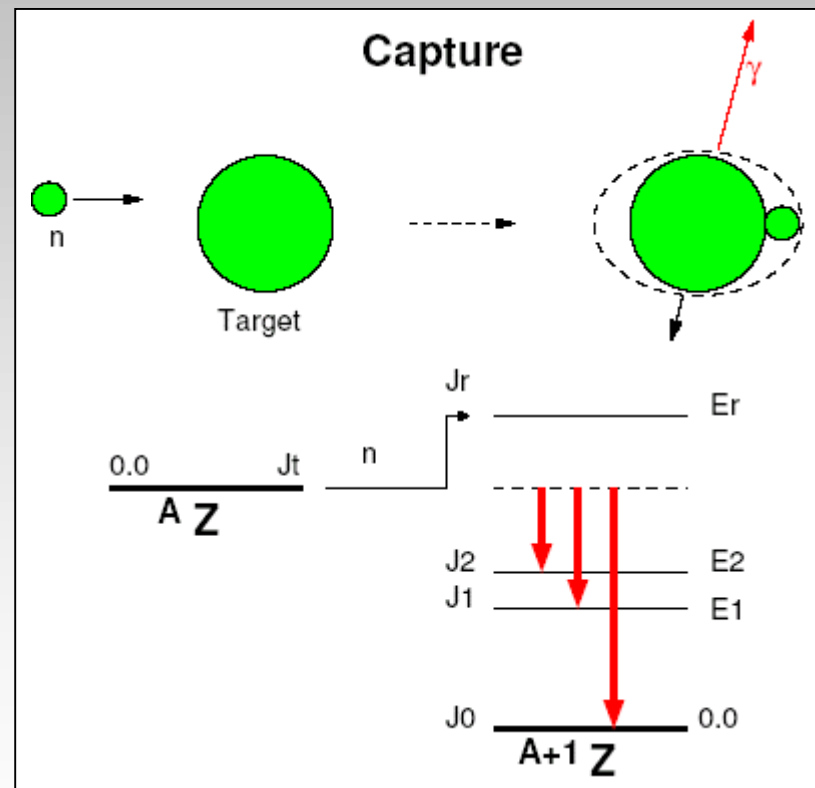
- Experimentelle Bestimmung von stellaren  $(n,\gamma)$ -Querschnitten für Energien zwischen  $kT=10$  und  $100$  keV
- Aktivierung mit Neutronen quasistellarer Energieverteilung von  $kT=25$  oder  $52$  keV oder differentiell mit monoenergetischen Neutronen



Nuklidkarte mit den Reaktionsnetzwerken für den r- und p-Prozess. Der s-Prozess verläuft im Bereich der stabilen Kerne

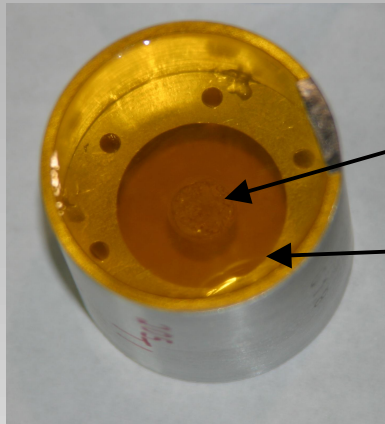
# Hauser - Feshbach Modell

- **Einfangmechanismen für Compound - Kerne**
- **Statistische Verteilung der Energielevel**



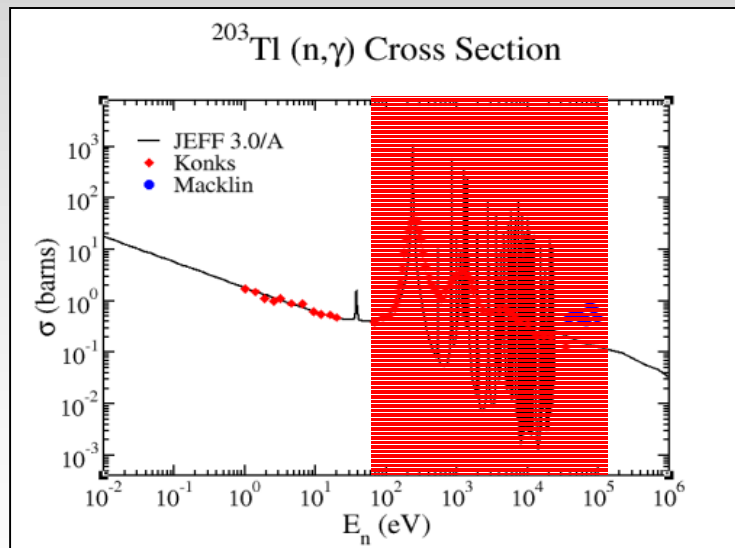


# Große Ungenauigkeit der bisher bestimmten Wirkungsquerschnitte

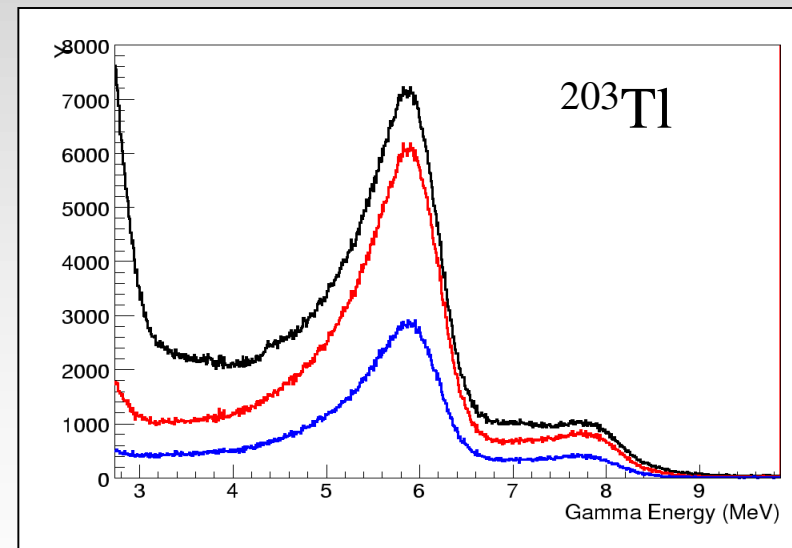


TI Probe

Kapton Window



Exemplarisches Gamma- Spektrum ©DANCE



# Experimente

<http://www.iaea.org/inis/aws/fnss/>

Accelerator Driven Systems ADS Transmutation von radioaktiven Abfällen  
Neue Daten für Neutronen-Wirkungsquerschnitte im keV – Bereich werden benötigt.

<http://www.gsi.de/fair/experiments/CBM/>

Detektorentwicklung am IKF z.B. Test der Belastbarkeit des Monolithic Si - Pixel – Detectors (MAPS), ist relevant für das FAIR - CBM - Experiment

<http://www.gsi.de/fair/experiments/superfrs/>

Experimente mit radioaktiven Isotopen die am geplanten FAIR - Super – FRS in Kohlenstofffolien implantiert wurden.  $\geq 10^{15}$  atoms/ unit

Material Wissenschaften, Neutron Radiographie, etc.

# Ausblick

- sämtliche Komponenten des Beschleunigers stellen eine Herausforderung dar
- Teststand für die Entwicklung neuer Beschleunigerkonzepte und Strahldiagnoseverfahren
- FRANZ ermöglicht beschleunigerrelevante Experimente mit intensiven Ionenstrahlen z.B. Raumladungseffekte, Strahlinstabilitäten
- FRANZ ist ein langfristig angelegtes Projekt, dessen Schwerpunkt auch in der Ausbildung der Studenten liegt
- der Neutronengenerator führt zu Kooperationen mit anderen Forschungsinstituten z.B. IKF, GSI und FZ - Karlsruhe

# Danke!

Für die Unterstützung danke ich:

LINAC-AG	<a href="http://linac.physik.uni-frankfurt.de/">http://linac.physik.uni-frankfurt.de/</a>
AG-Schempp	<a href="http://iaprfq.physik.uni-frankfurt.de/">http://iaprfq.physik.uni-frankfurt.de/</a>
NNP-AG	<a href="http://nnp.physik.uni-frankfurt.de/">http://nnp.physik.uni-frankfurt.de/</a>
GSI	M. Heil / R. Reifarth
FZK	F. Käppeler