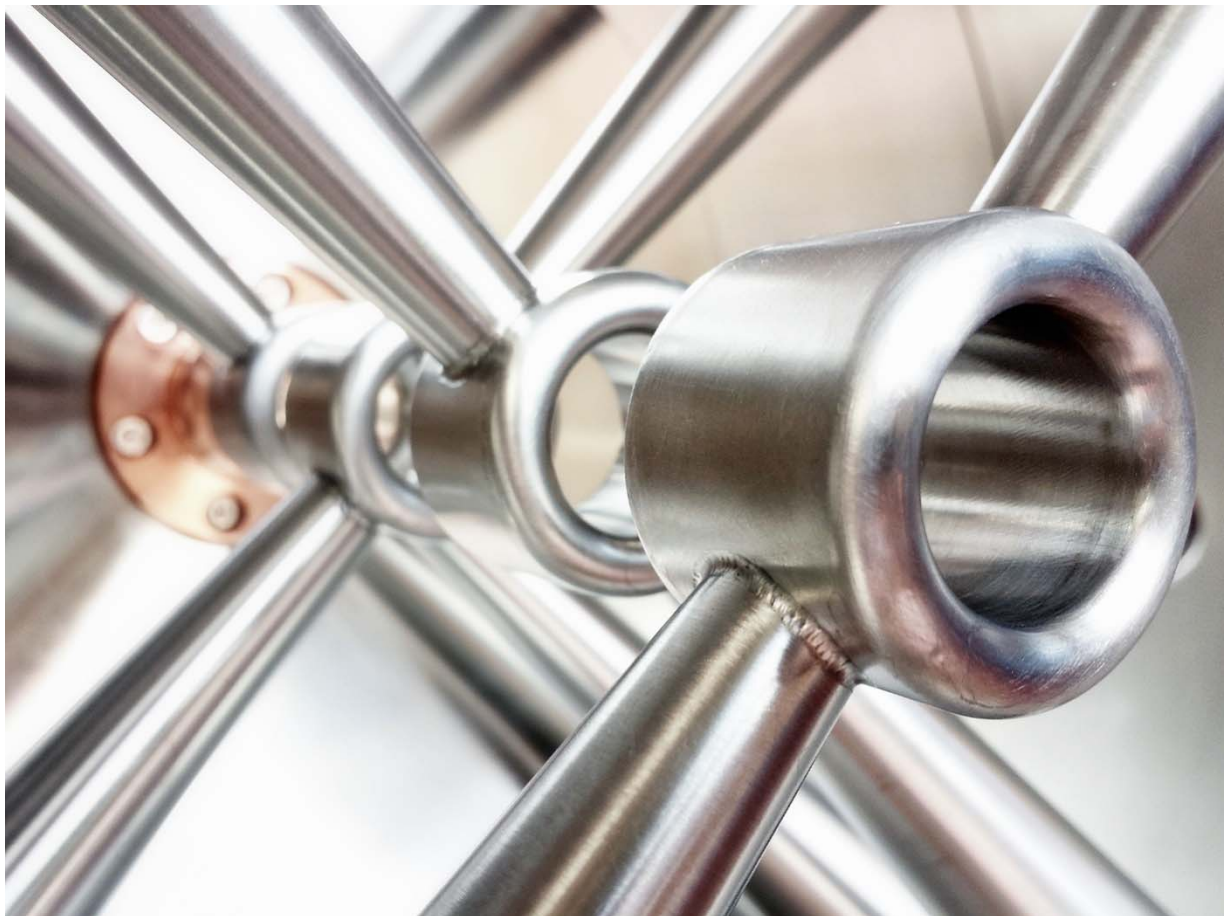




# **Institut für Angewandte Physik**

## **Jahresbericht 2013/2014**



Blick in die 175 MHz CH-Kavität für das FRANZ-Projekt

## **Liebe Mitglieder und Freunde des Instituts für Angewandte Physik,**

der vorliegende Jahresbericht des Instituts für Angewandte Physik beschreibt die Forschungs- und Lehrtätigkeiten der Bereiche Astro-, Beschleuniger- und Plasmaphysik aus den Jahren 2013 und 2014.

Die Projektbeschreibungen zeigen eindrucksvoll die große Bandbreite der Forschung am IAP. Besonders hervorzuheben ist dabei die Neutronenquelle FRANZ, welche zukünftig die verschiedenen Arbeitsbereiche am Institut noch enger verzahnen wird. 2014 hat FRANZ eine neue Organisationsstruktur erhalten, letzte finanzielle und organisatorische Fragen konnten erfreulicherweise geklärt werden. Die LEBT-Sektion konnte bereits erfolgreich ihr Leistungsvermögen demonstrieren. Der 300 kW Hochfrequenzverstärker wurde in Betrieb genommen und der Prototyp des RFQ-Beschleunigers hat die Erwartungen bei Weitem übertroffen. Im Laufe des kommenden Jahres werden dann die verschiedenen Beschleunigerstrukturen in Betrieb genommen.

Neben FRANZ spielt auch das FAIR-Projekt in Darmstadt eine herausragende Rolle für unser Institut. Damit wird die Tradition fruchtbarer Zusammenarbeit mit der GSI auch in Zukunft weitergeführt werden.

Das IAP ist umfangreich an den Lehrveranstaltungen des Fachbereichs Physik beteiligt. Neben einer großen Zahl von Wahlpflichtmodulen ist das Institut bei Serviceveranstaltungen für andere Fachbereiche, wie z.B. Anfängerpraktika oder Vorlesungen zu Einführungen in die Physik für das Nebenfach, überproportional engagiert.

Durch die Einführung des Globalbudgets und teils schmerzlicher finanzieller Einschnitte war unser Institut mit großen Herausforderungen konfrontiert. Dank der gemeinsamen Anstrengung konnten wir das IAP wieder auf finanziell solide Beine stellen.

Die Erfolge des Instituts sind das Ergebnis der Anstrengungen jedes einzelnen Mitarbeiters. Ihnen gebührt unser Dank. Wir möchten auch allen Förderern des Instituts sowie den zentralen Einrichtungen der Universität danken.

Ihnen allen wünschen wir ein frohes Weihnachtsfest und ein erfolgreiches Neues Jahr.

Frankfurt am Main, Dezember 2014

Prof. Dr. Holger Podlech  
Geschäftsführender Direktor

Prof. Dr. René Reifarth  
Stellvertr. Geschäftsführender Direktor

## **Inhaltsverzeichnis**

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter .....	5
Projektbeschreibungen.....	8
1 Astrophysik .....	8
2 Beschleunigerphysik .....	15
3 Plasmaphysik.....	38
Lehrveranstaltungen .....	44
Abgeschlossene Examensarbeiten.....	46
Geförderte Forschungsprojekte und Kooperationen .....	50
Mitarbeit in Fachausschüssen, Fachgruppen und Gremien.....	51
Mitarbeit in nationalen und internationalen Konferenzgremien .....	52
Besondere Ereignisse .....	53
Publikationen.....	56
Vorträge.....	72



## Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

### Geschäftsführender Direktor

Prof. Dr. H. Podlech

stellvertretend: Prof. Dr. R. Reifarh

### Emeritierte und pensionierte Professoren

Prof. Dr. R. Becker

Prof. Dr. A. Schempp

Prof. Dr. A. Lacroix

Prof. Dr. Dr.-Ing. E.h. D. Wolf

Prof. Dr. Schaarschmidt

### Professoren

Prof. Dr. J. Jacoby

Prof. Dr. U. Ratzinger

Prof. Dr. O. Kester

Prof. Dr. R. Reifarh

Prof. Dr. H. Podlech

### Honorarprofessoren, außerplanmäßige Professoren, Privatdozenten

Prof. Dr. T. Haberer, Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum (HIT)

Prof. Dr. I. Hofmann, GSI Darmstadt

Prof. Dr. H. Reininger, ATIP GmbH, Frankfurt am Main

Prof. Dr. J. Struckmeyer, GSI Darmstadt

PD Dr. G. Franchetti, GSI Darmstadt

PD Dr. P. Hülsmann, GSI Darmstadt

PD Dr. O. Rosmej, GSI Darmstadt

PD Dr. K. Schnell

Dr. P. Neumeyer, GSI Darmstadt

### Gastwissenschaftler

Prof. Dr. R.A. Jameson, LANL, Los Alamos, USA

Prof. Dr. P.J. Woods, University of Edinburgh, UK

**Ständige Wissenschaftliche Mitarbeiter, Wissenschaftliche Assistenten und Lehrbeauftragte des Instituts**

Dr. M. Droba  
Dr. M. Iberler  
Dr. O. Meusel  
Dr. K. Volk  
Dr. C. Wiesner

Dr. K. Schulte  
Dr. K. Sonnabend  
Dr. R. Tiede  
Dr. M. Weigand

**Wissenschaftliche Angestellte, Doktoranden und Postdocs**

Dr. A. Almomani  
S. Alzubaidi  
M. Baschke  
M. Busch  
F. Dziuba  
B. Fathinejad  
S. Geyer  
K. Göbel  
O. Hinrichs  
B. Klump  
Dr. B. Koubek  
D. Mäder  
T. Nowotnick  
M. Pohl  
D. Schmidt  
A. Schönlein  
M. Schwarz  
A. Seibel  
J. Wiechula  
Y. Xu

Dr. S. Altstadt  
M. Amberg  
M. Basten  
C. Claessens  
Dr. A. Endres  
A. Fedjuschenko  
Dr. J. Glorius  
Dr. T. Heftrich  
C. Hock  
A. Koloczek  
M. Lotz  
T. Manegold  
S. Schmidt  
T. Rienecker  
P. Schneider  
M. Schütt  
W. Schweizer  
B. Thomas  
G. Xu

**Techn./Verw. Angestellte**

D. Bänsch  
K. Brost  
T. Harji  
A. Hergt  
C. Wagner

T. Metz  
S. Rodrian  
K. Schäfer  
J. Jaitner

**Werkstatt**

W. Billijöt  
E. Binner  
R. Gössling  
V. Hammer

J. Lather  
F. Kracke  
S. Reploeg

## **Kandidatinnen und Kandidaten für Diplom, Bachelor, Master und Staatsexamen**

C. Arda	A. Ates
C. Beinrucker	C. Benzing
A. Berhane	R. Blank
B. Bohlender	E. Boos
M. Breyer	B. Brünner
P. Christ	K. Cistakov
H. Dmali	P. Erbacher
F. Faber	S. Fiebiger
C. Fix	M. Fix
M. Gilbert	M. Himmelreich
E. Hrivula	M. Kapun
M. Karabel	S. Klaproth
D. Koser	F. Kräcke
L. Kriviç	K. Kümpel
A. Kutschireiter	A. Langbein
C. Lenz	C. Lorey
E. Mevius	A. Michel
P. Müller	M. Obermayer
O. Payir	N. Petry
F. Pfeifer	B. Podbus
S. Popp	M. Reich
D. Ries	R. Schach
B. Scheible	J. Schirmer
Z. Slavkovská	D. Strecker
X. Su	M. Syha
T. Thomas	P. Till
M. Volknandt	J. Wagner
C. Wolf	Q. Yan
S. Zähler	K. Zerbe
I. Ziegler	

## Projektbeschreibungen

### 1 Astrophysik (AG Prof. Dr. R. Reifarth, Dr. Kerstin Sonnabend)

#### 1.1 Kurzbeschreibung der Arbeitsgruppe

Der Schwerpunkt der Forschungstätigkeiten der Arbeitsgruppe Experimentelle Astrophysik sind Experimente im Rahmen der nuklearen Astrophysik, insbesondere die Frage nach dem Ursprung der Elemente. Die meisten Elemente wurden und werden während der verschiedenen Stadien der Sternentwicklung produziert. Ein genaues Verständnis dieser Syntheseprozesse erlaubt daher tiefe Einblicke in die Abläufe im Inneren von Sternen, die anderweitig nicht zugänglich sind. Hierfür ist es nötig, eine Reihe von Kernreaktionen unter stellaren Bedingungen im Labor zu bestimmen. Wir interessieren uns hierbei sowohl für Teilchen-induzierte (Neutronen, Protonen,  $\alpha$ -Teilchen) als auch für Photonen-induzierte Reaktionen in verschiedenen Energiebereichen.

Daher führen wir kernphysikalische Experimente an einer Vielzahl von Anlagen durch. Zu den Großforschungseinrichtungen gehören hierbei das GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt, mit dem LAND/R<sup>3</sup>B-Aufbau und dem ESR, das CERN, Genf, Schweiz, mit der n\_TOF-Anlage und das Los Alamos National Laboratory, New Mexico, U.S.A., mit der LANSCE-Einrichtung. In den vergangenen Jahren wurden regelmäßig auch einige kleinere Anlagen in das experimentelle Programm aufgenommen, so z.B. das Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Geel, Belgien, und der Forschungsreaktor TRIGA der Johannes Gutenberg Universität, Mainz, zur Untersuchung Neutronen-induzierter Reaktionen, die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, und das Institut für Kernphysik der Universität zu Köln, sowie das Institute for Structure and Nuclear Astrophysics (ISNAP) der University of Notre Dame, Indiana, U.S.A., zur Messung von Reaktionen mit geladenen Teilchen wie Protonen und  $\alpha$ -Teilchen und die High Intensity  $\gamma$ -ray Source (HI $\gamma$ S) der Duke University, North Carolina, U.S.A., zum Verständnis Photonen-induzierter Reaktionen.

In Zukunft soll ein maßgeblicher Teil des experimentellen Programms an FRANZ stattfinden. Den Schwerpunkt bildet die Untersuchung Neutronen-induzierter Reaktionen (hauptverantwortlich: Prof. Dr. René Reifarth). Hierbei wird sowohl die Anwendung der Aktivierungstechnik mit Neutronenverteilungen, die unterschiedlichen Temperaturen in Sternen entsprechen, verfolgt, als auch die Anwendung der Flugzeitmethode mit einem schnellen Kalorimeter zur Energie-aufgelösten Messung von Wirkungsquerschnitten radiativer Neutroneneinfangreaktionen. Daneben soll der an FRANZ zur Verfügung stehende Protonenstrahl aber auch direkt zur Untersuchung Protonen-induzierter Reaktionen verwendet werden (hauptverantwortlich: Dr. Kerstin Sonnabend). Die geplanten hohen Strahlströme erlauben bei der Entwicklung geeigneter experimenteller Proben die Untersuchung von Reaktionen an instabilen Targetkernen in Standardkinematik.

Die Aktivitäten der Gruppe an externen Einrichtungen finden in Zusammenarbeit mit den örtlichen Gruppen bzw. in großen internationalen Kollaborationen statt. Die Finanzierung ist durch verschiedenste Drittmittelgeber, wie z.B. das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) oder das siebte Rahmenprogramm der Europäischen Kommission, über die Grundausstattung durch die Goethe Universität hinaus realisiert.

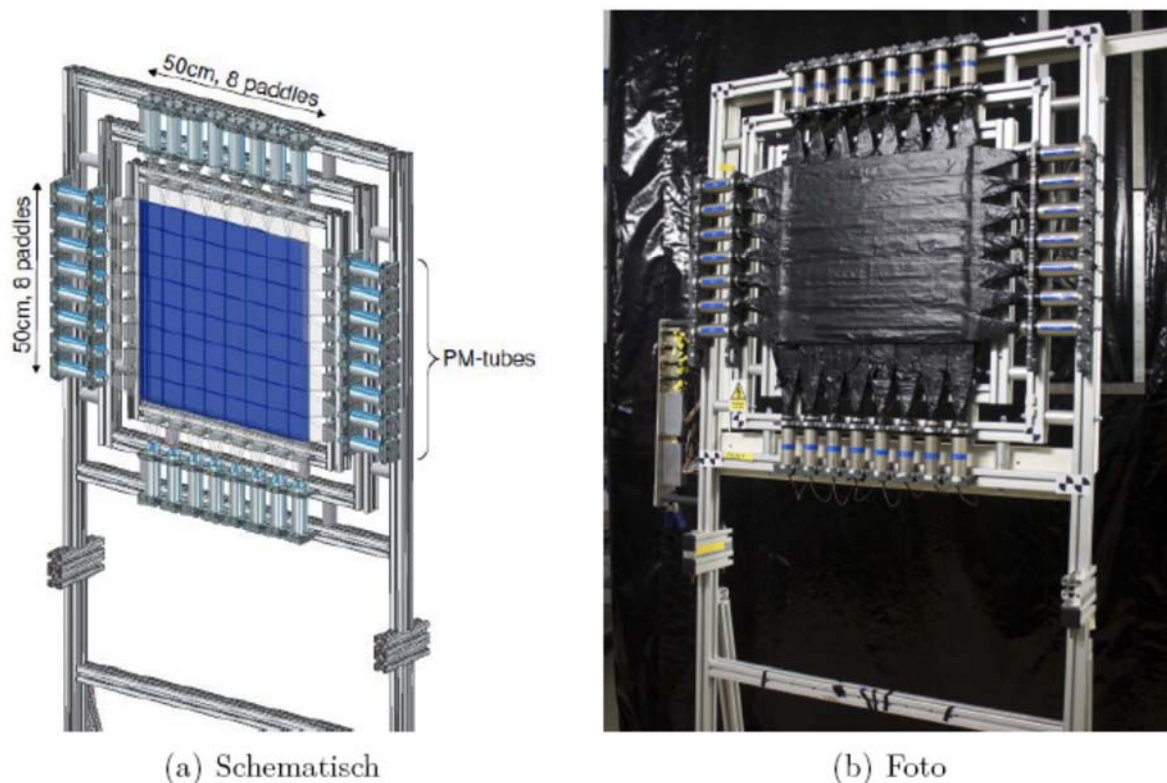
#### 1.2 Experimente und Entwicklungen am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt

Die Forschungsschwerpunkte an der GSI liegen in der Untersuchung von Reaktionen in umgekehrter Kinematik. Hierbei werden die zu untersuchenden schweren Kerne mit hohen



Energien auf ruhende Proben gelenkt. Sehr oft besteht diese Probe aus Blei, was die Untersuchung des Coulombaufruchs ggf. exotischer Kerne erlaubt. Dies wurde in den bereits abgeschlossenen Arbeiten von Herrn Altstadt sowie Frau Heftrich durchgeführt. Des Weiteren wurde die Arbeit von Frau Göbel kurz vor Redaktionsschluss dieses Berichtes ebenfalls zu diesem Thema eingereicht. Herr Pohl beschäftigte sich in seiner noch im Jahr 2014 zu verteidigenden Arbeit mit der Wechselwirkung schwerer Kerne mit Wasserstoffkernen.

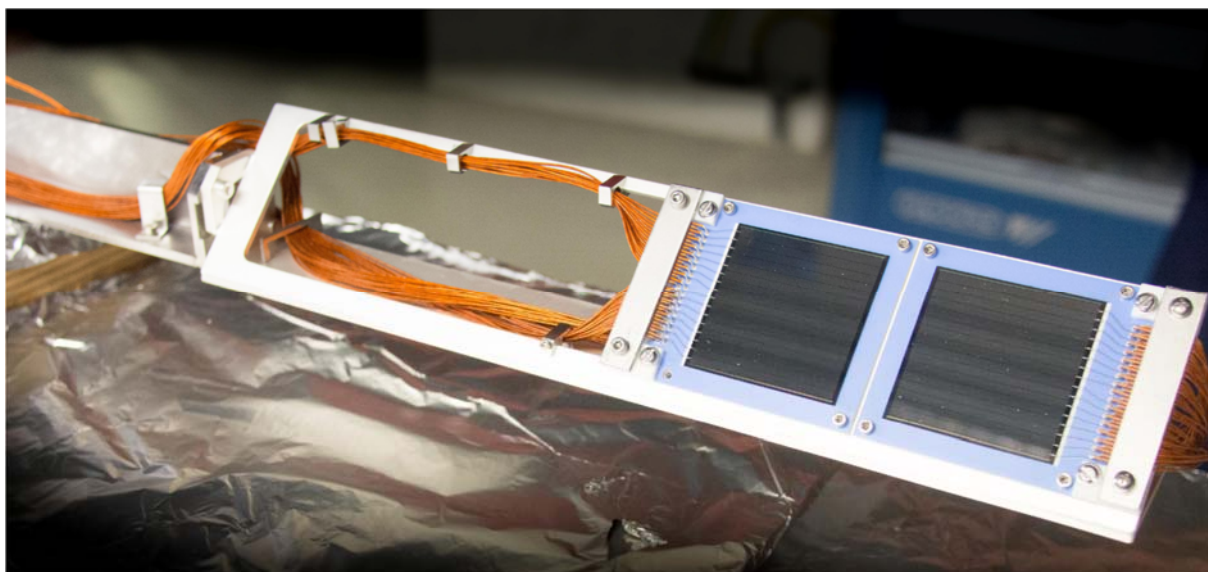
Zu den wichtigsten Werkzeugen innerhalb der R<sup>3</sup>B Kollaboration an der GSI gehören der im Aufbau befindliche Neutronendetektor NeuLAND sowie verschiedene Flugzeitwände (Abbildung 1). Optimierung, Aufbau und Charakterisierung dieser Detektoren waren oder sind Themen der Arbeiten der Herren Beinrucker, Bonilla, Gilbert und Gerwig.



**Abbildung1: Typischer Aufbau einer Flugzeitwand, wie sie zur Bestimmung der Position des Strahls, der deponierten Energie und damit der Ladung des Strahls sowie der Flugzeit und damit der magnetischen Steifigkeit benutzt wird.**

Daneben ist die Gruppe auch am Aufbau der Faserdetektoren beteiligt, die für die Spurgewinnung der schweren Fragmente benötigt werden. In den Strahlzeit-Kampagnen s438b und s438c hat Dr. Anne Endres bei der Konstruktion, Inbetriebnahme und Analyse eines neuen Faserdetektors mitgearbeitet, dessen 1024 Fasern mit einem Querschnitt von 200  $\mu\text{m}$  eine Fläche von etwa 20 cm abdecken und an beiden Enden mit MPPCs ausgelesen werden. Die Anwendbarkeit dieser Technik für den Nachweis von  $\alpha$ -Teilchen soll zukünftig untersucht werden.

Mit der ebenfalls abgegebenen Arbeit von Herrn Mei wird die Untersuchung von Reaktionen mit Hilfe eines Ionenspeicherringes vorangetrieben. Mit dem Experimentellen Speicherring an der GSI steht solch ein Instrument auch astrophysikalisch motivierten Experimenten zur Verfügung. In zwei Experimenten konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, in solch einem Aufbau Protoneneinfangquerschnitte im Gamow-Window des p-Prozesses zu untersuchen (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Die Entwicklung eines Silizium-Teilchendetektors zur Verwendung unter den Ultra-Hochvakuum Bedingungen am ESR wurde erfolgreich abgeschlossen und getestet. Während der unbehinderte Strahl durch die verbleibende Öffnung im Ring zirkuliert, werden die Produkte des Protoneneinfangs in den dünnen Silizium-Detektoren rechts gestoppt und nachgewiesen.

### 1.3 Experimente an anderen Großforschungseinrichtungen

Der von Frau C. Lederer erfolgreich eingeworbene Adolf Messer-Forschungspreis erlaubt eine starke Beteiligung an Experimenten zu neutroneninduzierten Reaktionen an den derzeit stärksten Quellen für Neutronen im astrophysikalisch interessanten Energiebereich. Diese werden im Rahmen der n-TOF sowie der DANCE Kollaborationen am CERN, Genf, Schweiz bzw. LANL, Los Alamos, USA betrieben.

### 1.4 Experimente und Entwicklungen an kleineren Anlagen

Neben den oben genannten Beteiligungen an Experimenten an Großforschungsanlagen, gibt es weitere enge Kollaborationen auf nationaler und internationaler Ebene. Sehr fruchtbare Zusammenarbeit besteht mit der Gutenberg Universität Mainz mit dem zugehörigen TRIGA-Forschungsreaktor sowie der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. Die Arbeiten von P. Erbacher, S. Fiebiger, E. Hrivula, A. Lier, B. Thomas, T. Thomas, M. Volkmandt, Z. Slavkovská, M. Ziegler-Himmelreich unterstreichen dies eindrucksvoll. Am IRMM in Geel, Belgien ist ebenfalls die Messung neutroneninduzierter Reaktionen möglich. Dies führte zu Arbeiten von C. Beinrucker, S. Fiebiger und S. Schmidt.

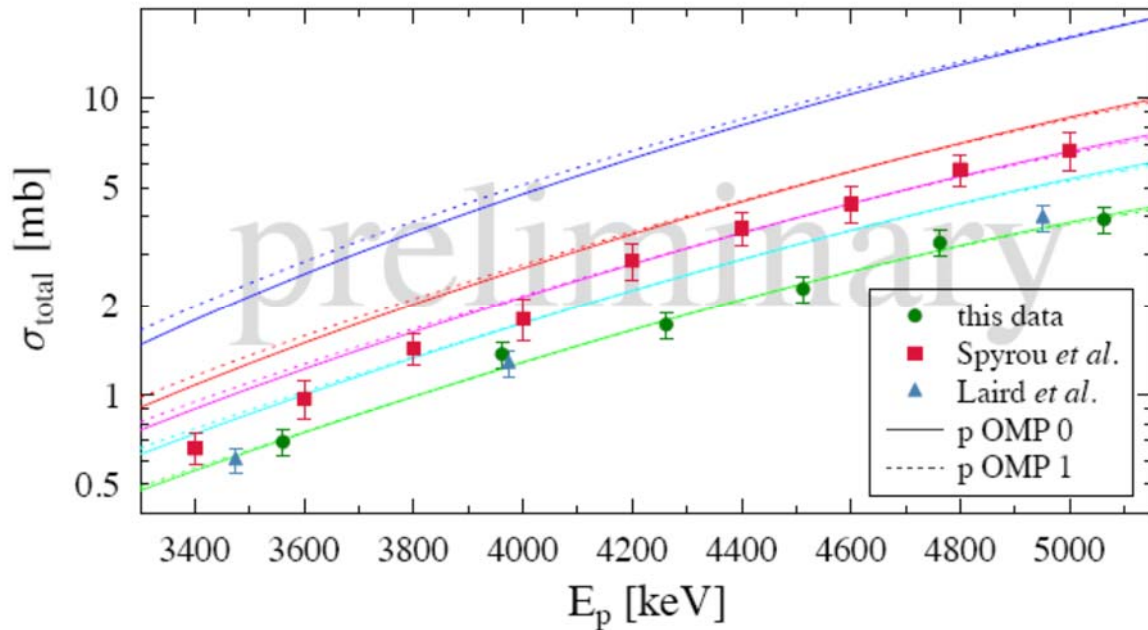
Um die im statistischen Modell vorhergesagten Wirkungsquerschnitte zur Produktion von  $^{91}\text{Nb}$  durch Bestrahlung von  $^{92}\text{Mo}$  mit hochenergetischen Protonen experimentell zu überprüfen (vgl. Abschnitt 1.5), wurde im Juli 2014 eine weitere Strahlzeit an der PTB Braunschweig von Benedikt Thomas, M.Sc., geplant und in Kollaboration mit Dr. Ulrich Giesen durchgeführt. Um auch die Erzeugung unerwünschter Nebenprodukte durch Reaktionen an anderen Molybdän-Isotopen zu untersuchen, wurden natürlich zusammengesetzte Proben  $^{\text{nat}}\text{Mo}$  mit Protonen im Energiebereich  $E_p = 15 \text{ MeV}$  bis  $19 \text{ MeV}$  bestrahlt. Der Beitrag der Reaktionen  $^{92}\text{Mo}(p,2n)$  und  $^{92}\text{Mo}(p,pn)$  zur Produktion von  $^{91}\text{Nb}$  wurde aufgrund der geringen Halbwertszeit von  $^{91}\text{Mo}$  ( $t_{1/2} = 15.5 \text{ m}$ ) mit kurzen Bestrahlungszeiten von etwa 15 Minuten bestimmt. Um die gesamte Ausbeute an  $^{91}\text{Nb}$  ( $t_{1/2} = 680 \text{ a}$ ) zu ermitteln, wurde bei jeder Protonenenergie außerdem eine lange Bestrahlung von mehreren Stunden Dauer durchgeführt. Der aktuelle Stand der Analyse der Daten zeigt, dass die theoretischen Vorhersagen der Wirkungsquerschnitte die experimentellen Ergebnisse um etwa einen Faktor 2 überschätzen. Dennoch ist die Produktion

von  $^{91}\text{Nb}$  über diesen Weg möglich, insbesondere da eine der wichtigsten unerwünschten Reaktionen,  $^{95}\text{Mo}(p,\alpha)^{92}\text{Nb}$ , in der theoretischen Vorhersage um einen Faktor 100 überschätzt wurde.

Am HORUS-Spektrometer des Instituts für Kernphysik der Universität Köln wurde die Reaktion  $^{90}\text{Zr}(p,\gamma)$  mit Hilfe von hochauflösender In-Beam  $\gamma$ -Spektroskopie untersucht. Das Experiment wurde im Rahmen der Masterarbeit von Philipp Erbacher, M.Sc., geplant und in Kollaboration mit Prof. Dr. A. Zilges und L. Netterdon, M.Sc., im November 2013 durchgeführt. Aufgrund einer geringen Strahlintensität, hervorgerufen durch ein Problem mit der Stripperfolie des Tandembeschleunigers, konnte nicht der komplette astrophysikalisch relevante Energiebereich untersucht werden, sondern nur im Energiebereich  $E_p = 3.6$  MeV bis 5.1 MeV Daten gemessen werden. In der Masterarbeit wurden der totale Wirkungsquerschnitt, sowie partielle Wirkungsquerschnitte der Reaktion  $^{90}\text{Zr}(p,\gamma)$  bestimmt. Außerdem konnte mit den gewonnenen Ergebnissen eine optimierte Planung für die Messungen im Energiebereich  $E_p = 2.5$  MeV bis 3.6 MeV erstellt werden. Das Experiment soll in der ersten Jahreshälfte 2015 stattfinden. Die Daten aus beiden Messungen decken dann den für die Produktion des  $p$ -Kerns  $^{92}\text{Mo}$  relevanten Energiebereich vollständig ab.

Am Institute for Structure and Nuclear Astrophysics der University of Notre Dame, Indiana, U.S.A., wurden die Reaktionen  $^{166}\text{Er}(\alpha,n)^{169}\text{Yb}$ ,  $^{169}\text{Tm}(p,n)^{169}\text{Yb}$ ,  $^{165}\text{Ho}(\alpha,n)^{168}\text{Tm}$  und  $^{175}\text{Lu}(p,n)^{175}\text{Hf}$  in mehreren experimentellen Kampagnen mit der Aktivierungsmethode in Kollaboration mit der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. M. Wiescher untersucht. Die Experimente wurden im Rahmen der Dissertation von Dr. Jan Glorius geplant und durchgeführt. Die Proben wurden in Notre Dame mit Protonen ( $E_p = 3.3$  MeV bis 7.0 MeV) und  $\alpha$ -Teilchen ( $E_\alpha = 11.0$  MeV bis 15.35 MeV) bestrahlt. Die Aktivität, die Aufschluss über den Wirkungsquerschnitt bei einer bestimmten Bestrahlungsenergie gibt, wurde mit Hilfe verschiedener hochreiner Germanium-Detektoren in Frankfurt bestimmt. Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit Vorhersagen im Statistischen Modell erlaubte die Optimierung der kernphysikalischen Eingangsgrößen, d.h. des jeweiligen Protonen-Kern-Potentials bzw.  $\alpha$ -Teilchen-Kern-Potentials. Die Anwendbarkeit bisher nur lokal gültiger Optimierungen konnte gezeigt werden und stellt einen wichtigen Schritt hin zu global für die Nukleosynthese der  $p$ -Kerne anwendbaren Potentialen dar.

Im Januar 2014 wurden ebenfalls mit der Aktivierungsmethode natürlich zusammen gesetzte Proben von Zirkonium untersucht. Ziel war es, entlang der Isotopenkette von  $^{90}\text{Zr}$  bis  $^{96}\text{Zr}$  die Wirkungsquerschnitte verschiedener  $(p,\gamma)$ - und  $(p,n)$ -Reaktionen zu bestimmen und damit die Abhängigkeit des Protonen-Kern-Potentials vom  $N/Z$ -Verhältnis zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf den Neutronen-Schalenabschluss mit  $N = 50$  bei  $^{90}\text{Zr}$ . Die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Totaler Wirkungsquerschnitt der Reaktion  $^{90}\text{Zr}(p,\gamma)$  gemessen mit In-Beam  $\gamma$ -Spektroskopie am HORUS Spektrometer der Universität zu Köln. Die Ergebnisse der Masterarbeit von Philipp Erbacher, M.Sc., (grüne Kreise) werden mit experimentellen Daten von A. Spyrou et al. (Phys. Rev. C 88 (2013) 045802, rote Quadrate) und C.E. Laird et al. (Phys. Rev. C 35 (1987) 1265, blaue Dreiecke) verglichen. Die Linien stellen Vorhersagen im Statistischen Modell mit unterschiedlichen Protonen-Kernpotentials (p OMP 0 und p OMP 1) und verschiedenen  $\gamma$ -Stärkefunktionen (blau, rot, magenta, cyan, grün) dar. Die experimentellen Ergebnisse weichen systematisch voneinander ab, können aber alle durch verschiedene Vorhersagen reproduziert werden.**

An der High Intensity  $\gamma$ -ray Source (HI $\gamma$ S) der Duke University, North Carolina, U.S.A., fanden Untersuchungen der Reaktionen  $^{\text{nat}}\text{Yb}(\gamma,n)$ ,  $^{\text{nat}}\text{Tm}(\gamma,n)$ , sowie  $^{\text{nat}}\text{Te}(\gamma,n)$  in Kollaboration mit Prof. Dr. Werner Tornow statt. Die Proben wurden an HI $\gamma$ S bestrahlt, die Bestimmung der Aktivität erfolgte sowohl an der Duke University als auch in Frankfurt. Die Auswertung der Daten und der Vergleich mit Messungen am Darmstadt High Intensity Photon Setup (DHIPS) der Technischen Universität Darmstadt findet im Rahmen der Masterarbeit von Taniya Thomas, B.Sc., statt, die im Januar 2015 abgeschlossen wird.

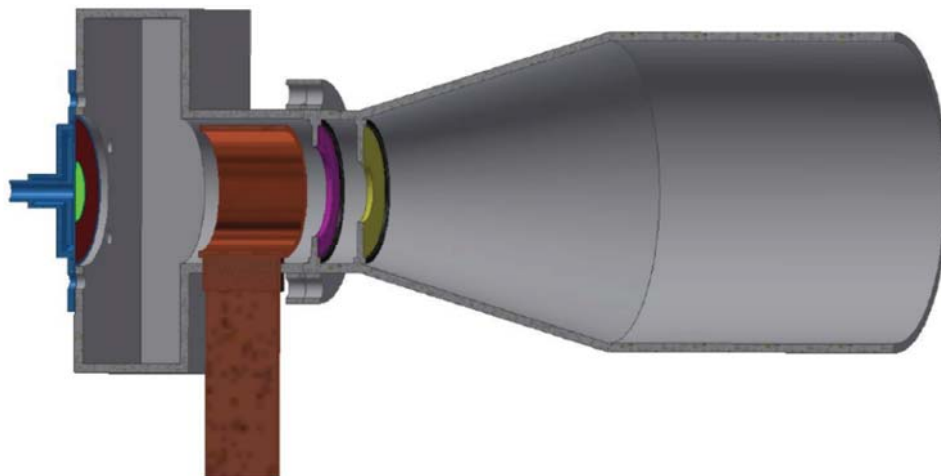
In Kollaboration mit Dr. Deniz Savran (EMMI-GSI), dem Sprecher der  $\gamma^3$ -Kollaboration, wird der  $\gamma^3$ -Aufbau zur Messung von  $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen an HI $\gamma$ S um die Möglichkeit des Nachweises von Neutronen erweitert. Mit Hilfe der Messung von  $\gamma n$ -Koinzidenzen wird es möglich sein, partielle Wirkungsquerschnitte von  $(\gamma,n)$ -Reaktionen zu bestimmen und damit Rechnungen im Statistischen Modell zur Vorhersage der Neutroneneinfangraten von Verzweigungskernen im  $s$ -Prozess zu optimieren. Ein erster Test der neuen Detektorgeometrie findet im Dezember 2014 statt. Die Strahlzeit zur Untersuchung der Reaktion  $^{87}\text{Rb}(\gamma,n)$  ist für 2015 vom Program Advisory Committee an HI $\gamma$ S genehmigt worden.

### 1.5 Entwicklungen für FRANZ

Die Untersuchung neutroneninduzierter Reaktionen am FRANZ steht auf dem Programm für das Jahr 2015. In Vorbereitung dieser Messungen wurden und werden eine ganze Reihe von Projekten bearbeitet. Unter anderem von S. Fiebiger, M. Fix, R. Krämer, A. Lazarus, S. Schmidt und C. Wolf.

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Emilio Mevius, B.Sc., wurde die Geometrie des vorhandenen  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeters in die Monte-Carlo basierte Simulationssoftware Geant4 eingepflegt und erste Ergebnisse für die Eichquellenpräparate <sup>22</sup>Na und <sup>60</sup>Co bestimmt, die im Rahmen der Bachelorarbeit von Clemens Wolf, B.Sc., verwendet wurden. Es zeigte sich eine deutliche Abweichung der simulierten Ergebnisse von den experimentellen Messungen. Dies ist aufgrund der komplexen Detektorgeometrie und der komplett neu angelegten Simulation allerdings nicht überraschend. Bis eine Fehlersuche und Fehlerbehebung im erstellten Code erfolgreich ist, steht eine auf GEANT-3.21 basierende Simulation zur Verfügung.

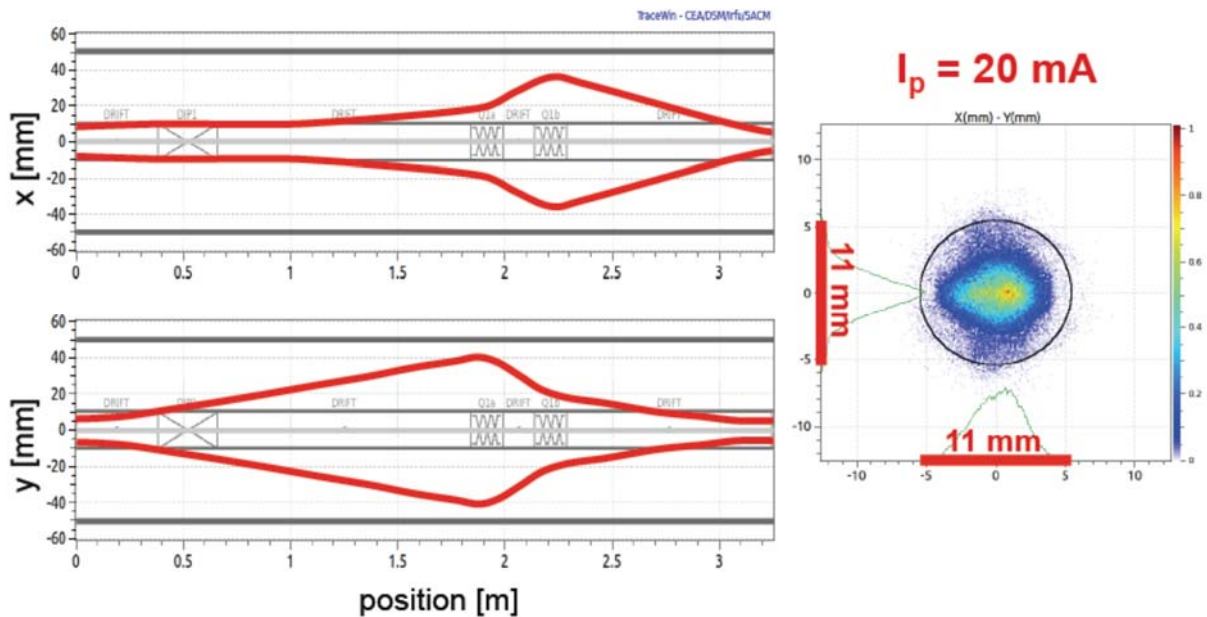
Um die hohen Strahlströme, die von FRANZ zur Verfügung gestellt werden, auch zur Untersuchung Protonen-induzierter Reaktionen zu nutzen, ist es notwendig hochleistungsbeständige Proben zu entwickeln. Markus Reich, B.Sc., hat in seiner Bachelorarbeit verschiedene Geometrien einer Hochdruckwasserkühlung simuliert und darauf basierend den Entwurf einer Probenhalterung erstellt. Außerdem hat er verschiedene Backing-Materialien hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit, Hitzebeständigkeit und Beiträge zur Untergrundrate in den zu messenden Spektren untersucht. Als optimale Materialien zur Messung der Reaktionen <sup>90</sup>Zr(p,γ) bzw. <sup>91</sup>Nb(p,γ) an FRANZ hat er Gold bzw. Wolfram ermittelt. Die Probenhalterung mit der Hochdruckwasserkühlung wurde in der Bachelorarbeit von Ceyhun Arda, B.Sc., in eine Targetkammer integriert, die im  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeter Platz findet (Abbildung 4). Um die komplette Infrastruktur der Targetkammer wie z.B. eine Kühlfalle für Restgas, eine Gegenspannung zur Unterdrückung von Sekundärelektronen bei der Messung des Strahlstroms und eine Blende zur Kontrolle der Strahlgeometrie zu optimieren, hat er ein dreidimensionales Modell des Kalorimeters in Autodesk Inventor Professional erstellt und die Bauteile integriert. Außerdem hat er die Position des Kalorimeters in der FRANZ-Experimentierhalle hinsichtlich der Geometrie des Strahlflecks optimiert.



**Abbildung 4: Erster Entwurf einer Targetkammer zur Untersuchung von (p,γ)-Reaktionen mit dem  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeter an FRANZ aus der Bachelorarbeit von Ceyhun Arda, B.Sc. Links ist die Targethalterung mit den Zu- und Abflüssen für die Hochdruck-Wasserkühlung zu sehen (blau), und die typische Größe des Strahlflecks ist eingezeichnet (grün). Außerdem sind Kühlfalle (braun) und Blenden für Gegenspannung (magenta) und Strahlkontrolle (gelb) dargestellt. Das konisch zulaufende Ende des Strahlrohrs (rechts) passt sich der Geometrie des Kalorimeters an.**

Die Strahlführung nach dem letzten Quadrupoltripllett des CH-Rebunchers hin zu den Experimentierplätzen, die sogenannte HEBT-Sektion (High-Energy Beam-Transport) wird in der Dissertation von Ole Hinrichs, M.Sc., entwickelt (Abbildung 5). Nach eingehenden Simulationen für verschiedene Strahlbedingungen (z.B. Abstand zum Quadrupoltripllett, Strahlintensität, Winkel zur Symmetrieachse, Offset zur Symmetrieachse) wurden die Charakteristika eines Dipolmagneten, der die verschiedenen Experimentierplätze bedient, und

eines Quadrupoldubletts, das den Strahl entweder auf ein Neutronenproduktionstarget oder eine Probe im  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeter fokussiert, festgelegt. Die Magnete sind bei DANFYSIK bestellt, das finale Design des Dipolmagneten steht noch aus. Der Aufbau der Strahlführung wird für das erste Halbjahr 2015 angestrebt.



**Abbildung 5: Simulation des Strahltransports in der HEBT-Sektion von FRANZ im Rahmen der Dissertation von Ole Hinrichs, M.Sc. Links ist die Enveloppe des Strahls entlang der HEBT-Sektion dargestellt, rechts die Verteilung der Protonen an der gezeigten Endposition. Diese entspricht der Targetposition für die Untersuchung einer  $(p,\gamma)$ -Reaktion mit dem  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeter.**

Um die Reaktion  $^{91}\text{Nb}(p,\gamma)$  in Standardkinematik an FRANZ zu untersuchen, ist die Herstellung einer Probe von  $^{91}\text{Nb}$ -Kernen ( $t_{1/2} = 680$  a) notwendig. Die Möglichkeit der Bestrahlung von angereichertem  $^{92}\text{Mo}$  mit hochenergetischen Protonen und der Erzeugung von  $^{91}\text{Nb}$  über die Reaktionen  $^{92}\text{Mo}(p,2p)^{91}\text{Nb}$ ,  $^{92}\text{Mo}(p,pn)^{91}\text{Mo}(\beta^+)^{91}\text{Nb}$  bzw.  $^{92}\text{Mo}(p,2n)^{91}\text{Tc}(\beta^+)^{91}\text{Mo}(\beta^+)^{91}\text{Nb}$  untersucht Benedikt Thomas, M.Sc., im Rahmen seiner Dissertation. Dazu hat er zunächst die Wirkungsquerschnitte der Reaktionen im Statistischen Modell berechnet und darauf basierend eine Abschätzung über die benötigte Menge von  $^{92}\text{Mo}$ , die Energie der Protonen und die Dauer der Bestrahlung erstellt. Die berechneten Wirkungsquerschnitte wurden an der PTB Braunschweig experimentell überprüft (vgl. Abschnitt 1.4) einschließlich der Erzeugung möglicher störender Nebenprodukte. Obwohl die Auswertung der Daten noch im Gange ist, zeigt sich schon, dass dieser Produktionsweg effizient ohne störende Nebenprodukte möglich ist.

## 1.6 Simulationen astrophysikalischer Szenarien

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Messungen astrophysikalisch motivierter Kernreaktionen finden schlussendlich Eingang in Nukleosynthesesimulationen. Im Rahmen solche Simulationen wird untersucht, welche Häufigkeitsverteilung die verschiedenen Szenarien hervorbringen. In der Regel geschieht dies anhand von Temperatur- und Dichteprofilen, wie sie für die verschiedenen Szenarien simuliert wurden. Arbeiten zu diesem sogenannten Post-Processing entstanden von K. Göbel, A. Koloczek, J. Ostermüller, C. Ritter und R. Schach.

Mit dem Post-Processing Network (PPN) wurde auch die Produktion der  $p$ -Kerne in Supernovae simuliert. René Schach, B.Sc., hat in seiner Bachelorarbeit die sogenannten Hashimoto-Trajektorien für Kernkollaps-Supernovae verwendet und konnte die gleichen

Trends beobachten, die auch bei Verwendung anderer Simulationscodes resultierten. Als Teil ihrer Dissertation hat sich Kathrin Göbel, M.Sc., intensiv mit der Nukleosynthese der leichten  $p$ -Kerne  $^{92}\text{Mo}$  und  $^{94}\text{Mo}$  beschäftigt. Dafür hat sie in PPN neben den Hashimoto-Trajektorien auch Dichte- und Temperaturprofile aus thermonuklearen Supernovae verwendet. Während die allgemeinen Trends in beiden Fällen sehr ähnlich sind, deutet sich bei letzterem eine Abhängigkeit der Produktion von  $^{92}\text{Mo}$  und  $^{94}\text{Mo}$  von der Dauer an, bei der eine bestimmte Temperatur überschritten wird, und nicht allein von der Maximaltemperatur.

## 2 Beschleunigerphysik (AG Prof. Dr. O. Kester, AG Prof. Dr. Podlech, AG Prof. Dr. U. Ratzinger, AG Prof. Dr. A. Schempp)

### 2.1 Beschleunigerphysik in der AG Prof. Dr. O. Kester

Die thematischen Schwerpunkte der Arbeitsgruppe Beschleunigerphysik liegen in den Gebieten Beschleuniger- und Ionenquellenphysik. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Erzeugung und den Transport von raumladungsbehafteten Strahlen (Ionen und Elektronen) und der Entwicklung von Systemen moderner Schwerionenbeschleuniger. Dies betrifft insbesondere die Themenbereiche Strahldiagnose und Vakuumtechnik. Bei der AG Beschleunigerphysik steht die thematische Ausrichtung auf das FAIR Projekt im Vordergrund.

#### 2.1.2 Strahldiagnose und Strahltransport

##### 2.1.2.1 Leuchtschirme

(E. Gütlich, P. Forck, O. Kester)

Leuchtschirme werden seit Jahrzehnten in fast allen Teilchenbeschleunigern der Welt zur qualitativen Einstellung (Positionierung) und Optimierung von Ionenstrahlen eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Messmethoden, wie zum Beispiel Profilgittern, sind Leuchtschirme ein sehr kosteneffizientes Diagnosesystem für die transversalen Strahleigenschaften und haben darüber hinaus noch eine hohe Ortsauflösung. Bei FAIR werden Leuchtschirme als first-day Diagnostik eingesetzt um z. B. den Einschuss in das SIS 100 zu kontrollieren. Aufgrund der hohen Dosisleistung bei Schwerionenstrahlen, wurden vor allem strahlungsresistente keramische Materialien wie Aluminiumoxid und verschiedene Zirkonoxide untersucht. Die mit keramischem Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gemessenen Ionenstrahlprofile haben in den Experimenten die beste Übereinstimmung mit den Referenzmethoden gezeigt.

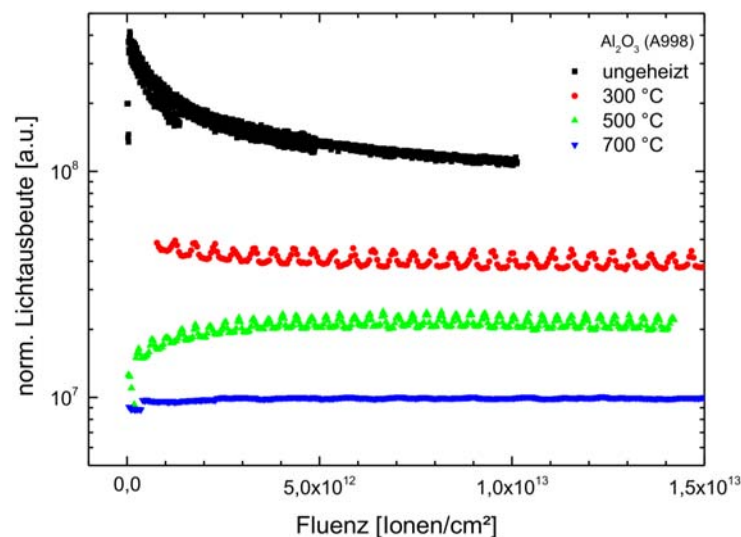


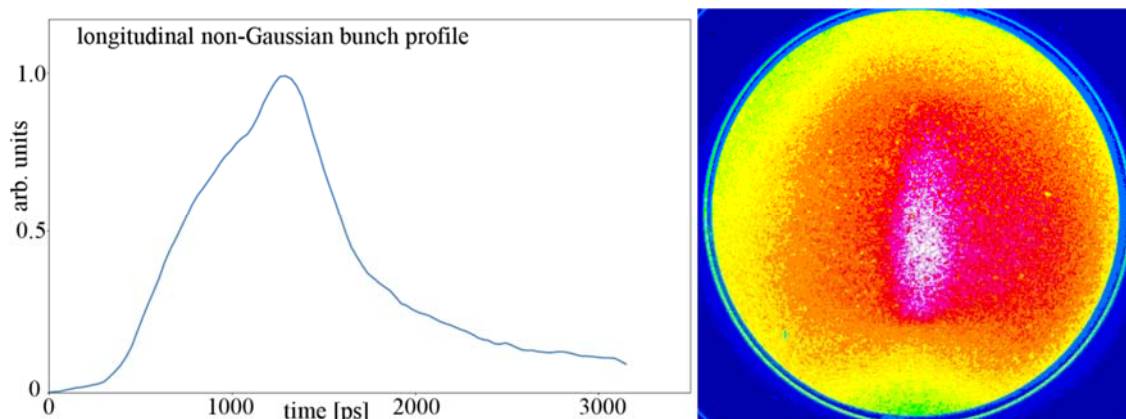
Abbildung 1: Lichtausbeute von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Proben über der akkumulierten Fluenz [Ionen/cm<sup>2</sup>] für unterschiedliche Temperaturen der Proben. Strahlparameter: Cu bei 0,5 MeV/u, cw, Strahlstrom ca.30 nA, was ca.  $10^{10}$  Ionen/(cm<sup>2</sup>s) entspricht.

Aus den Messergebnissen wurde für Aluminiumoxid ein Model zur Vorhersage der Abbildung des Ionenstrahls entwickelt. Dazu wurde ein Model zur Vorhersage der Lichtausbeute von Szintillatoren für Einzelteilchen auf einen Ionenstrahl erweitert [1,2]. Das Model kann die beobachtet Effekte beschreiben und ist sogar in der Lage Abbildungsfehler durch Sättigungseffekte des Szintillators zu korrigieren. Dazu wurden am UNILAC Messungen bei verschiedenen Energien (4.8 und 11.4 MeV/u) durchgeführt, wodurch sich die Abhängigkeit der Abbildungseigenschaften von der Strahlenergie sehr deutlich zeigt. Vor allem wurden die Alterung der Leuchtschirme und die Lichtausbeute in Abhängigkeit von der Leuchtschirmtemperatur genauer untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 dargestellt. Man erkennt, dass die Lichtausbeute tendenziell mit höherer Proben temperatur abnimmt, was zu erwarten ist [3]. Weiter ist zu erkennen, dass tendenziell durch eine höhere Proben temperatur ein stabileres zeitliches Verhalten der Lichtausbeute erreicht werden kann. Die Messung zeigen auch dass der Betrieb von Leuchtschirmen bei einer Temperatur von 500°C und das darauf folgende Ausheilen für 1 Stunde bei 900°C eine Betriebsmöglichkeit für Leuchtschirme ist, welche die Lebensdauer der Schirme deutlich verlängern kann.

### 2.1.2.2 Der nicht-invasive Bunch Profil Monitor bei GSI

(B. Zwicker, P. Forck, O. Kester)

Am Schwerionen-LINAC der GSI wurde ein neues Konzept eines nicht-invasiven Bunch Shape Monitors mit verschiedenen Ionenstrahlen bei 11,4 MeV / u und Strahlströmen in einem Bereich von 0,08 bis 1 mA getestet. Durch Wechselwirkung des Strahls mit dem Restgas werden Sekundärelektronen erzeugt. Diese Elektronen werden durch ein elektrostatisches Feld beschleunigt, und durch einen elektrostatischen Energieanalysator und einem HF-Deflektor transportiert, der als Zeit-Ort-Wandler wirkt. Verstärkt durch eine MCP Phosphoreinheit werden die Elektronen und die Elektronenverteilung schließlich durch eine CCD-Kamera detektiert. Für die verwendeten Strahleinstellungen ist der Bunch Shape Monitor in der Lage, Längsprofile auf 250 ps Breite mit einer Auflösung von 34 ps zu messen. Systematische Parameterstudien für den Bunch Shape Monitor wurden durchgeführt, um die Machbarkeit zu demonstrieren und um - wie erwartet -, nicht-Gauß-förmige Profile nachzuweisen (siehe Abbildung 2). Gegenwärtig werden Einzelpulsmessungen durchgeführt, die den ersten Schritt bei der Durchführung von longitudinalen Stabilitäts-Untersuchungen innerhalb eines Makroimpulses darstellen.



**Abbildung 2: Beispiel eines longitudinalen Bunchprofils, welches keine Gaußverteilung aufweist.**

### 2.1.2.3 Strahlverlustmonitore

(V. Lavrik, A. Reiter, O. Kester)



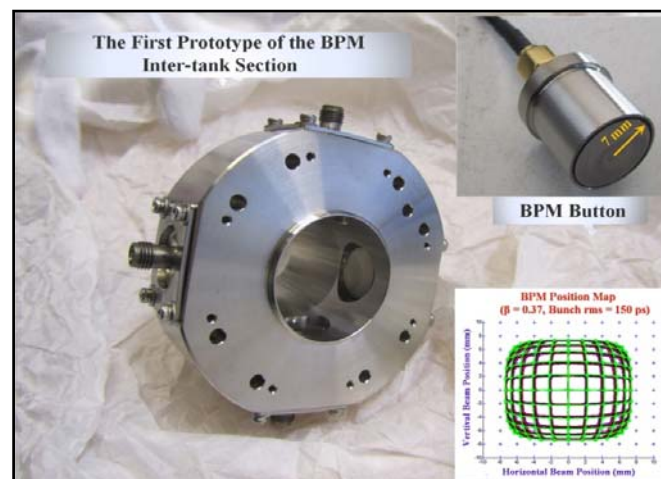
Die FAIR Strahlverlustmonitore (beam loss monitors, BLMs) sind Bestandteil eines globalen Systems zum Schutz der supraleitenden Magnete und der Maschinenkomponenten vor Aktivierung. Dabei werden irreguläre Verluste detektiert und als Signal für das machine protection system genutzt, um den Beschleuniger vor Schäden und Aktivierung zu schützen. Reguläre Verluste z.B. an Kollimatoren werden genutzt, um eine sehr genaue Strahlagejustage durchführen zu können. Für den Einsatz der BLMs bei FAIR wurden im Rahmen einer Doktorarbeit Experimente durchgeführt, die zum einen der Kalibration und zum anderen der Überprüfung der Antwortfunktion solcher BLMs dienen. Im Wesentlichen wurden Ionisationskammern und Plastiksintillatoren als Detektoren benutzt.

Durch den primären Ionenstrahl, der auf ein Kupfer-Target, einen Kollimator oder einen Szintillator geleitet wurde, konnte ein gemischtes Strahlungsfeld erzeugt werden, welches einen Strahlverlust nachstellt. Als Primärstrahlen dienten Uran, Krypton, Stickstoff und Nickel. Es wurde mit Teilchenenergien von 300, 600 und 900 MeV/u mit unterschiedlichen Strahlintensitäten gearbeitet. Mit dem Kollimator konnten die Verluste systematisch eingestellt und die Antwortfunktion der BLMs damit verglichen werden. Um die Messergebnisse zu erklären wurden verschiedenen Modelle mit dem FLUKA Code simuliert und verglichen und führten zu ersten verlässlichen Daten zu Signalen bei Verlusten von Schwerionenstrahlen.

#### 2.1.2.4 FAIR p-Linac Strahlpositionsmonitor

*(M. Almalki, P. Forck, O. Kester)*

Am geplanten 30m langen Protonen-LINAC für FAIR sollen an 14 Stellen vierfach Button-Strahlpositionsmonitore (BPM) installiert werden. An vier Positionen werden die BPM ein integraler Teil der Zwischensektion zwischen den CCH und CH Kavitäten innerhalb eines evakuierten Tanks sein. Ein Prototype der BPM-Zwischensektion wurde bereits designed und gebaut (siehe Abbildung 3). Die Durchführung mit einem Durchmesser von 14 mm wurde diskutiert und der endgültige Entwurf wurde bei Kyocera bestellt. Die elektrischen Eigenschaften des Button-BPM wurden mit geeigneten HF-Verfahren untersucht. Ein Zeitbereichs-Reflektometer (TDR) Test wurde durchgeführt, um die 50  $\Omega$  Impedanzanpassung der Pickup-Struktur zu untersuchen. Darüber hinaus wurde die Transmissionscharakteristik der Buttons mit einem Network Analyzer gemessen. Detaillierte Simulationen der Button-Parameter mit dem Finite-Elemente-Code CST wurden durchgeführt, darunter die Signalformanalyse, Impedanzanpassung und charakteristischen Kapazitätsberechnungen. Darüber hinaus wurden Zeit- und Frequenzbereichsantwort der BPM-Ausgangssignale, die die BPM der Interaktion mit dem Strahl wiedergeben, sowie Nichtlinearität, Empfindlichkeit und Positionskarte für verschiedene Geometrien und Strahlparameter ermittelt.



**Abbildung 3: Ein Prototype der BPM-Zwischensektion und die zugehörige gemessenen Positionskarte.**

## 2.1.3 LINACs und Ringbeschleuniger

### 2.1.3.1 p-LINAC Quelle und LEBT

(C. Ullmann, A. Adonin, R. Berezov, O. Kester)

Der p-Linac liefert die intensiven Protonenstrahlen für die Antiprotonenproduktionskette. Ca.  $7 \cdot 10^{10}$  Antiprotonen pro Stunde sind gefordert, was einer Primärprotonenstrahlintensität von  $2 \cdot 10^{16}$  Protonen pro Stunde entspricht. Daher soll die Quelle und die LEBT des p-Linacs bis zu 70 mA Protonen zu dem Beschleuniger mit einer Repetitionsrate von 4 Hz und einer Pulslänge von 36  $\mu$ s liefern [4]. Der p-Linac wird von einer 2,45 GHz Elektron-Zyklotron Resonanz-Ionenquelle bedient, welche bis zu 100 mA Strahlstrom bei 95 keV Strahlenergie liefern kann.

Mit Messungen an einem Teststand mit einer ähnlichen Quelle in Saclay, wird die Inbetriebnahme der p-Linac-Quelle vorbereitet. Vor allem können Messungen am Strahltransport (LEBT) dieser Quelle durchgeführt werden. Mit einem sogenannten „4-gri analyser“ kann die Raumladungskompensation über die Analyse der durch den Strahl ionisierten Restgasen ermittelt werden, was im Moment intensiv verfolgt wird.

### 2.1.3.2 HE-Linac Strukturen

(A. Seibel, L. Groening, X. Du, O. Kester)

Das Zukunftsprojekt FAIR stellt höchste Anforderungen an die Strahlintensität und -qualität auch bei den Linearbeschleunigern. Um dem gerecht zu werden, ist ein Upgrade des Universal Linear Accelerator (UNILAC) der GSI geplant. Die 108 MHz Kavitäten werden durch eine neue RF-Struktur gleicher Frequenz ersetzt, wobei u.a. Alvarez-Strukturen untersucht werden. Simulationen wurden durchgeführt, um die HF-Eigenschaften solcher Resonatoren zu verbessern. Eine daraus resultierende neue Driftröhrengemetrie besitzt flachere Rundungen, um eine homogenere Verteilung des Flächenstroms und eine höhere Shunt-Impedanz zu erreichen. Um die Notwendigkeit von Kühlkanälen zu klären, wurde in Simulationen die Temperaturverteilung an den Driftröhren und den Stützen untersucht. Ein Teststand für Niederleistungs-RF-Messungen mit einem 10 Spalte-Aluminium Model (Maßstab 1:3) wird gebaut. Das modulare mechanische Design des Models erlaubt experimentell eine Vielzahl an Driftröhren- und Stützen-Geometrien zu untersuchen. Mittels Störkörpermessung wird die elektrische Feldverteilung gemessen, ebenso wie die Feldstabilität im Hinblick auf Störmoden. Zusätzlich werden die geeigneten Positionen für statische und dynamische HF-Frequenzuner bestimmt.

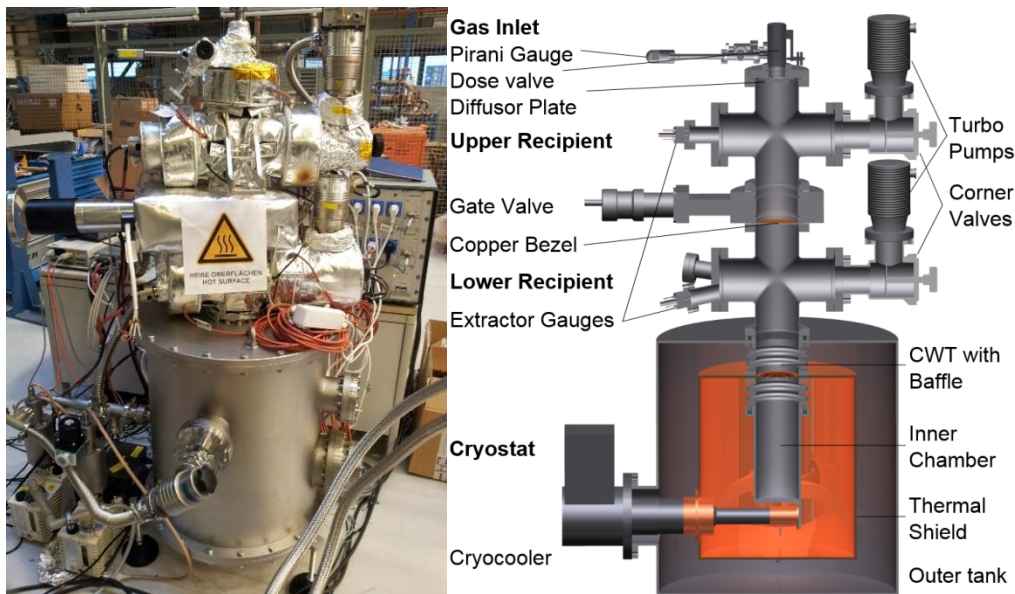
### 2.1.3.3 Pumpfähigkeit von kryogenen Oberflächen

(F. Chill, L. Bozyk, P. Spiller, O. Kester)

Die Qualität des Vakuums ist entscheidend für einen stabilen Betrieb von Schwerionen-Synchrotronen bei hohen Strahlintensitäten. Der Begriff dynamisches Vakuum bezieht sich auf den Druckanstieg, der bei Strahlbetrieb in Teilchenbeschleunigern auftritt. Er wird durch Strahlverluste ausgelöst, die eine Desorption von Gasparkeln aus den Wänden hervorrufen. Dies muss durch Pumpen so schnell wie möglich kompensiert werden, um das Vakuum niedrig genug für einen stabilen Strahlbetrieb zu halten. Dies kann durch den Einsatz von kryogenen Oberflächen-Pumpen erreicht werden. Diese Pumpfähigkeit kann mit zwei Parameter beschrieben werden, wobei beide von der Oberflächentemperatur und Bedeckung abhängen: Das Sticking, das die Wahrscheinlichkeit angibt mit der ein auftreffender Gasparkel gebunden wird und die mittlere Verweilzeit (MST), die die durchschnittliche Zeitspanne eines Teilchen auf der Oberfläche beschreibt.

Um diese Parameter zu bestimmen, wurde ein entsprechender Versuchsaufbau an der GSI aufgebaut (siehe Abbildung 4). Es besteht aus einer Kryokammer, gekühlt durch einen Kaltkopf

und einem warmen Bereich mit Vakuum-Diagnose und Gaseinlass. Der Aufbau ermöglicht die Überwachung der Pumpgeschwindigkeit und des Gleichgewichtsdrucks des kryogenen Bereichs, für den das Sticking und die MST bestimmt werden können. Die Messungen sind derzeit (Dezember 2014) im Gange. Bisher wurde eine minimale Temperatur von 7.7K erreicht. Die Ergebnisse werden verwendet, um die Genauigkeit der dynamischen Vakuum Simulationen (StrahlSim Code) in kryogenen Sektionen von Teilchenbeschleunigern weiter zu verbessern.



**Abbildung 4: Foto des Testaufbaus (links) und schematische Darstellung (rechts)**

#### 2.1.3.4 Druckmessung bei kryogenen Temperaturen

(M. Lotz, S. Wilfert, O. Kester)

Teilchenbeschleuniger müssen bei sehr niedrigen Vakuumdrücken betrieben werden, um die Wechselwirkung des Teilchenstrahls mit dem Restgas zu minimieren und dadurch eine hohe Strahllebensdauer zu erreichen. Das SIS100, das Herzstück des neuen FAIR-Projekts, erfordert beispielsweise ein Strahlvakuum mit einer Restgasteildichte von  $n < 3 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-3}$ , was einem Druck von  $p < 10^{-10} \text{ mbar}$  bei Raumtemperatur entspricht. Für Druckmessung in diesem Vakuumbereich werden in den meisten Fällen Glühkathodenionisationsmanometer verwendet. Diese Druckmessröhren besitzen allerdings den Nachteil, dass sie durch den Einsatz eines thermischen Filaments zur Erzeugung freier Elektronen einen hohen und in den meisten Fällen nicht tolerierbaren Wärmeeintrag in das Vakuumssystem einkoppeln, welcher das thermische Gleichgewicht stört und damit das Messergebnis verfälscht. Um diesen Nachteil zu umgehen wurde ein kommerziell erhältliches Glühkathodenionisationsmanometer vom Extraktortyp modifiziert. Sein thermisches Filament wurde entfernt und durch eine „kalte“ Elektronenquelle, deren Emissionsmechanismus auf dem Prinzip der Feldemission basiert, ersetzt. Damit eignet sich dieser modifizierte Extraktor auch für den Einsatz in kryogenen Vakuumssystemen, bei denen jede zusätzliche Wärmelast vermieden werden sollte.

Die Druckmessröhre mit Feldemissionskathode wurde intensiv bezüglich ihrer Messeigenschaften sowohl bei Raumtemperatur, als auch unter kryogenen Vakuumbedingungen getestet. Die Ergebnisse zeigen einen linearen Zusammenhang zwischen dem Ionenstromsignal der modifizierten Messröhre und dem mit einem herkömmlichen Extraktor gemessenen Druck im Bereich zwischen  $5 \cdot 10^{-9}$  und  $10^{-5} \text{ mbar}$ . Außerdem reagiert der gemessene Ionenstrom des modifizierten Extraktors bei tiefen Temperaturen deutlich

empfindlicher auf kleinste Restgasteilchendichteschwankungen als die Druckanzeige des Extraktors mit thermischem Filament.

### 2.1.3.5 Gepulste Quadrupol Linse

(C. Tenholt, U. Blell, I. Petzenhauser, P. Spiller, P. Hülsmann, O. Kester)

Bei den FAIR Maschinen werden gepulste Systeme für Injektion, Extraktion oder Strahltransport im Einsatz sein. Der Hochenergie-Strahltransport zwischen Synchrotronen, die mit sehr geringem Tastverhältnis gefahren werden sollten gepulst betrieben werden, was die Energie Effizienz deutlich steigern würde. Hier bieten sich für die starke Fokussierung kurzgepulste Quadrupolmagnete an. Ein entscheidender Unterschied zu herkömmlichen Magneten ist die Konstruktion der Linse ohne Eisenkern, so dass die Sättigung des Materials umgangen werden kann. Eine solche Quadrupollinse mit hohen Gradienten von bis zu 75T/m, die mit bis zu 400 kA gepulst werden kann, wurde entwickelt und steht für die ersten Magnettests bereit (siehe Abbildung 5). Mögliche Anwendungen bei FAIR sind der Transferkanal zwischen SIS18 und SIS100, sowie die finale Fokussierung bei der Produktion von Sekundärstrahlen. Da die hohen Gradienten die enorm hohen Ströme erfordern, wurde eine Schaltung entwickelt, die einen signifikanten Anteil der gepulsten Energie für den nächsten Puls zurückgewinnt.

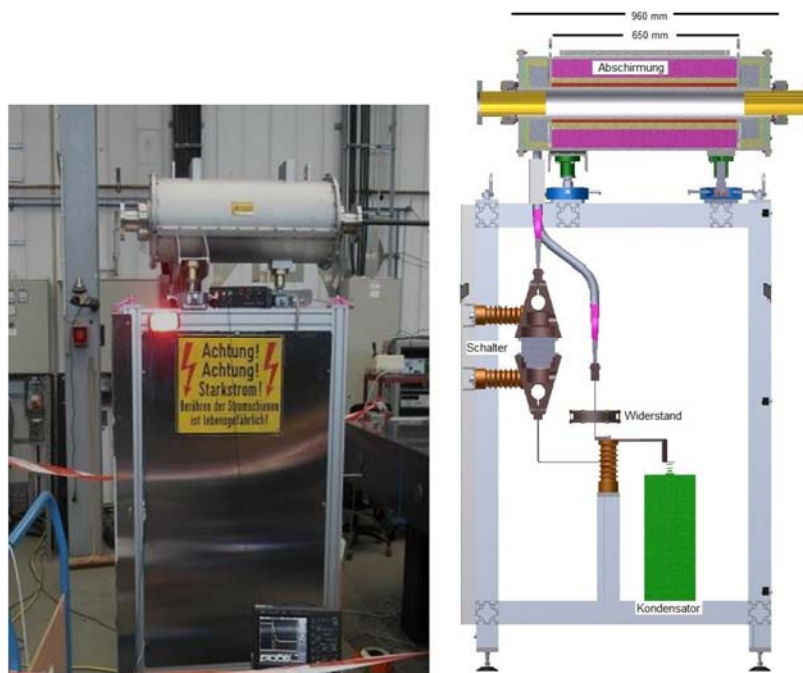


Abbildung 5: Foto und Design der gepulsten Quadrupollinse.

### 2.1.3.6 Timing von verteilten HF-Systemen

(J. Bai, D. Beck, O. Kester)

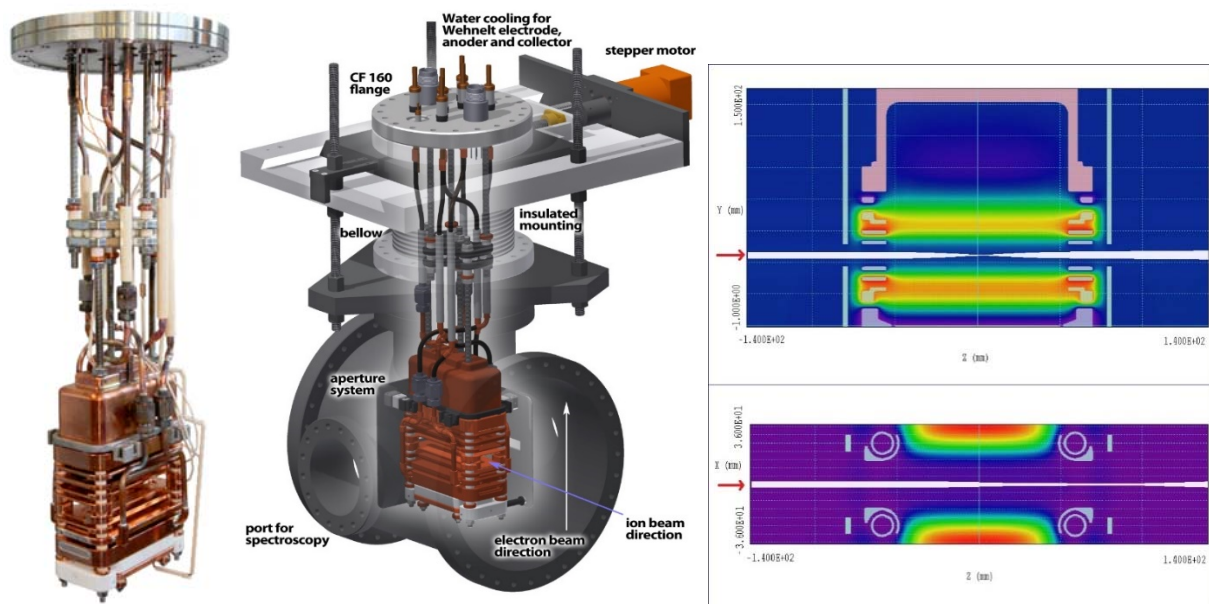
Die FAIR Beschleunigeranlage nutzt das General Machine Timing (GMT) System und das Bunchphase Timing System (BuTis) um zwei Maschinen zu synchronisieren. Um den Bunch zu Bucket Transfer durchzuführen, wird erstens die HF-Frequenz der Ausgangsmaschine auf dem Flattop verstimmt. Zweitens tauschen die Ausgangsmaschine und die Zielmaschine Datenpakete über das Timing Netzwerk kurz vor dem Transfer aus und nutzen die RF frequencybeat Methode, um eine Synchronisation der beiden Maschinen mit einer Genauigkeit von weniger als einem Grad zu erreichen. Die Datenpakete beinhalten HF-Frequenz, Zeitstempel des Null-Schnittpunkts des HF-Signals, die Harmonische Nummer und die Bunch/Bucket Position. So besitzen beide Maschinen alle Informationen voneinander und

können das Transferfenster berechnen und die entsprechenden Signale auslösen um die Kicker zu triggern.

#### 2.1.4. Elektronenstrahlen

(S. Geyer, J. Teschabai-Oglu, D. Ries und A. Langbein)

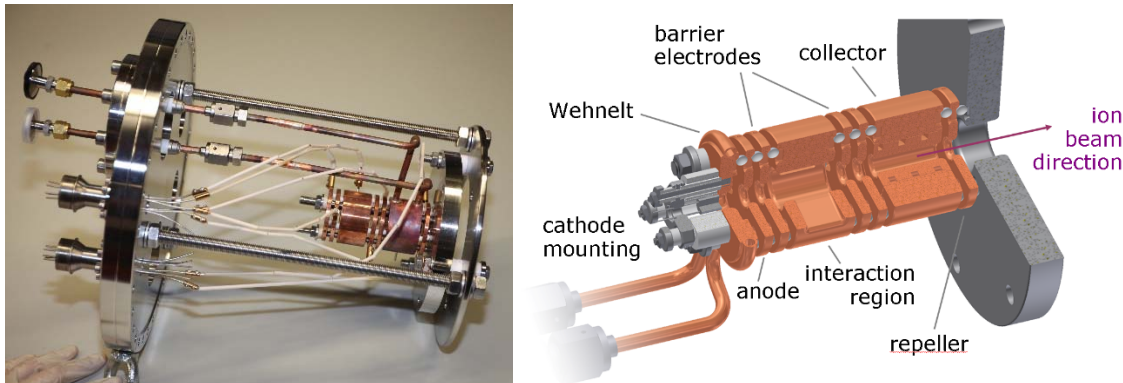
Zur Untersuchung von Elektronen-Ionen Stößen wurde im Rahmen einer Doktorarbeit ein transversales Elektronentargets entwickelt (Abbildung 6) und von der Institutswerkstatt gebaut. Das Target erzeugt einen Schichtstrahl freier Elektronen, der transversal mit einem Ionenstrahl gekreuzt wird. Durch sein offenes Design erlaubt es die optische Diagnose der Wechselwirkungsregion unter großen Raumwinkeln sowie die Spektroskopie von Photonen und Elektronen. Für erste Charakterisierungsmessungen wurde das Target in eine dedizierte elektrostatische Teststrahllinie eingebaut. Eine Bachelorarbeit beschäftigte sich mit der optischen Diagnose des Ionenstrahls in der Wechselwirkungsregion des Targets in Abhängigkeit von der Fokussierstärke des Transportkanals und dem Vergleich der Messungen mit numerischen Simulationen.



**Abbildung 6: Foto des Transversalen Elektronentargets (links) und schematische Darstellung (Mitte) und Fokussierverhalten eines Ionenstrahls im Elektronentarget (rechts).**

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde der strahloptische Einfluss des transversalen Elektronentargets auf den passierenden Ionenstrahl untersucht. Dazu wurden Simulationen mit dem 3D Code Amaze und dem Matrizencode Cosy Infinity durchgeführt unter Variation der Ionenstrahlparameter und der Elektronentarget-Einstellungen. Zudem wurde der Einfluss der Elektrodenpotentiale und des Raumladungspotential des Elektronenstrahls auf die Fokussierstärke des Targets bestimmt. Das Elektronentarget konnte in linearer Näherung durch Strahltransportmatrizen beschrieben und der Strahltransport der Teststrahllinie durch das Target optimiert werden. Im Rahmen der Doktorarbeit konnte das Elektronentarget erfolgreich in Betrieb genommen werden. Auf Grundlage der in den ionenoptischen Simulationen gewonnenen Ergebnisse wurde der Strahltransport der Teststrahllinie optimiert und erste Messungen zur Elektronenstoß-Ionisation durchgeführt. Neben dem Nachweis der im Target umgeladenen Ionen mittels Impulsspektrometer konnte in Messungen der ionenoptische Einfluss des Targets nachgewiesen werden. Der Einbau in den Frankfurter Low-energy Storage

Ring (FLSR) und/oder den bei GSI installierten CRYRING sind vorgesehen, um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Targets bei FAIR zu evaluieren.



**Abbildung 7: Foto der XEBIS (links) und schematische Darstellung (rechts).**

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde eine Crossover Electron Beam Ion Source (XEBIS) entwickelt (Abbildung 7), bei der durch elektrostatische Felder der Elektronenstrahl auf einen sogenannten Crossover-Punkt fokussiert wird, um die benötigten Strahlstromdichten zu realisieren. Systematische Studien der Elektronenstrahleigenschaften in Abhängigkeit von den verschiedenen Feldstärke-Konfigurationen wurden anhand von Simulationen durchgeführt und ihr Einfluss auf die Ionenproduktion und die Qualität des extrahierten Ionenstrahls untersucht. Zur Charakterisierung der XEBIS der Quelle wurde eine Teststrahllinie aufgebaut. Sobald die noch ausstehende Hardware vervollständigt ist, werden erste Messungen zur Performance der XEBIS durchgeführt. Dabei sollen die Ladungszustandsverteilung, erreichbare Ionenströme sowie die Strahlqualität jeweils in Abhängigkeit von verschiedenen Quellenparametern gemessen und mit den Ergebnissen der Simulationen verglichen werden. Die XEBIS wird nach Abschluss der Messungen der Teststrahllinie des Elektronentargets zur Verfügung stehen. Weiterhin ist geplant die Quelle im Fortgeschrittenenpraktikum des IAP zu nutzen, um den Studenten die Themen Hochladungionenquellen sowie Strahldiagnose zu vermitteln.

### 2.1.5. Laserbeschleunigung

*(C. Brabetz, V. Bagnoud, B. Zielbauer, O. Kester)*

Bei der laserbetriebenen Protonenbeschleunigung im Bereich des TNSA (target normal sheath acceleration) hat die Laserintensitätsverteilung auf dem Festkörpertarget einen wesentlichen Einfluss auf die Energie- und Phasenraumverteilung. Der beschleunigte Protonenstrahl weist einen großen Divergenzwinkel auf. Um diesen bis zu  $60^\circ$  großen Öffnungswinkel zu reduzieren, wurde die Formgebung der rückseitigen Elektronenschicht, mittels speziell geformter Laserstrahlen im Detail untersucht. Die spezielle Intensitätsverteilung kann mit speziell entworfenen spiralförmigen Phasenplattenrealisiert werden. Das Ergebnis ist ein ausgehohlter Fokuspunkt auf dem Target mit einem Intensitätsminimum in der Mitte. Daher war es notwendig die Ausbreitung eines solch speziellen Laserstrahls durch ein komplettes Lasersystem zu untersuchen und zu kontrollieren.

Es war das erste Mal, dass Experimente zu lasergetriebener Ionenbeschleunigung mit einem Hohlstrahl durchgeführt worden sind. Die experimentellen Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit den Simulationen. Verbesserungen der lasergetriebenen Ionenbeschleunigung mit geformten Laserstrahlen im Vergleich zu Gaußschen Laserprofilen konnten nachgewiesen werden. Die Divergenz des laserbeschleunigten Protonenstrahls konnte um ungefähr 10% reduziert werden. Es zeigte sich, dass die höchsten Protonenenergien bei Experimenten mit dem Hohlstrahl auftraten und  $34.6\text{MeV}$  überschritten. Auch die Abhängigkeit der Protonenenergie und des Divergenzwinkels von der Targetdicke konnten in einem Bereich von  $5\ \mu\text{m}$  bis  $20\ \mu\text{m}$  demonstriert werden.

## Literatur

- [1] *E. Gütlich et al.*, Scintillation screen studies for high dose ion beam applications, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 59, No. 5, pp. 2354, 2012
- [2] *E. Gütlich et al.*, Scintillation screen response to heavy ion impact, Conference Proceedings of IBIC 2013, MOPF14, 2013
- [3] *E. Gütlich*, PhD thesis, Abbildungseigenschaften von Szintillatoren für Schwerionenstrahlen und diesbezügliche Modellrechnungen, TU Darmstadt, Germany, 2011
- [4] *R. Gobin et al.*, Status of the light ion source developments at CEA/Saclay, Review Sci. Instrum., Vol.75, No.5, 1414, 2004

## 2.2 Beschleunigerphysik (AG Prof. Dr. H. Podlech)

### 2.2.1 Kurzbeschreibung der Arbeitsgruppe

Die Arbeitsgruppe Beschleunigerphysik beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung von HF-Resonatoren zur effizienten Beschleunigung von Protonen und Ionen. Dabei spielt die Entwicklung und Tests von supraleitenden CH-Kavitäten eine besondere Rolle. Diese Kavitäten sollen bei verschiedenen Projekten wie MYRRHA und dem GSI cw Linac zum Einsatz kommen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe ist die Weiterentwicklung der RFQ-Beschleuniger. Beispiele für aktuelle Entwicklungen sind der 325 MHz RFQ für den FAIR-p-Linac, FRANZ und der MYRRHA-RFQ.

Neben den HF-Strukturen beschäftigt sich die Arbeitsgruppe auch mit der Gesamtauslegung verschiedener Linearbeschleuniger. Als Beispiele seien hier der 17 MeV MYRRHA-Injektor und der Advanced Demonstrator bei der GSI genannt.

### 2.2.2 Entwicklung supraleitender CH-Kavitäten

*(M. Amberg, S. Aktas, M. Basten, E. Boos, M. Busch, R. Blank, D. Cöl, F. Dziuba, M. Fries, C. Lorey, D. Mäder, P. Mundine, H. Podlech, U. Ratzinger, M. Schwarz)*

In 2014 wurde nach der finalen Oberflächenpräparation die 325 MHz CH-Kavität im Frankfurter Kryolabor getestet. Bei  $T=4$  K konnten effektive Gradienten von bis zu 9 MV/m bei Güten von über  $10^9$  erreicht werden. Ein weiterer Test bei  $T=2$  K ergab Gradienten von über 14 MV/m, was elektrischen Spitzenfeldern von 70 MV/m entsprach. Damit wurden die Erwartungen an diese Struktur deutlich übertroffen (Abbildung 1). In einer weiteren Messung konnte die mechanische Langzeitstabilität der CH-Kavität gezeigt werden. Dazu wurde die Regelspannung des Kontrollsystems, die ein Maß für die Frequenzabweichung ist, über einen Zeitraum von 12 Stunden aufgezeichnet. Daraus ergibt sich die Verteilung der auftretenden Frequenzvariationen. Die Abbildung 2 zeigt die gemessene Verteilung der Regelspannung (links) und die daraus folgende Verteilung der Frequenzabweichungen. Dabei ergab sich ein hervorragender Wert von weniger als  $\pm 5$  Hz.

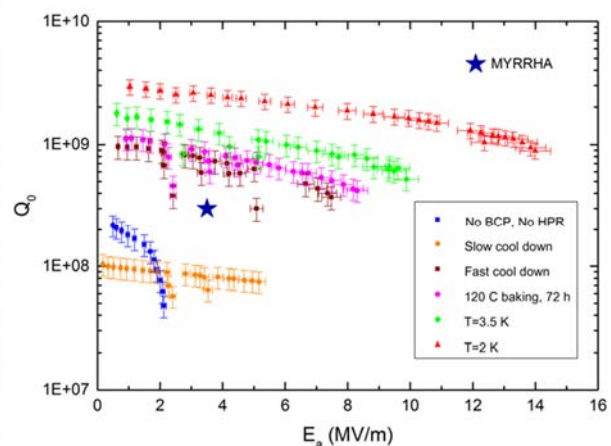
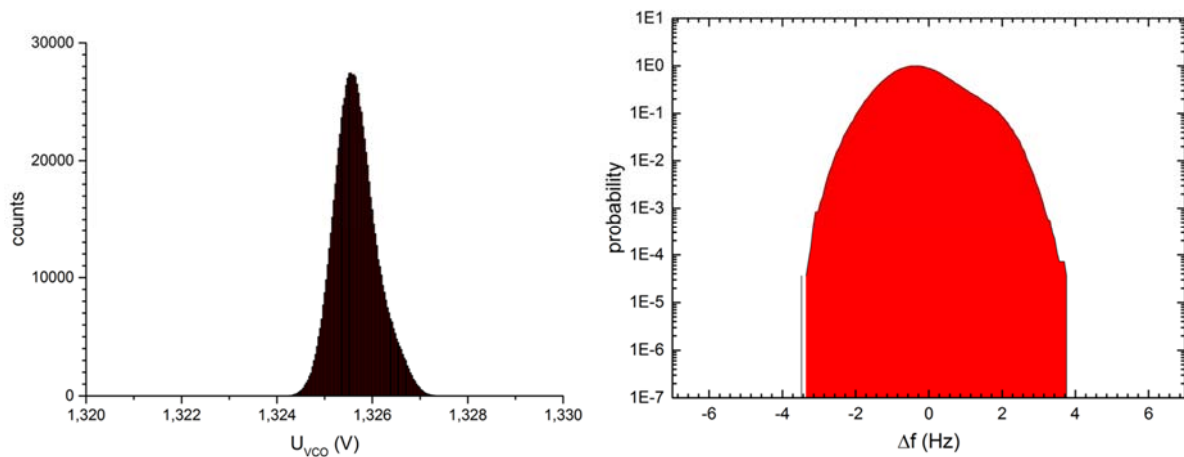


Abbildung 1: Foto der 325 MHz CH-Kavität (links) und verschiedenen Kaltmessungen zur Bestimmung des Gradienten (rechts).

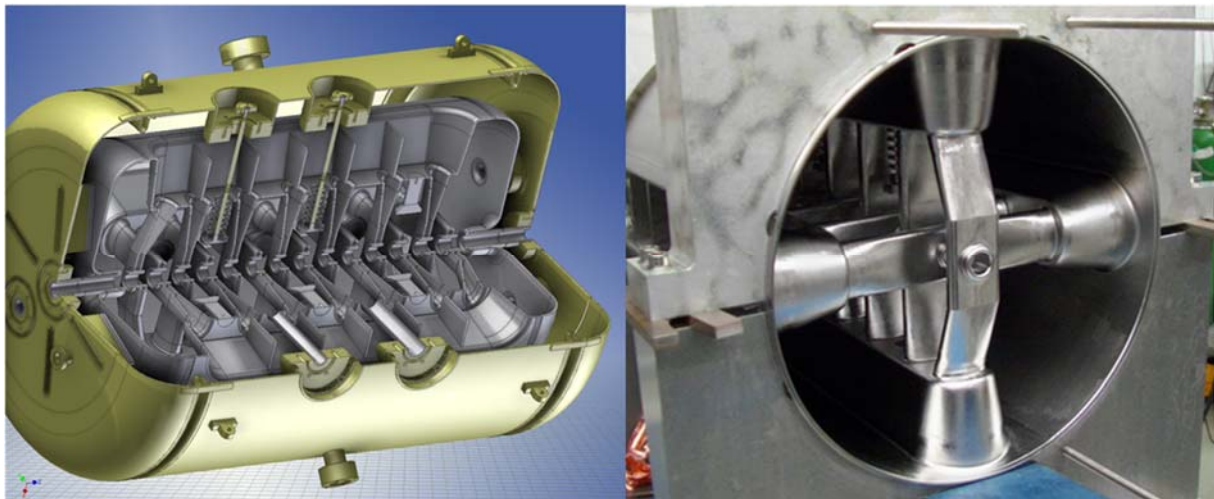




**Abbildung 2: Langzeitmessung (12 h) der Regelspannung (links) und Verteilungsfunktion für das Auftreten von Frequenzabweichungen im Falle der supraleitenden 325 MHz CH-Kavität.**

Parallel zur Entwicklung der eigentlichen HF-Struktur wurde ein 325 MHz koaxialer Leistungskoppler für Pulsleistungen über 40 kW entwickelt. Zurzeit befindet sich der Koppler-Teststand im Aufbau. Nach der Lieferung einer resonanten 325 MHz Last Anfang 2015 soll der Koppler konditioniert werden.

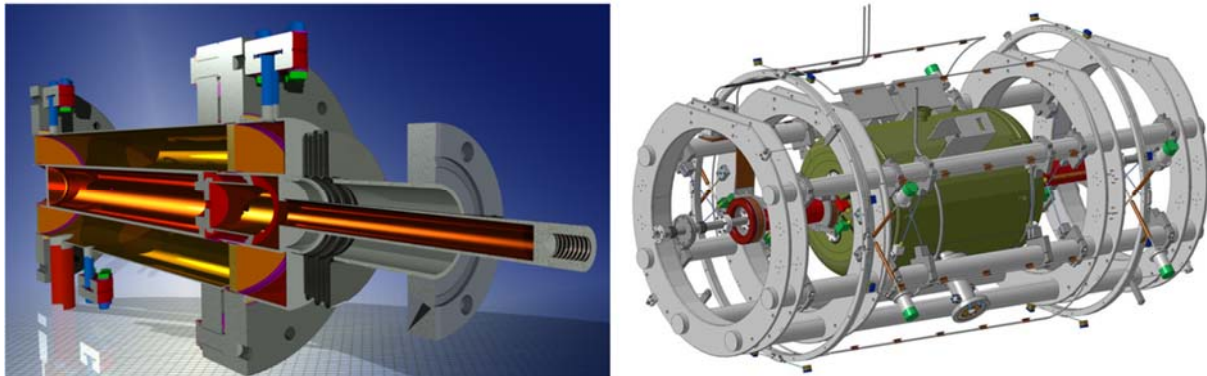
Zur Frequenzeinstellung unter kryogenen Betriebsbedingungen sowie zum Regeln der HF-Strukturen sind dynamische Tuner notwendig. Im Falle der supraleitenden CH-Kavität wurde ein neuartiger kapazitiv wirkender Balgtuner entwickelt. Mittels eines Schrittmotors kann der in die Kavität eingeschweißte Balg in der Länge um  $\pm 1$  mm verändert werden. Für die schnelle Frequenzregelung, z.B. hervorgerufen durch mechanische Vibrationen, wird ein Piezo verwendet. Ein erster Prototyp konnte erfolgreich im Warmen getestet werden.



**Abbildung 3: Schematische Darstellung der 217 MHz CH-Kavität für den cw Linac Demonstrator bei der GSI (links) und Foto der Struktur (rechts).**

Der cw-Linac Demonstrator ist der erste Schritt auf dem Weg zu einem supraleitenden Schwerionenlinac zur Untersuchung superschwerer Elemente bei der GSI. Der Demonstrator besteht aus einer 217 MHz CH-Kavität, zwei supraleitenden 9 T Solenoiden und einem horizontalen Kryomodul. Die 15-zellige CH-Kavität steht kurz vor der Fertigstellung und befindet sich im finalen Tuningprozess (Abbildung 4). Nach Hochfrequenztest im vertikalen

Kryostaten sind Strahltests bei der GSI geplant. Die Abbildung 5 zeigt den 217 MHz Koppler sowie den Space-Frame des neuen horizontalen Kryomoduls.



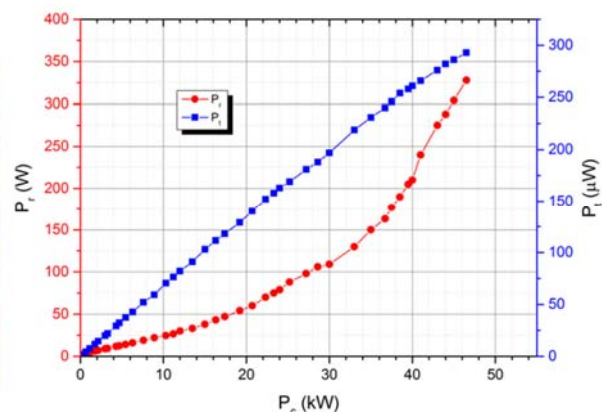
**Abbildung 4: 325 MHz, 40 kW Leistungskoppler (links) und Space-Frame des neuen horizontalen Kryomoduls (rechts).**

Eine weitere supraleitende CH-Kavität befindet sich gerade in der Ausschreibungsphase. Diese schließt sich hinsichtlich der Strahlenergie an die Kavität des Demonstrators an. Sie wird die erste Kavität des so genannten Advanced Demonstrators sein, der eine Strahlenergie von 6.5 AMeV liefern soll.

### 2.2.3 RFQ-Beschleuniger

*(H. Podlech, A. Schempp, M. Vossberg, C. Zhang, B. Koubek, J. Schmidt, M. Obermayer, P. Müller, P. Schneider, M. Baschke, M. Syha)*

In 2014 konnte äußerst erfolgreich ein 175 MHz Prototyp 4-Rod RFQ am IAP getestet werden. Diese HF-Struktur wurde hinsichtlich Shuntimpedanz und Kühlung optimiert, um bei höchsten Leistungspegeln betrieben werden zu können. Es ist ein Prototyp für den FRANZ und den MYRRHA-RFQ. Es konnten spezifische Leistungen von bis zu 130 kW/m in den RFQ eingekoppelt werden. Damit konnte der bisherige Bestwert für einen dauerstrich-betriebenen 4-Rod-RFQ um den Faktor 2,5 verbessert werden. Als Leistungstreiber diente der 300 kW FRANZ-Verstärker. Die Abbildung 5 zeigt ein Foto des Prototyps sowie das Ergebnis der Hochleistungstests. Die blaue Kurve stellt die eingekoppelte Leistung in kW dar, die rote Kurve zeigt die Reflexion in W. Die erreichten Werte liegen bei dem Doppelten der für den Betrieb von FRANZ erforderlich sein wird.



**Abbildung 5: Foto des 175 MHz 4-Rod RFQ-Prototyps (links) und Ergebnis der Hochleistungstests (rechts).**

## 2.3 Beschleunigerphysik (AG Prof. Dr. U. Ratzinger)

### 2.3.1 Kurzbeschreibung der Arbeitsgruppe

Im Schwerpunkt „Entwicklung von Beschleunigerresonatoren“ wird die normalleitende Version der CH – Driftröhrenstruktur für unterschiedliche Anwendungsfälle optimiert. Aktuell ist die detaillierte Auslegung des 20 m langen Protonenlinac für GSI-FAIR auf Basis der CH – Struktur ein Schwerpunkt. Weiterhin ist eine Hochfeldkavität im Aufbau, welche effektive mittlere Beschleunigungsfelder deutlich oberhalb von 10 MV/m erreichen soll. Außerdem wird der Betrieb von kryogenen Resonatoren bei einer Betriebstemperatur um  $-210\text{ °C}$  untersucht, um bei kurz gepulsten Beschleunigern höhere Beschleunigungsfelder bei kleinerem Gesamtleistungsverbrauch zu erreichen.

Der Bereich „Strahldynamik“ beschäftigt sich derzeit mit der Entwicklung komplexer Simulationsprogramme, bei denen z.B. eine möglichst realitätsnahe Erzeugung von Elektronen durch Wechselwirkung des Strahls mit Restgas oder Wänden, sowie deren Raumladungsfeld in die Rechnungen einbezogen wird. Weiterhin werden konkrete Auslegungen vorgenommen – gegenwärtig insbesondere im Zusammenhang mit Upgrade- und Neubaumaßnahmen am GSI-Schwerionenbeschleuniger Unilac.

Ein Hauptprojekt im eigenen Haus ist weiterhin der Aufbau der Neutronenquelle FRANZ, hier wird der Hauptbeschleunigerabschnitt gegenwärtig fertig gestellt und zum Einbau vorbereitet.

Untersuchungen zu einem neuartigen Niederenergiespeicherring werden mittels Theorie, Simulation und einem Experimentieraufbau weiter vorangetrieben.

Einige Arbeiten werden im Folgenden kurz dargestellt.

### 2.3.2 Mitwirkung der Arbeitsgruppen des IAP am GSI UNILAC Upgrade Programm

*(U. Ratzinger, H. Podlech, A. Almomani, M. Baschke, M. Droba, H. Hähnel, D. Noll, K. Schulte, R. Tiede, Q. Yan, IAP Frankfurt)*

Das UNILAC Upgrade Programm hat eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Linearbeschleunigers im Hinblick auf die Anforderungen der FAIR Anlage zum Ziel. Insbesondere muss der derzeit verfügbare  $U^{28+}$  UNILAC-Ausgangsstrom um fast eine Größenordnung erhöht werden, bei gleichzeitiger Verbesserung der transversalen Emittanz.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde Ende 2013 eine enge Zusammenarbeit zwischen den entsprechenden Fachgruppen an GSI und IAP beschlossen und in Form von Arbeitspaketen strukturiert. Im vorliegenden Berichtszeitraum fanden im Einzelnen folgende Aktivitäten statt:

LEBT / Compact LEBT *(K. Schulte, M. Droba, D. Noll)*

- Benchmarking-Simulationen des bestehenden LEBT unter Verwendung der am IAP entwickelten Programme.
- Ein IAP-Vorschlag für eine dedizierte Uran-Beamline („Compact LEBT“) basierend auf Fokussierung mittels Gaborlinsen.

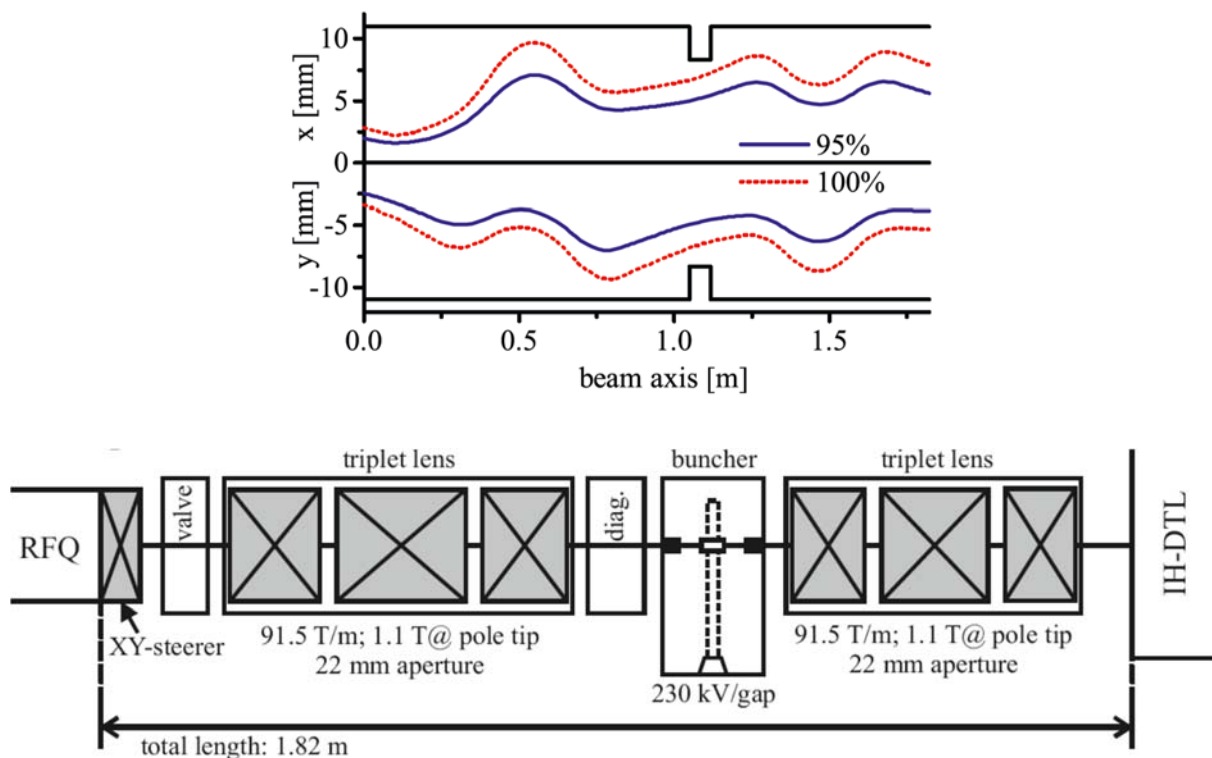
RFQ Upgrade *(M. Baschke, H. Podlech, U. Ratzinger, C. Zhang(GSI))*

- Änderung des Elektrodendesigns, um die Spannungsfestigkeit zu erhöhen.
- Überprüfung der Auswirkungen des neuen Designs auf die RFQ-Strahldynamik. MEBT *(H. Hähnel, U. Ratzinger, R. Tiede)*

- Entwurf eines alternativen, „konventionellen“ MEBT Designs bestehend aus Quadrupol-Linsen und einer Buncher-Kavität, als Ersatz für die vorhandene „Superlinse“. LASEP *(M. Droba, Q. Yan)*

- Simulation der Ladungsseparation und des Einflusses der Raumladungskompensation unter Verwendung der am IAP entwickelten Programme (z.B. des LASIN – 3D PIC Codes).
- Genaue Modellierung der LASEP-Dipole zur Unterstützung der Strahldynamik-Simulationen. Poststripper (*H. Hähnel, U. Ratzinger, R. Tiede, A. Almomani*)
- Strahldynamik-Auslegungen basierend auf das KONUS-Konzept und auf H-Mode Kavitäten, als Ersatz für den Alvarez UNILAC-Hauptbeschleuniger.
- Design und Fertigstellung einer Prototypkavität mit bis zu 10 MV/m Beschleunigungsgradient für den Einsatz im Energiebereich ab 11,4 A MeV.

Exemplarisch für die zahlreichen, vorstehend genannten Aktivitäten wird in der Abbildung 1 der Entwurf der neuen Pre-Stripper-MEBT gezeigt. Diese wurde von den GSI-Verantwortlichen positiv begutachtet und als anstehende Maßnahme offiziell im Zeitplan für das UNILAC-Upgrade Programm aufgenommen.



**Abbildung 1: Entwurf einer neuen MEBT für den GSI UNILAC Pre-Stripper.**

### 2.3.3 Entwicklung eines 325 MHz Ladder RFQ

(*M. Schütt, U. Ratzinger, D. Bänsch, IAP Frankfurt, R. Brodhage, GSI Darmstadt*)

Zur Protonenlinearbeschleunigung wählt man am Einschuss überwiegend Hochfrequenz-Quadrupolbeschleuniger (RFQ) mit Frequenzen oberhalb von 300 MHz. IAP hat lange Erfahrung im Aufbau der 4-Rod-RFQ für Frequenzen bis zu 220 MHz. Bei dem jetzt verfolgten Vorhaben soll die 4-Rod-Bauweise für hohe Betriebsfrequenzen als sogenannte Leiter-RFQ realisiert werden. Es erscheinen damit Frequenzen bis 650 MHz hinauf bequem erreichbar zu werden.

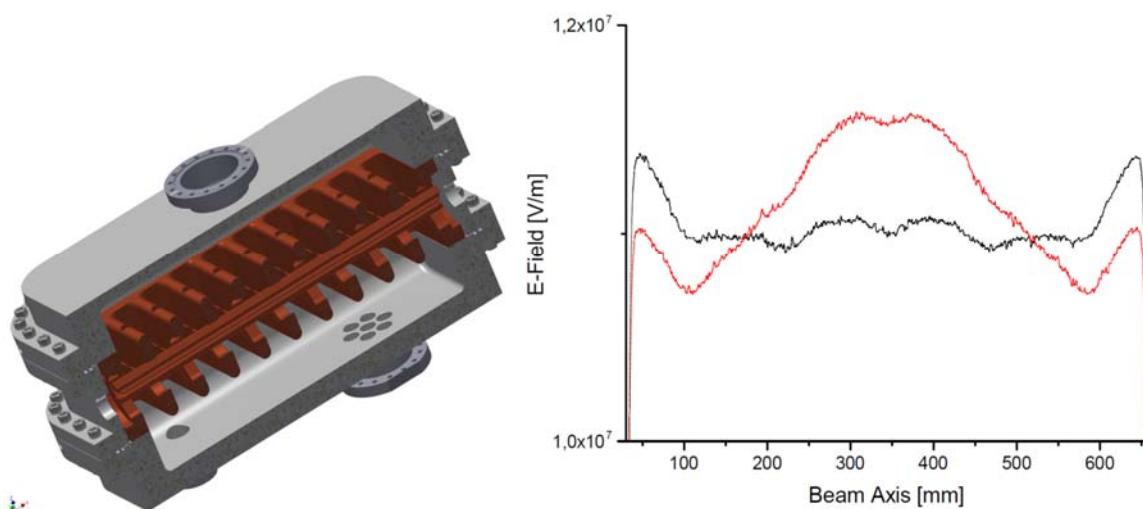
Eine Prototypkavität (Abbildung2) befindet sich gegenwärtig im Aufbau und steht im kommenden Jahr für Leistungstests am GSI – Teststand bereit. Es werden unterschiedliche Oberflächenpräparationen getestet. Eine erste Anwendung könnte der 70 mA, 325 MHz

Protonen-RFQ für den FAIR-Protoneninjektor sein, welcher bei nur 0.8 Promille Tastverhältnis keine hohen Anforderungen an die Kühlung stellt und daher als Einstiegsfall für eine neue Struktur sehr gut geeignet wäre:

Wichtige Vorteile des Leiter-RFQ sind die hohe Feldqualität (vernachlässigbare Dipolkomponente auch bei hohen Frequenzen), die gute Modenseparation und die Herstellung, welche verglichen mit einem 4-Vane RFQ erheblich einfacher und kostengünstiger ist.

Nach den ersten erfolgreichen Simulationen wurde vom BMBF die Entwicklung eines 325 MHz Leiter- RFQ bewilligt. In den Simulationen wurde die Geometrie vor Allem hinsichtlich einer konstanten elektrischen Feldverteilung optimiert. Die Enden der Kavität mussten dafür entsprechend angepasst werden. Des Weiteren wurden mögliche Varianten des Frequenztunings untersucht. Hierfür werden nun induktiv wirkende Tuner verwendet. Ebenso musste eine Möglichkeit gefunden werden, die Feldverteilung anpassen zu können. Bei den Untersuchungen zeigte sich hierbei, dass es ausreichend ist, die Breite der ersten und letzten drei Zellen der Leiterstruktur anzupassen.

Der RFQ wurde im März in Auftrag gegeben, so dass im Mai alle Vorprüfunterlagen angefertigt waren und die Fertigungsfreigabe erteilt werden konnte. Die Werksabnahme soll laut Hersteller im Dezember 2014 erfolgen. Im nächsten Jahr werden die ersten Messungen durchgeführt. Zunächst werden die Frequenz und der Verlauf des elektrischen Feldes auf der Strahlachse geprüft, um diese in einer zweiten Bearbeitung mit dem Hersteller auf den gewünschten Wert zu optimieren. In der zweiten Jahreshälfte sind nach der Verkupferung die ersten Leistungstests an dem 3 MW Klystron der GSI geplant.



**Abbildung 2:** Links: Isometrische Ansicht des Ladder-RFQs. Im Inneren sind die Kupferhälften, welche die Ringe mit den Elektroden tragen, zu sehen. Der äußere Tank besteht aus drei zwei Schalen oben und unten, sowie einem Mittelteil aus Stahl. Rechts: In rot ist die elektrische Feldverteilung ohne Optimierung zu sehen. Nach Anpassung der Kupferhälften sinkt der relative Unterschied des E-Feldes auf unter 5 % (s. schwarze Verteilung).

### 2.3.4 Auslegung und Aufbau einer Hochfeld-CH-Struktur

(A. Almomani, U. Ratzinger, D. Bänsch, IAP Frankfurt)

Bei kurz gepulsten Linearbeschleunigern kann die Effizienz der Anlage oft durch Wahl maximal erreichbarer Beschleunigungsfelder optimiert werden, da der mittlere Leistungsverbrauch der Hochfrequenzversorgung nicht ins Gewicht fällt. Für solche Fälle wird gegenwärtig ein 325 MHz Testresonator aufgebaut und untersucht. Es sollen effektive mittlere Beschleunigungsfelder deutlich über 10 MV/m erreicht werden, für Teilchengeschwindigkeiten im Bereich 5% bis 30% Lichtgeschwindigkeit.

Ein entsprechender Resonator wurde aufgebaut (Abbildung 3), gegenwärtig werden erste Prüfmessungen durchgeführt, bevor dann zwei verschiedene, galvanisch aufgetragene Verkupferungsmethoden sowie verschiedene Oberflächenpräparationen auf Hochfeldtauglichkeit geprüft werden. Die Leistungstests werden am GSI-Testplatz durchgeführt.

In weiteren Studien soll dann der Gütewert bei kryogenen Temperaturen (flüssiger Stickstoff) gemessen werden, um den erwarteten Einfluss des anomalen Skineffekts bei diesen Betriebsfrequenzen besser einschätzen zu können. Bei sehr kleinen mittleren Verlustleistungen könnte ein Linearbeschleuniger evtl. wirtschaftlich bei solchen Temperaturen betrieben werden.



**Abbildung 3: 325 MHz Hochfeldkavität vor dem Verkupfern.**

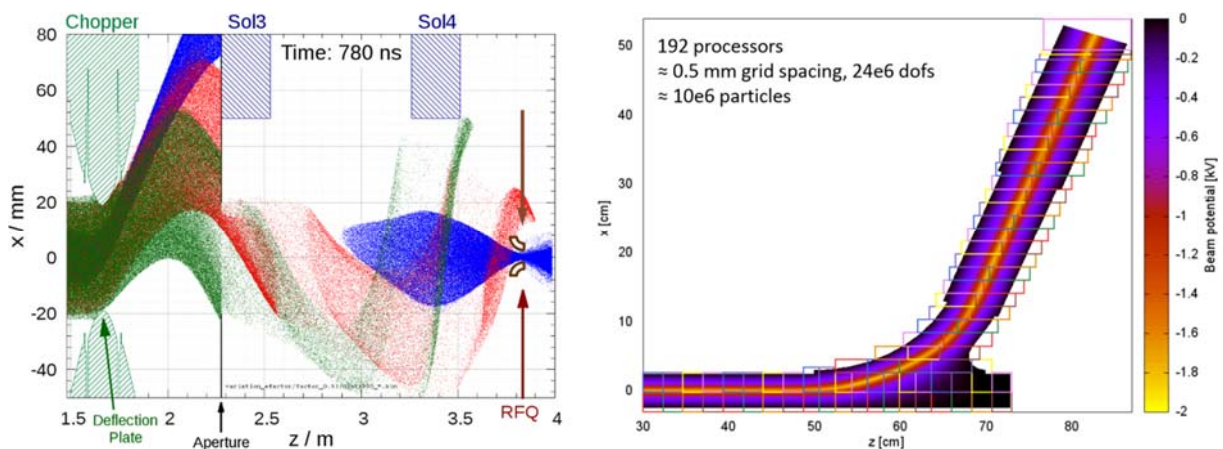
### 2.3.5 Entwicklung des Particle-in-Cell Codes bender

(D. Noll, M. Droba, O. Meusel, K. Schulte, C. Wiesner, U. Ratzinger, IAP Frankfurt)

Particle-in-Cell ist eine weitverbreitete Methode zur Untersuchung von „strahldynamischen“ sowie generellen plasmaphysikalischen Fragestellungen. Ein neuer Code – bender – wurde entwickelt. Geschrieben in C++ und parallelisiert unter Verwendung von MPI ermöglicht er Simulationen auf gewöhnlichen Arbeitsrechnern bis zu hunderten von Prozessoren im Clusterverbund. Neben vielfältigen Ausgabemöglichkeiten und einer flexiblen Eingabe, wurden mehrere Poissonsolver unter Verwendung verschiedener Methoden (3d finite Differenzen, 2d r-z finite Differenzen, 3d Fast Fourier) implementiert und getestet (Abbildung 4).

Einige der „Hauptanwendungen“ sind:

- Simulation der Dynamik von Kompensationselektronen und Restgasionen in niederenergetischen Ionenstrahlen. Hierfür wurde ein Modell für Protonen- wie auch Elektronenstoßionisation unter Verwendung von theoretischen bzw. gemessenen einfach differentiellen Wirkungsquerschnitten implementiert.
- Für das Fermi National Accelerator Laboratory wurde eine Vielzahl an Simulationen einer Elektronenlinse für den Integrable Optics Test Accelerator (IOTA) angefertigt. Unter Verwendung von bender wurde der Transport des 1.7 A, 5 keV Elektronenstrahles in Magnetfeldern von 100-330 mT untersucht. Die berechneten Potentialverteilungen dienen dann als Eingabe für Untersuchungen zum Langzeitverhalten des zirkulierenden Strahles.
- Strahlinjektion in den Figure-8-Speicherring.
- Design und Optimierung des E×B-Choppers, welcher an „FRANZ“ eingesetzt wird.



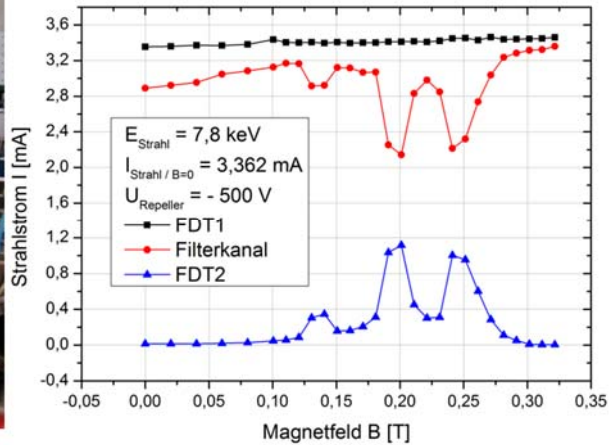
**Abbildung 4: Anwendungen von bender. Links: Choppersimulation bei t=780 ns. Rechts: Hochauflösende Simulation der Elektronenlinse für IOTA mit Prozessoraufteilung.**

### 2.3.6 Entwicklung eines Hochstrom-Ionenspeicherrings - F8SR

(A. Ates, M. Droba, O. Meusel, H. Niebuhr, D. Noll, J.F. Wagner, U. Ratzinger, IAP Frankfurt)

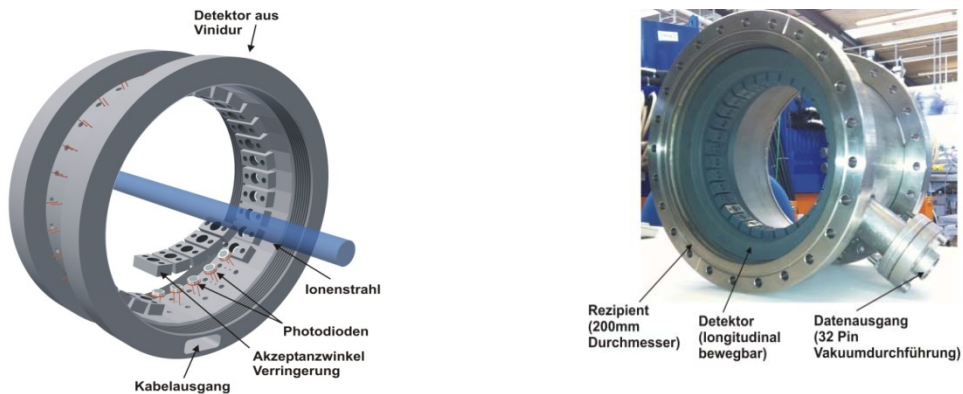
Im Bereich der experimentellen Erforschung des F8SR Projekts wurde ein zweiter Injektor samt Hochspannungsterminal in Betrieb genommen sowie ein neuartiges Filtersystem entwickelt und untersucht. Bei dem Filtersystem handelt es sich um einen Kanal bestehend aus einem Driftrohr und einem Flansch mit einer Apertur am Ende des Rohrs. Mittels eines davor befindlichen Solenoids wird der Brennpunkt der gewünschten Ionenspezies in der Apertur positioniert. Dadurch kann diese Spezies durch den Kanal transportiert werden, während die weiteren im Strahl befindlichen Spezies im Kanal verloren gehen. Durch die isolierte Aufhängung des Kanals besteht zusätzlich die Möglichkeit den Verluststrom im Kanal zu messen und somit Rückschlüsse auf die Strahlzusammensetzung des Ausgangsstrahls zu tätigen.

Mittels der zweiten Ionenquelle und diesem neu entwickelten Filtersystem besteht im weiteren Verlauf die Möglichkeit die seitliche Injektion in die toroidalen Magnetfelder zu erforschen. Dazu wird im nächsten Schritt des Projekts ein Injektionssystem entwickelt und aufgebaut, um die experimentelle Erforschung der Physik des F8SR weiterzuführen.



**Abbildung 5: Links: Eingebauter und angeschlossener Filterkanal mit zugehörigem Solenoid Rechts: Messung und Filterung eines Wasserstoffionenstrahls mittels Filterkanal.**

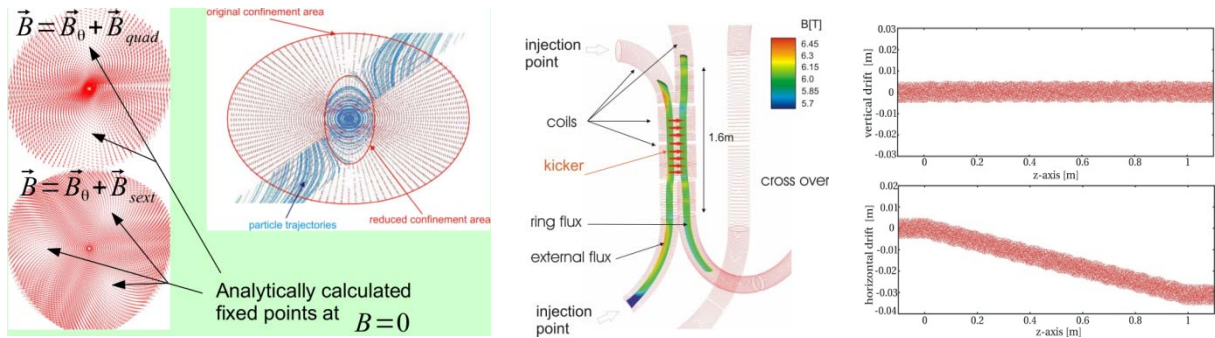
Der zerstörungsfreie Photodioden-Detektor, welcher insbesondere für den Einsatz in starken Magnetfeldern entworfen wurde, ist weiterentwickelt worden. Ein automatisiertes Datenerfassungssystem, was die analogen Signale in digitale Signale umwandelt und innerhalb von Millisekunden auf dem Computer ausgibt, wurde erfolgreich getestet. Die Position und der Durchmesser des Ionenstrahls konnten in zahlreichen Experimenten innerhalb von einigen Sekunden erfasst und ausgewertet werden.



**Abbildung 6: Bilder des Photodioden-Detektors, links als Zeichnung, rechts eingebaut in einem Diagnostetank.**

Die Simulationsstudien für das supraleitende Spulendesign beschäftigten sich mit dem Injektionskonzept und Feldfehlern. Zum einen wurde die Überlagerung von Multipolmagnetfeldern mit dem longitudinalen Magnetfeld untersucht, wobei stabile Transportbereiche gefunden wurden.





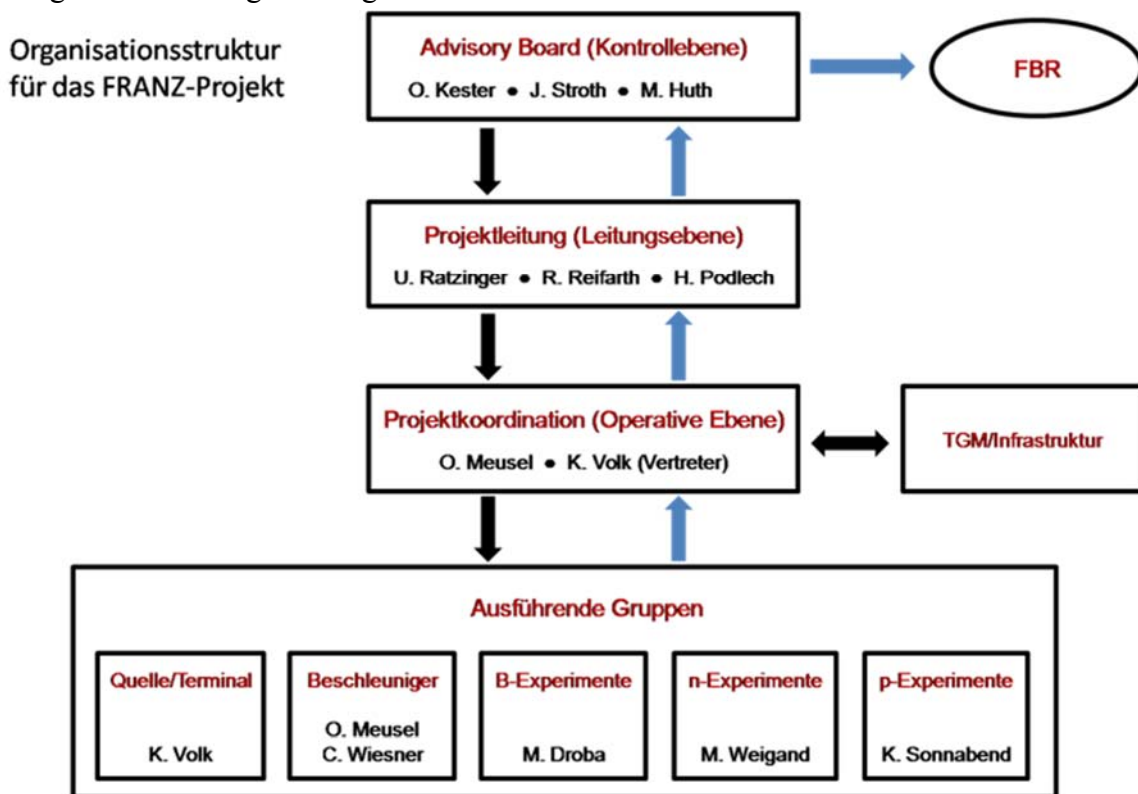
**Abbildung 7: Links: Multipolfehler-Simulationen; Mitte: Injektionssystem. Rechts: Kicker – Abschätzung der Strahleinlenkung über ExB – Drift.**

Des Weiteren wurde ein Injektionskanal in Form einer hyperbolischen Spirale als erste Studie zur Kompensation unerwünschter Gyration und Driften simuliert. Zur Gesamtheit des Injektionssystems ist ein Kickerkonzept abgeschätzt worden, welches den Shift eines eingespeisten Strahls hin zur umlaufenden Strahlachse mittels gekreuzter elektrischer und magnetischer Felder übernimmt.

### 2.3.7 Frankfurter Neutronenquelle – FRANZ

(M. Basten, C. Claessens, H. Dinter, C. Fix, M. Heilmann, T. Kanessue, B. Klump, M. Lotz, D. Mäder, D. Maiberger, D. Noll, T. Nowotnick, O. Meusel, H. Podlech, O. Payir, U. Ratzinger, H. Reichau, R. Reifarth, A. Schempp, S. Schmidt, M. Schwarz, P. Schneider, W. Schweizer, A. Seibel, K. Volk, C. Wagner, C. Wiesner)

Es wurde im Berichtszeitraum eine neue Organisationsstruktur etabliert. Einvernehmlich konnten dadurch die Kompetenzen festgelegt werden und für die Zukunft Entscheidungskaskaden für nutzungsrelevante Fragestellungen installiert werden.



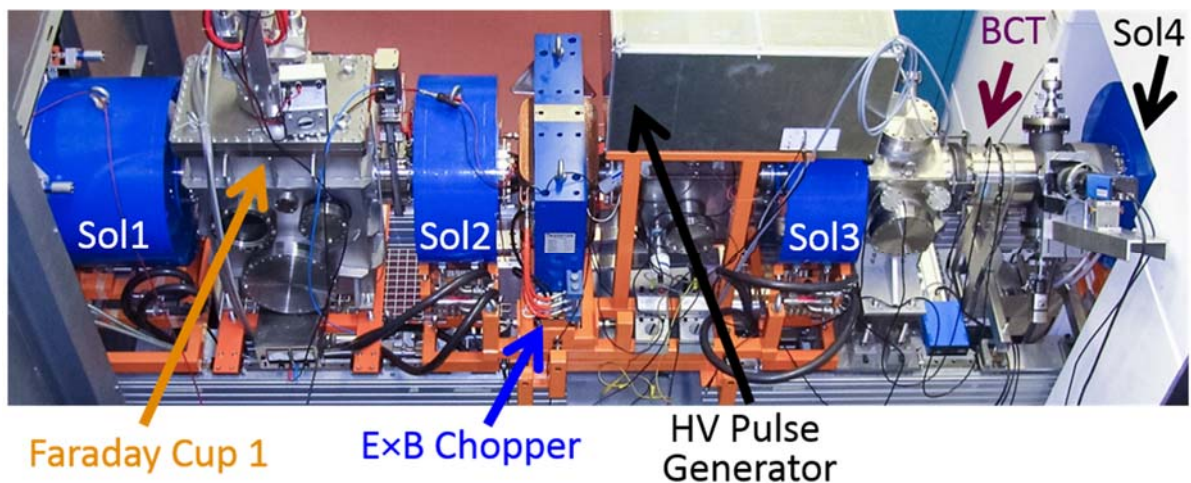
**Abbildung 8: Organigramm für das FRANZ-Projekt.**

Zur Steuerung und Kontrolle der Funktionalität des Beschleunigers und der Experimente wurde der Hauptkontrollraum in der Experimentierhalle fertig gestellt. Hier können aber auch Gespräche und Diskussionen der beteiligten Wissenschaftler stattfinden.



**Abbildung 9: Blick in den FRANZ-Kontrollraum.**

Die **Niederenergietransportsektion** (Low-Energy Beam Transport, LEBT) ist der erste Abschnitt beim FRANZ-Projekt, der komplett fertiggestellt und einsatzbereit ist. Sie wurde im Jahr 2013 eingemessen, aufgebaut und mit einem 14 keV Heliumstrahl und niedrigen Strahlströmen in Betrieb genommen. Eine Übersicht der LEBT-Sektion ist in Abbildung 10 gezeigt. Vier Solenoide werden zur transversalen Strahlfokussierung verwendet. Im Zentrum der Sektion prägt ein Chopper dem Strahl eine Zeitstruktur auf. Dazu wird ein neuentwickelter, sogenannter E×B-Chopper eingesetzt. Er kombiniert ein gepulstes elektrisches Feld mit einem statischen magnetischen Feld in einer Wien-Filter-Feldanordnung. Das E×B-Konzept verbindet die Vorteile magnetischer Strahlablenkung, d.h. zuverlässiger Ablenkung ohne das Risiko von Spannungsdurchbrüchen auch bei hohen Strahlintensitäten, mit den Vorteilen eines elektrischen Kickers, d.h. geringem Leistungsbedarf auch bei hohen Wiederholraten.



**Abbildung 10: Übersicht der Niederenergietransportsektion von FRANZ, inklusive Solenoiden, E×B-Chopper und schnellem Strahltransformator (*Beam Current Transformer*, BCT).**

Nach der numerischen Untersuchung und technischen Auslegung wurde der Chopper erfolgreich mit einem 14 keV, 3,5 mA Helium-Strahl in Betrieb genommen. Strahlpulse mit Wiederholraten von 257 kHz und Anstiegszeiten von 120 ns konnten experimentell erreicht werden (Abbildung 11). Die Anforderungen an den Betrieb in der zukünftigen FRANZ-Anlage konnten damit erfüllt werden.

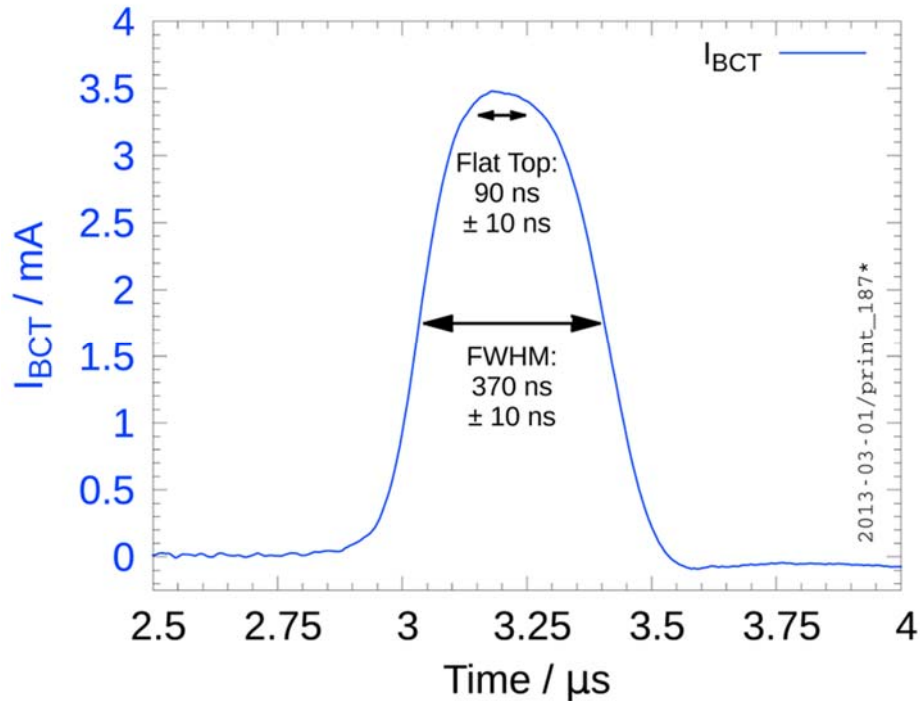


Abbildung 11: Gemessener 14 keV-Helium-Strahlpuls.

## 2.4 Beschleunigerphysik (AG Prof. Dr. A. Schempp)

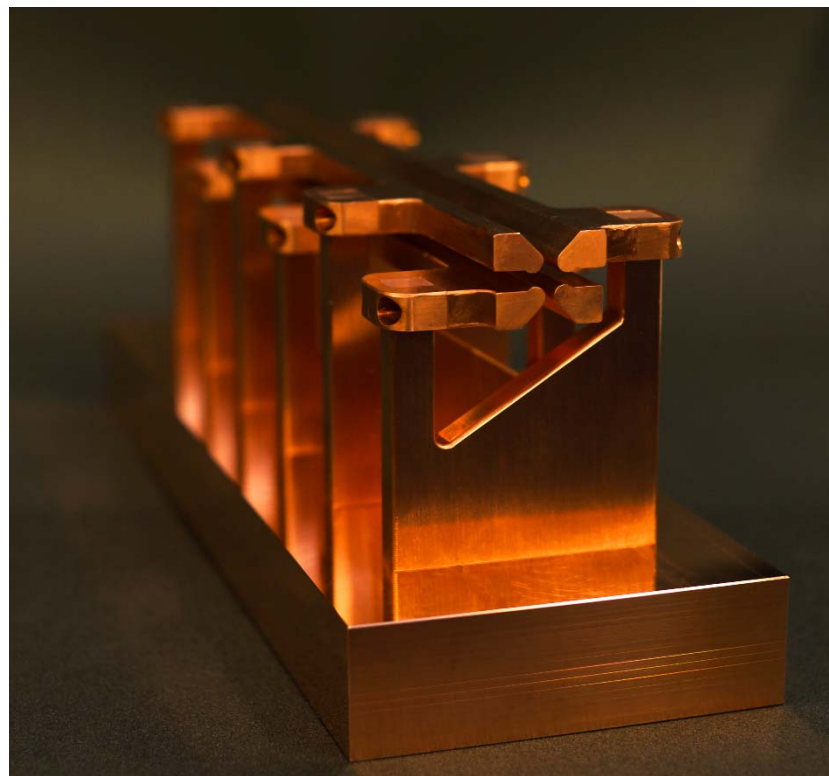
Die Arbeitsgruppe bearbeitet das Gebiet der Erzeugung und Beschleunigung von Ionen. Schwerpunkte sind RFQ-Beschleuniger für die verschiedensten Anwendungen von Protonen bis zu Uran, radioaktiven Strahlen und Molekülen für feste und variable Energie.

(U. Bartz, M. Baschke, B. Koubek, J. Schmidt)

### 2.4.1 325 MHz RFQ für den FAIR Protonenlinac

(B. Koubek, H. Podlech, A. Schempp)

Für den Protonenlinac des FAIR Projekts an der GSI Darmstadt wird ein RFQ-Beschleuniger benötigt. Dieser soll Protonen von 95 keV auf 3 MeV bei einer Betriebsfrequenz von 325 MHz beschleunigen. Ziel einer Doktorarbeit (Dr. B. Koubek) war die Untersuchung zur Realisierbarkeit eines 325 MHz 4-Rod RFQ Beschleunigers. Die Frequenz von 325 MHz stellt eine ungewöhnlich hohe Betriebsfrequenz für die 4-Rod Struktur dar und wird z.B. für den Protonenlinac des FAIR Projektes benötigt. Ein Problem hierbei war, dass durch die bauartbedingten unsymmetrischen Elektrodenaufhängung und der hohen Frequenz ein, das Quadrupolfeld überlagerndes, Dipolfeld erzeugt wird. Dieses störende Feld kann z.B. zu einem Versatz der Strahlachse führen. Hierzu wurde die 4-Rod Struktur in Simulationen grundlegend auf Einflüsse von verschiedenen Parametern auf die Resonanzfrequenz und das Dipolfeld untersucht. Es wurden Lösungsstrategien erarbeitet, das Dipolfeld zu kompensieren und diese



**Abbildung 1: Prototyp eines 325 MHz 4-Rod RFQ-Beschleunigers.**

auf einen Prototyp angewendet. Zudem wurde das Verhalten höherer Schwingungsmoden dieser Struktur simuliert. In diesem Rahmen wurden auch Simulationen zu Randfeldern zwischen den 4-Rod Elektroden und der Tankwand untersucht, um nachteilige Effekte für die Strahlqualität auszuschließen. Basierend auf den Simulationsergebnissen wurde ein Prototyp angefertigt (Abbildung 1). Dieser Prototyp wurde zur Demonstration der Betriebseigenschaften mit Leistungen bis 40 kW getestet. Hierbei wurde die Elektrodenspannung mittels

Gammaspektroskopie bestimmt und daraus die Shuntimpedanz berechnet. Diese Werte wurden mit anderen Methoden der Shuntimpedanz-Bestimmung verglichen. Außerdem wurden alternative RFQ Resonatorkonzepte ebenfalls auf ihre Realisierbarkeit für den Protonenlinac untersucht. Die Einflüsse verschiedener Parameter auf die Betriebsfrequenz, die Möglichkeiten des Frequenz-tunings und der Einstellung der longitudinalen Spannungsverteilung gefertigter Modelle wurden einander gegenübergestellt.

#### **2.4.2 Tuning und Optimierung der Feldverteilung in 4-Rod RFQs**

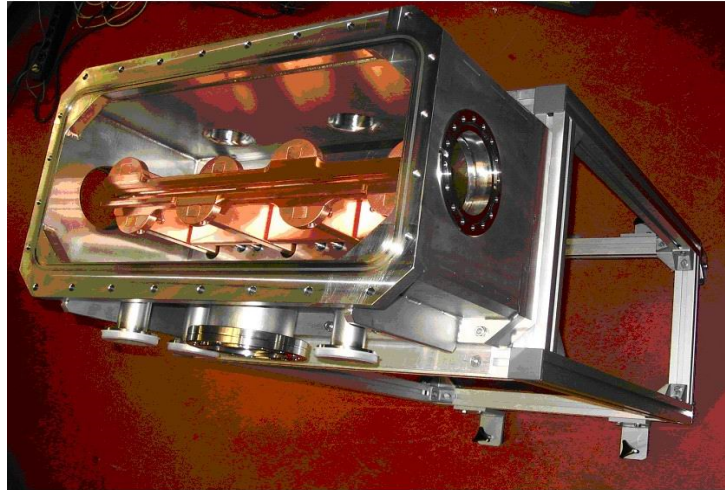
*(B. Koubek, A. Schempp, J. Schmidt)*

Ziel einer Doktorarbeit (Dr. J. Schmidt) war die Optimierung der Feldverteilungen im 4-Rod RFQ in Bezug auf die Systematisierung des Tuning Prozesses und Untersuchungen zu Randfeldeffekten. Hierbei wurde an vier verschiedenen RFQs für aktuelle Linearbeschleunigerprojekte gearbeitet. Hierzu zählen Upgrades von Injektoren bei Fermi National Laboratory (FNAL) und Los Alamos National Laboratory (LANL) sowie RFQs für neue Beschleunigerkomplexe wie ReA3 am National Superconducting Cyclotron Laboratory (NSCL) an der Michigan State Universität (MSU) und das Tumorthherapiezentrum für Ionenbestrahlung MedAustron. Für diese Projekte wurden RFQs im Frequenzbereich von 80 bis 216 MHz entwickelt und gebaut. In den letzten Jahren ist der Bedarf an hoch intensiven Ionenstrahlen mit gleichzeitig besten Strahlqualitäten stark gestiegen. Um die Anforderungen solcher Projekte zu erfüllen, wurden das Design und die Fertigung der Beschleuniger stetig weiter entwickelt. Hierbei greifen die verschiedenen Schritte, also die teilchendynamische Auslegung, das HF Design, die mechanische Realisierbarkeit und Rahmenbedingen des Projekts selbst ineinander. In diesem Umfeld wurden im Rahmen dieser Arbeit die Einflüsse von Hochfrequenz (HF) Designelementen auf die Feldverteilungen im 4-Rod RFQ untersucht und Simulationsmethoden zur Vorhersage der longitudinalen Spannungsverteilung entwickelt und analysiert. Zusätzlich wurden Simulationen zu Randfeldern der 4-Rod Elektroden, die am Strahlein- und -ausgang der Struktur auftreten können, durchgeführt und an Messungen verifiziert. Basierend auf diesen Studien wurde das 4-Rod RFQ Design in Bezug auf seine Feldgeometrien weiter entwickelt.

#### **2.4.3 CW RFQ Prototyp**

*(U. Bartz, A. Schempp)*

Der CW-RFQ-Prototyp – ein 4-Stützenmodell mit einer Frequenzvariationsbreite von 105 bis 150 MHz – wurde für RF-Tests nach den Anforderungen an den Betrieb für hohe Tastverhältnisse entworfen (Abbildung 2). Die Tests und Simulationen wurden erfolgreich abgeschlossen.

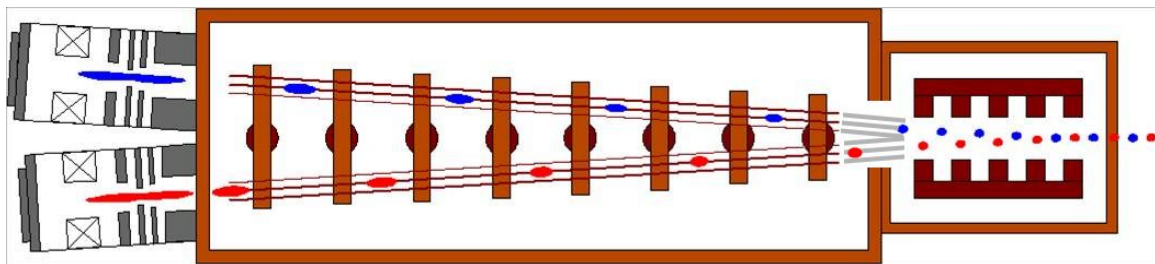


**Abbildung 2: CW RFQ Prototyp.**

Deshalb wurde die Stützendicke von 20 auf 25 mm vergrößert, was die Kühleigenschaften verbessert und die Stützeninnenseite wurde verrundet, was sich günstig auf den  $R_p$ -Wert auswirkt sowie das lokale Sparkingrisiko senkt.

#### 2.4.4 Funneling-Experiment

(M. Baschke, H. Podlech, A. Schempp, C. Wagner)



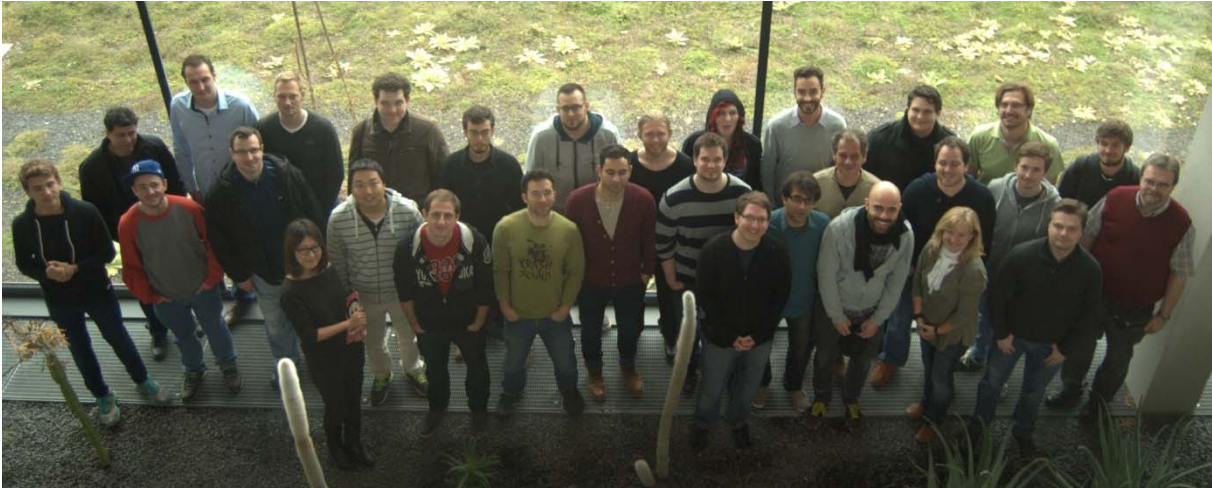
**Abbildung 3: Schematische Darstellung des Funneling-Experiments.**

Im Funneling-Experiment wird die Strahlstromerhöhung durch das reißverschlussartige Zusammenführen von Ionenstrahlen zur Erhöhung der Phasenraumdichte in einem Aufbau mit einem Doppelstrahl-RFQ mit nachgeschaltetem Deflektor untersucht (Abbildung 3). Durch eine neuartige Elektrodengeometrie wurde eine verbesserte Strahlanpassung an den Mehrzellendeflektor simuliert. Der so modifizierte Aufbau soll hinsichtlich seiner Effizienz überprüft werden, erste HF-Messungen waren bereits erfolgreich

### Plasmaphysik (AG Prof. Dr. J. Jacoby)

#### 3.1 Kurzbeschreibung der Arbeitsgruppe

Der Schwerpunkt unserer Arbeitsgebiete umfasst die Wechselwirkung von Ionenstrahlen und Lasern mit Plasmen, Hochstromentladungen besonders mit Anwendungen einer coaxialen Lorenz-Drift-Geometrie und quantenmechanische Aspekte supersymmetrischer Streuung.



**Abbildung 1: Die AG Plasmaphysik im Oktober 2014**

### **3.2 Aufbau eines internen Gastargets für Helium-Helium Streu- Experimente**

*(B. Fathinejad, S. Zähler, O. Meusel, M. Iberler, J. Jacoby)*

Ziel dieses Experiments ist die Beobachtung des energieabhängigen Übergangs zwischen klassischer und quantenmechanischer Streuung bei atomarer Helium-Helium Streuung. Hierfür werden ein Helium-Ionenstrahl und Heliumatome aus einem Heliumgastarget zur Wechselwirkung (Streuung) gebracht und dabei die Energie des Ionenstrahls variiert. In dem für das Experiment vorgesehenen Energiebereich (20-120kV) nähern sich die Heliumatome bis zu einem gewissen Abstandes, der durch die kinetische Energie des Ionenstrahls und der Coulombkraft der Kernladungen definiert wird, bevor die Streuung der Teilchen stattfindet. Je höher die kinetische Energie des Ionenstrahls wird, desto kleiner wird der Abstand der beiden Teilchen zueinander vor der Streuung. Ist der Abstand der beiden Teilchen kleiner als die de Broglie Wellenlänge  $\lambda_B$  eines Teilchens, sollten die Teilchen ununterscheidbar werden und die Streuung wird dann mit Hilfe der quantenmechanischen Streutheorie beschrieben[1].

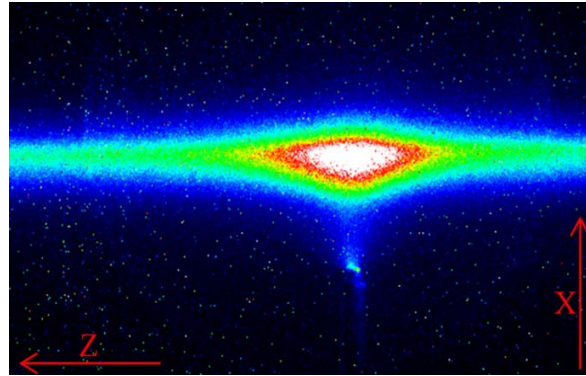
Zur Erzeugung für das im Experiment benötigtem Gastarget wurden Kapillardüsen mit einem Ausgangsdurchmesser von 120-10  $\mu\text{m}$  entwickelt. In der Kapillardüse erreichen die Heliumatome Überschallgeschwindigkeit, wodurch sich die Wechselwirkung der Heliumatome untereinander verringert [2]und ein Gastarget (ein Strahl von Heliumgasatomen) im Vakuum gebildet wird.

Zur Untersuchung der Eigenschaften des Gastargets wie Teilchengeschwindigkeit und Flächendichte wurde ein Teststand mit integriertem Pitot-Rohr aufgebaut, mit dessen Hilfe der Staudruck und das räumliche Profil des Gastargets bestimmt werden konnten.

Bei Betrieb des Gastargets steigt der Restgasdruck im Teststandrezipienten. Unter Berücksichtigung der Saugleistung des verwendeten Pumpsystems lässt sich somit der Gasfluss aus dem Düsenausgang berechnen. Ist der Gasfluss bekannt, lässt sich aus dem Staudruck das Teilchenprofil messen, wodurch sich die Teilchengeschwindigkeit und die Flächendichte des Gastargets abschätzen lässt [3,4,5].

Der extrahierte Ionenstrahl wurde mit Hilfe von Gabor-Linsen fokussiert und durch einen elektrostatischen Deflektor um  $45^\circ$  in Richtung der Kollisionskammer abgelenkt. Der abgelenkte Ionenstrahl wurde vor dem Eintritt in die Kollisionskammer erneut durch eine Gabor-Linse fokussiert. Hier wurden die Einstellungen der Parameter der Gabor-Linsen und der Deflektor so optimiert, dass ein möglichst fokussierter Ionenstrahl in der Kollisionskammer erreicht wird.

Der fokussierte Strahl und das Gastarget wurden in der Kollisionskammer unter einen Winkel von  $\theta=90^\circ$  zur Streuung gebracht. Das emittierte Licht aus der Wechselwirkungszone wurde durch eine CCD Kamera aufgenommen. Dabei wurden die Parameter des Gastargets, wie der Eingangsdruck des Heliumgases in der Düse und der Abstand der Düse zur Wechselwirkungszone sowie die Dichte der Restgasatome in der Kollisionskammer variiert. Durch Auswertung der aufgenommenen Bilder werden die Flächendichte des Gastargets, sowie das Profil des Gastargets bestimmt.



**Abbildung 2: Wechselwirkungszone der Streuung, aufgenommen mit einer CCD Kamera. Z zeigt die Strahlrichtung und X die Ausbreitungsrichtung des Gastargets.**

### Literatur

- [1] *J. Jacoby*, Which path information and coherence of elastic scattering, Phys. Scripta Vol. 64, 220, 2001
- [2] *J.H. Spurk, N. Aksel*, Einführung in die Theorie der Strömungen, Springer, 2010
- [3] *V.A. Soukhanovskii, H. W. Kugel, R. Kaita, R. Majeski, A. L. Roquemore, D. P. Stotler*, Supersonic gas jet for fueling experiments on NSTX, 31st EPS Conference on Plasma Phys. London, Vol.28G, P-2.190, 2004
- [4] *R. Campargue*, Progress in Overexpanded Supersonic Jets and Skimmed Molecular Beams in Free-Jet Zones of Silence, J. Phys. Chem., 88, 4466-4414, 1984
- [5] *G. Dupeyrat, J.B. Marquette, B.R. Rowe*, Design and testing of axisymmetric nozzles for ionmolecule reaction studies between 20°K and 160°K, Phys. Fluids28, 1273, 1985

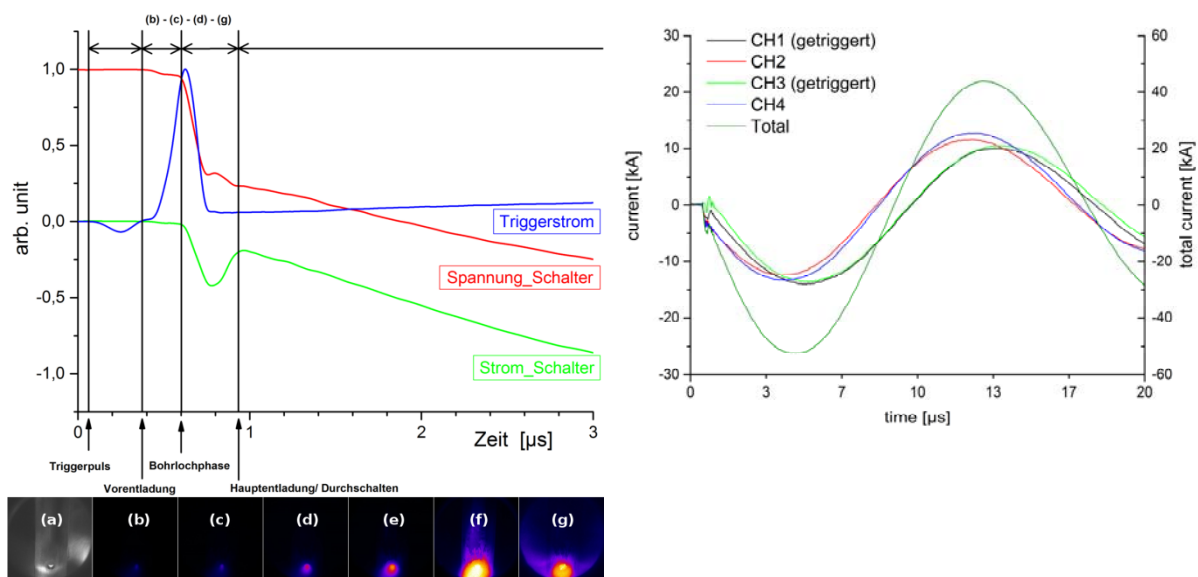
### 3.4 Entwicklung eines Hochstromschalters für das FAIR Magnetische Horn

(*C. Hock, M. Iberler, J. Jacoby, M. Kapun, A. Michel*)

Mit dem Bau der künftigen Generation neuer Hochenergiebeschleuniger ergeben sich wesentlich höhere Anforderungen an alle Beschleunigerkomponenten. Dies gilt insbesondere für das p-bar-Experiment am neuen FAIR-Komplex der GSI. Für das dort geplante magnetische Horn werden gepulste Ströme von 400 kA und einer Pulslänge von 20µs benötigt [1]. Kernstück eines solchen pulsformenden Netzwerks sind die Hochstromschalter die das Bindeglied zwischen Energiespeicher Kondensatorbank) und der Last (Horn) bilden.

Die Arbeitsgruppe „Plasmaphysik“ am Institut für Angewandte Physik befasst sich seit geraumer Zeit mit der Leistungsimpulstechnik. Im Zuge einer von HGS-HIRE und HICforFAIR geförderten Doktorarbeit wird daher ein neues Konzept zum Schalten derart





**Abbildung 3: Links: Qualitativer Strom-/Spannungsverlauf des Zündvorgangs des Schalters und korrespondierende Kurzaufnahmen (Belichtungszeit 200ns). Rechts: Stromverlauf der vier gekoppelten Kanäle  $U_0= 5\text{kV}$ ,  $C_0= 34,9\mu\text{F}$ ,  $p= 1\text{Pa}$  (Ar).**

hoher Ströme entwickelt. Es wurde ein Niederdruck-Gasentladungsschalter konzipiert, der auf einer koaxialen Elektrodengeometrie basiert und durch eine Hohlkathodenentladung gezündet wird. Durch dieses Design soll das beim Schalten erzeugte Plasma durch Lorentzkräfte beschleunigt und aus dem Entladungsraum heraufgetrieben werden. So wird eine Reduktion der Erosion der Elektroden erreicht [2] und die Lebensdauer des Schalters drastisch erhöht. Eine zusätzliche Entlastung der Elektroden wird durch die gleichzeitige Kopplung des Plasmas über vier parallel angeordnete Schaltergaps erreicht. Diese sind intern über geschlitzte Elektroden intern miteinander verbunden. Auf Basis dieser Überlegungen wurde ein Prototyp entworfen.

Es konnte gezeigt werden, dass der Schaltvorgang tatsächlich durch die bereits erwähnte Hohlkathodenentladung initiiert wird. In Abbildung 3(links)ist der qualitative Strom bzw. Spannungsverlauf des Schaltvorgangs gezeigt. Über einen hochdielektrischen Trigger [3], der als Elektronenquelle dient, wird im Außenraum (Hohlkathode) des Schalters eine Vorentladung gezündet (b)-(c). Die Ladungsträgervermehrung wird hier noch durch den Townsendmechanismus dominiert, es fließt nur ein geringer Entladestrom. Auf Grund der im Rückraum verbleibenden, trägen Ionen wandert nun eine virtuelle Anode zum Bohrloch hin. Wenn das Loch erreicht wird, steigt der Entladestrom stark an und die Brennspannung fällt schnell auf einige 100 Volt ab (d)-(e). Die stromtragende Plasmasäule breitet sich nun radial aus und der Strom wird zunehmend durch Sekundärelektronenemission aus der Elektrode getragen. Berührt das Plasma die Wände des Lochs wird die Bohrlochphase eingeleitet (f)-(g). Das sehr heiße und dichte Plasma speist sich nun durch austretenden Metalldampf an der Kathodenoberfläche, und die für eine Hohlkathodenentladung, typische Glühspots (f) sind erkennbar [4][5]. Im weiteren Verlauf wird das Plasma in den eigentlichen, koaxialen Schalterraum eingesaugt. Der Schaltvorgang geht in die Hauptentladung über und durch die auftretenden Lorentzkräfte wird das Plasma nach oben getrieben. Durch dieses Prinzip kann ein zuverlässiges Durchschalten und sehr hohe Stromanstiegsraten erreicht werden.

Auch konnte bereits gezeigt werden, dass eine ungetriggerte Kopplung der einzelnen Kanäle möglich ist, wie in Abbildung 3(rechts) zu sehen ist. Der offensichtliche Impedanzunterschied

zwischen den extern getriggerten Kanälen (CH1/CH3) und den ungetriggerten Kanälen (CH2/CH4) muss an dieser Stelle noch genauer untersucht werden.

Neben den gezeigten Untersuchungen, werden zurzeit weitere Parameter wie etwa Delay und Jitter bestimmt. Auch liegt ein weiteres Hauptaugenmerk auf der Optimierung der hochdielektrischen Trigger, hier werden grundlegende Eigenschaften der Entladung untersucht und das zugrunde liegende Prinzip der Elektronenemission qualitativ und quantitativ beschrieben.

### **3.4 Strahltransmission von Au<sup>26+</sup> in einem Screw-Pinch-basierten Plasmastripper**

*(G. Xu, J. Jacoby, G. Loisch, T. Rienecker, A. Fedjuschenko, K. Cistakov, T. Manegold, A. Schönlein, J. Wiechula, A. Kutschireiter, S. Zähler, R. Maeder, M. Iberler, IAP Frankfurt, A. Blazevic, K. Weyrich, O. Rosmej, GSI Darmstadt, O. Haas, TU Darmstadt, Y. Zhao, G. Xiao, R. Cheng, J. Ren, IMP Lanzhou)*

Die derzeit weltweit meist verbreitetsten Methoden zum Strippen von Ionenstrahlen basieren auf Gas- und Folienstrippern. Die hierbei bestehenden Probleme sind jedoch die schwache Strippingfähigkeit des Gasstrippers bzw. die geringe Lebensdauer der Folie. Der nun entwickelte Plasmastripper hat eine hohe Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger hoher Langlebigkeit. Entsprechend ist es beabsichtigt, dieses neuartige Konzept am FAIR-Projekt zu realisieren.

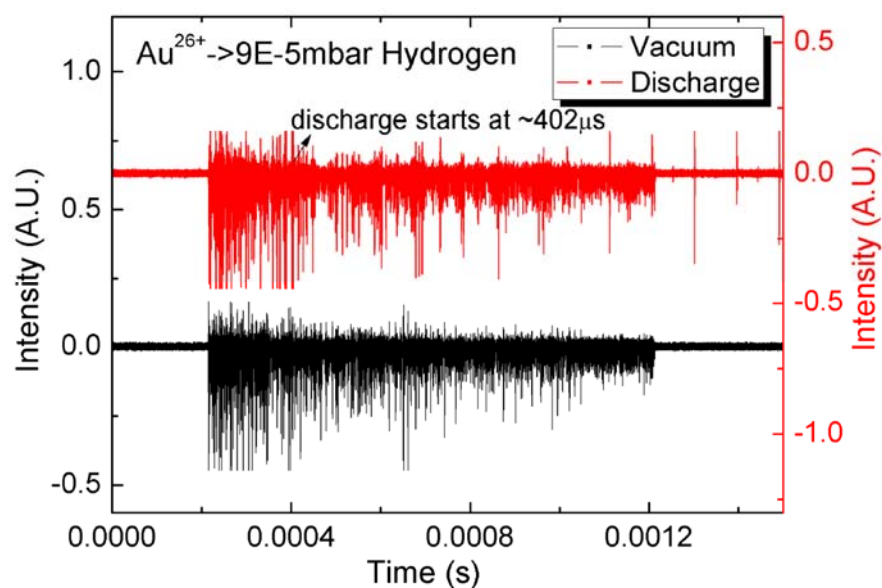
Der Plasmastripper basiert auf einer induktiv gekoppelten Entladung, dessen Erosion im Vergleich zum Z-Pinch nochmals deutlich geringer ausfällt, sodass die Lebensdauer weiter verlängert wird. Die erste Generation des als Theta-Pinch bezeichneten Gerätes wurde insbesondere von C. Teske und J. Jacoby entwickelt und publiziert [1][2][3][4][5][6][7].

Im Oktober 2012 wurden erste Messungen zur Strahl-Plasma-Wechselwirkung an der GSI durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte eine schlechte Strahltransmission, die hauptsächlich durch das Magnetfeld der Spulen verursacht wurden. Der Stripper wurde durch Hinzufügen eines dreidimensionalen Justierungssystems modifiziert, sodass parasitäre Magnetfeldkomponenten reduziert werden konnten.

Inzwischen wurde der Screw-Pinch als Alternativkonzept untersucht. Dieser basiert prinzipiell auf der Spulenanordnung des Theta-Pinchs. Bevor diese jedoch von Strom durchflossen wird, fließt der Strom zunächst entlang dreier Spulen in z-Richtung. Erst danach wird die Anordnung des Theta-Pinchs in entgegengesetzter Richtung durchflossen, um anschließend entlang dreier weiterer Spulen erneut in z-Richtung zu fließen. Dieses Konzept führt zu einem komplexen Magnetfeld. Zur Vermeidung eines Zusammenziehens der Spulen sind diese durch stabile Plastikstützen befestigt. Zur Integration des Aufbaus in die Beamline wurde ein differentielles Pumpsystem aufgebaut.

Der am Experimentierplatz Z6 der GSI verfügbare Strahl von Au<sup>26+</sup>-Ionen mit einer Energie von 3,6MeV/u (Strahlzeit April 2014) hat eine Länge von etwa 1ms. Aufgrund der deutlich kürzeren Entladungszeit des Screw-Pinches überdeckt der Ionenstrahl sowohl den Zeitraum des Kaltgaszustandes als auch den der Entladung. Basierend auf der Einstellung des Oszilloskops startet die Entladung bei t=402us.

Um den Einfluss des Magnetfeldes auf die Strahltransmission ohne Plasmaeinfluss zu untersuchen, wurden die Messungen bei einem Druck von 9E-5 mbar durchgeführt, sodass kein Plasma zündet. Zur Messung der Strahltransmission wurde ein Diamantdetektor eingesetzt.



**Abbildung 4: Strahltransmission mit (rot) und ohne (schwarz) Entladung**

In Abbildung 4 ist die Strahltransmission mit und ohne Entladungsvorgang dargestellt. Die schwarze Kurve zeigt die Transmission ohne Entladung. Die rote Kurve zeigt das Strahlsignal einer nachfolgenden Messung, bei der bei  $t=402\mu\text{s}$  die Entladung startet. Im Unterschied zum Theta-Pinch weist das Strahlsignal keine deutlichen Diskontinuitäten auf [8]. Wie in dieser Abbildung zu erkennen ist, erweist sich die Strahltransmission des Screw-Pinches als sehr gut.

### Literatur

- [1] C. Teske, J. Jacoby, Plasma Science, IEEE Transactions on 36, 1930 (2008)
- [2] C. Teske, J. Jacoby, F. Senzel, and W. Schweizer, Physics of Plasmas (1994-present) 17, 043501, 2010
- [3] C. Teske, Y. Liu, S. Blaes, and J. Jacoby, Physics of Plasmas 19, 033505, 2012
- [4] C. Teske, J. Jacoby, W. Schweizer, and J. Wiechula, Review of Scientific Instruments 80, 034702, 2009
- [5] C. Teske, B.-J. Lee, A. Fedjuschenko, J. Jacoby, W. Schweizer, Plasma Science, IEEE Transactions on 38, 1675, 2010
- [6] G. Loisch et al., in Pulsed Power Conference (PPC), 19th IEEE, pp. 1–7, 2013
- [7] G. Loisch et al., Plasma Science, IEEE Transactions on 42, 1163, 2014
- [8] G. Xu, J. Jacoby and etc, GSI SCIENTIFIC REPORT 2012, PNI-IONS-EXP-37, 2012

## Lehrveranstaltungen

### Vorlesungen und Übungen

Experimentalphysik II: Elektrodynamik – Vorlesung (SS 2013)	R. Reifarth
Experimentalphysik II: Elektrodynamik – Übung (SS 2013)	R. Reifarth, R. Plag
Einführung in die Astronomie II – Vorlesung (SS 2013)	K. Sonnabend
Einführung in die Astronomie II – Vorlesung (SS 2014)	R. Reifarth
Einführung in die Astronomie II – Übung (SS 2013)	K. Sonnabend
Einführung in die Astronomie II – Übung (SS 2014)	R. Reifarth
Einführung in die Astronomie I – Vorlesung (WS 2013/14)	R. Reifarth
Einführung in die Astronomie I – Übung (WS 2013/14)	R. Reifarth
Experimente zur nuklearen Astrophysik (WS 2013/14)	K. Sonnabend
Experimente zur nuklearen Astrophysik (WS 2014/15)	R. Reifarth
Physik der Energiegewinnung (WS 2012/13, WS 2013/14, WS 2014/15)	H. Podlech
Übungen zur Vorlesung Physik der Energiegewinnung (WS 2012/13, WS 2014/15)	H. Podlech, D. Mäder
Anwendungen der Supraleitung in Beschleuniger- und Fusionstechnologie (SS 2013, SS 2014)	H. Podlech
Übungen zur Vorlesung Anwendungen der Supraleitung in Beschleuniger- und Fusionstechnologie (SS 2013, SS 2014)	H. Podlech, D. Mäder
Einführung in die Physik II für Biowissenschaften und L3 (SS 2013, SS2014)	H. Podlech
Übungen zur Vorlesung Einführung in die Physik II für Biowissenschaften und L3 (SS 2013, SS2014)	H. Podlech
Linearbeschleuniger (SS 2013)	H. Podlech, L. Gröning
Übungen zur Vorlesung Linearbeschleuniger (SS 2013)	H. Podlech, L. Gröning
Übungen zur Vorlesung Physik der Energiegewinnung (WS 2013/14)	H. Podlech, D. Mäder
Höhere Experimentalphysik I (WS 2014/15)	K. Schulte, O. Meusel, H. Podlech
Übungen zur Vorlesung Höhere Experimentalphysik I (WS 2014/15)	K. Schulte, O. Meusel, H. Podlech
Einführung Beschleunigerphysik (WS13/14 und WS14/15) Übung dazu	U. Ratzinger M. Schütt
Linearbeschleuniger (SS14) Übungen dazu	U. Ratzinger M. Schütt
Elektronik und Sensorik I	M. Droba
Elektronik und Sensorik II	M. Droba
Übungen dazu	M. Droba

Atomphysik für Studierende des Lehramtes an Haupt-  
und Realschulen, L2, L5  
Übungen dazu

O. Meusel  
O. Meusel

### **Praktika**

Astrophysikalisches Praktikum (SS 2013)

K. Sonnabend

Astrophysikalisches Praktikum (SS2014)

R. Reifarth

Fortgeschrittenenpraktikum

(SS 2013, WS 2013/14, SS 2014, WS 2014/15)

H. Podlech

Labor- und Forschungspraktikum

(WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14, SS 2014, WS 2014/15)

H. Podlech, O. Meusel

Anfängerpraktikum für Biologen

R. Tiede

Pharmazeuten

K. Volk

### **Seminare**

Arbeitsgruppenseminar „Experimentelle Astrophysik“

(SS 2013, WS 2013/14, SS 2014, WS 2014/15)

R. Reifarth, K. Sonnabend

Aktuelle Probleme der Astrophysik (WS 2013/14, WS 2014/15)

K. Sonnabend, R. Reifarth

Aktuelle Experimente der nuklearen Astrophysik (SS 2014)

K. Sonnabend, R. Reifarth

Beschleunigerseminar

(WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14, SS 2014, WS 2014/15)

H. Podlech, U. Ratzinger

Proseminar Beschleuniger

C. Wiesner

Aktuelle Probleme der Beschleuniger- und angewandten  
Schwerionenphysik

(WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14, SS 2014, WS 2014/15)

I. Hofmann, J. Jacoby,  
O. Kester, H. Podlech,  
U. Ratzinger, R. Reifarth  
A. Schempp, J. Struckmeier

Blockseminar / Winterschule "Aktuelle Probleme der  
Beschleuniger-, Astro- und Plasmaphysik"

(WS 2012/13, WS 2013/14)

I. Hofmann, J. Jacoby,  
O. Kester, H. Podlech,  
U. Ratzinger, R. Reifarth  
A. Schempp

## Abgeschlossene Examensarbeiten

### Dissertationen

*U. Bartz:* Untersuchungen und Optimierung eines CW-RFQ-Prototypen, 2013

*E. Feldmeyer:* Feldkorrekturregelung für dynamische Prozesse in normalleitenden Magneten, 2013

*J. Glorius:* Experimental studies of optical potentials for  $p$ -process nucleosynthesis, 2013

*T. Heftrich:* Stellare Produktions- und Destruktionsraten des radioaktiven Isotops  $^{60}\text{Fe}$ , 2013

*M. Weigand:* Die  $(n,\gamma)$ -Wirkungsquerschnitte von  $^{63}\text{Ni}$  und  $^{63}\text{Cu}$  im astrophysikalischen  $s$ -Prozess, 2014

*S. Altstadt:*  $^{13,14}\text{B}(n,\gamma)$  via Coulomb Dissociation to Constrain the Astrophysical  $r$ -Process, 2014

*Y. El Hayek:* Minimierung der systematischen Anfangsverluste im SIS 18

*C. Schömers:* Entwicklung einer dynamischen Intensitätsregelung für das Heidelberger Ionenstrahl - Therapiesynchrotron

*H. Al-Omari:* Measurement and Interpretation of Laser Accelerated Protons at GSI

*C. Wiesner:* Chopping and Transport of High-Intensity Ion Beams

*K. Schulte:* Studies on the Focusing Performance of a Gabor Lens Depending on Non-Neutral Plasma Properties

*C. Brabetz:* Development of specially shaped laser beams for the optimized acceleration of particles, 2014

*J. Schmidt:* Tuning and Optimization of the Field Distribution of a 4-Rod-RFQ, 2014

*B. Koubek:* Design Studies and Prototype Development of a 325 MHz 4-Rod-RFQ, 2014

### Diplomarbeiten

*S. Aktas:* Untersuchung von Multipacting in Balgtunern, 2014

*M. Fries:* Entwicklung und Test eines 217 MHz Spiralresonators zur Multipacting-Untersuchung, 2014

*C. Ullmann:* Aufbau und Untersuchung einer gepulsten Glimmentladung zur Triggerung von Gasentladungsschaltern, 2013

## Bachelorarbeiten

- J.A. Bonilla Guzmán:* Bestimmung der Lichtausbeute von NeuLAND-Modulen, 2013
- C. Wolf:* Charakterisierung des 42-fach segmentierten  $4\pi$ -BaF<sub>2</sub>-Detektors für FRANZ, 2013
- R. Krämer:* Zeitauflösung eines FADC-Aufbaus, 2013
- R. Schach:* Sensitivitätsstudien zur Produktion der  $p$ -Kerne  $^{92,94}\text{Mo}$  und  $^{96,98}\text{Ru}$ , 2013
- E. Mevius:* Simulation eines  $4\pi$  BaF<sub>2</sub>-Kalorimeters mit GEANT4, 2013
- M. Reich:* Auswahl von Backing-Materialien für hochleistungsbeständige Proben an FRANZ, 2013
- M. Fix:* Charakterisierung eines LaBr<sub>3</sub>(Ce)-Detektorsystems, 2013
- M. Ziegler-Himmelreich:* Produktion einer radioaktiven Probe  $^{129}\text{I}$ , 2013
- C. Arda:* Entwurf einer Targetkammer zum Einsatz in  $(p,\gamma)$ -Experimenten an FRANZ, 2013
- A. Bouras:* Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaik-Anlage am Campus Riedberg, 2013
- M. Pittroff:* Numerische Simulation zur Auslegung eines solenoidalen Injektionssystems, 2013
- D. Cöl:* HF-Test einer supraleitenden 325 MHz CH-Kavität, 2014
- N. Petry:* Error-Studies zum 17 MeV Injektor für das MYRRHA-Projekt, 2014
- F. Faber:* Untersuchung von Delay und Jitter des LDS bei Variation der Elektrodengeometrie und Entladungsparameter, 2013
- S. Wolski:* Messung der  $H\beta$ -Starkverbreiterung zur Dichtediagnostik an einem koaxialen Plasmabeschleuniger, 2013
- A. Puth:* Analyse und Aufbau einer potentialfreien Ansteuerung eines Thyristorstacks für  $\theta$ -Pinch-Plasmen, 2013
- Ş. Zähler:* Aufbau und Kalibrierung eines Vakuum-Ultraviolett-Spektrometers, 2013
- M. Kapun:* Untersuchung der Durchbruchcharakteristik von miniaturisierten Lorentz-Drift Geometrien, 2013
- M. Schächinger:* Röntgendiode als zeitaufgelöste Diagnostik der Wechselwirkung von Laser- und Röntgenstrahlung mit Materie, 2014
- J. Wilke:* Monte Carlo Simulation zur Bestimmung der Gesamtasymmetrie bei einer Koinzidenzmessung, 2014
- A. Müller-Münster:* Aufbau und Untersuchungen an einer Lorentz-Drift-Ionenquelle (LDI), 2014

- P. Fritzsche:* Simultanisierung des Einschaltvorgangs bei Thyristorstacks, 2014
- O. Payir:* Optimierung eines Strahlseparationssystems für intensive Protonenstrahlen
- S. Klaproth:* Indirekte Messungen von Teilchenverlusten in einer Gabor – Linse
- J.F. Wagner:* Computergestützte Magnetfeldanalyse eines Hochstromspeicherrings mit Stellaratorkonfiguration
- D. Koser:* Konzept zur experimentellen Bestimmung des Strahlpotentials mittels Restgasionenspektrometrie
- T.F. Nowotnick:* Strahltransportsimulationen und –experimente durch einen Solenoidkanal
- J. Teschabai-Oglu:* Optische Strahldiagnose am Testaufbau destransversalen Elektronentargets, 2014

### **Masterarbeiten**

- B. Thomas:* Isomere im *s*-Prozess am Beispiel von  $^{85}\text{Kr}$ , 2013
- C. Beinrucker:* Neutroneneinfangquerschnitte von  $^{63,65}\text{Cu}$  und  $^{69,71}\text{Ga}$  bei 25 keV und 90 keV, 2013
- C. Ritter:* Stellar evolution, nucleosynthesis and *s*-process in low metallicity AGB stars, 2013
- J. Gerbig:* Kalibrierung eines Szintillationsdetektors mit Hilfe von LEDs, 2013
- A. Lier:* Neutronenaktivierung von Germanium, 2013
- A. Lazarus:* Simulation und Test eines Neutronenkollimators für FRANZ, 2014
- J. Ostermüller:* Verifizierung des Nukleosyntheseprogramms NETZ, 2014
- S. Fiebiger:* Alpha-induzierte Wirkungsquerschnitte von  $^{85}\text{Kr}$  und  $^{79}\text{Kr}$ , 2014
- Z. Slavkovská:* Alpha-induced Production Cross Sections of  $^{77}\text{Kr}$  and  $^{77}\text{Br}$  and Thick Target Yield of  $^{80}\text{Br}$ , 2014
- P. Erbacher:* Untersuchung der Reaktion  $^{90}\text{Zr}(p,\gamma)^{91}\text{Nb}$  mit In-Beam Gammaspektroskopie, 2014
- M. Basten:* Auslegung des Kickers für das FRANZ-Projekt, 2013
- M. Baschke:* Strahldiagnose mit neuer Matching-Sektion am Frankfurter Funneling-Experiment, 2014
- C. Claessens:* Fokussier- und Abbildungseigenschaften von Quadrupoltriplettlinen, 2014



- P. Schneider:* Anpassung von Ionenstrahlen an die Akzeptanz eines RFQ, 2014
- M. Schwarz:* Numerische Simulationen zur Strahldynamik eines CH-Driftröhrenbeschleuniger, 2014
- A. Seibel:* Entwicklung und Test des 175 MHz CH-Rebunchers für das FRANZ-Projekt, 2014
- T. Manegold:* Aufbau eines Lorentz-Drift-Beschleunigers zur Untersuchung der Plasmadynamik, 2013
- B. Glaeser:* Untersuchung des Erosionsverhaltens eines Lorentz-Drift-Schalters bei hohen Strömen für den Einsatz am FAIR magnetischen Horn, 2014
- B. Bohlender:* Entwicklung und Charakterisierung einer bei Atmosphärendruck betriebenen Plasmafackel auf Basis einer koaxialen DBD, 2014
- K. Cistakov:* Untersuchung und Optimierung des Ionenstrahltransportes an einem Plasmastripper, 2014
- C. Wagner:* Optische tomographische Strahldiagnose
- F. Gärtner:* Erstellen einer Kalibrierungskurve für ein Impulsspektrometer und Strahluntersuchungen an der Test – LEBT
- H. Niebuhr:* Experimente und Simulationen zur Filterung und Injektion in einen toroidalen Ionenspeicherring
- M. Lotz:* Entwicklung einer Extraktormessröhre mit CNT-Feldemissionskathode für Druckmessungen in kryogenen Vakuumsystemen", 2013
- A. Langbein:* Entwicklung und Aufbau einer magnetfeldfreien Elektronenstrahlionenquelle, 2014
- D. Ries:* Strahldynamik eines Ionenstrahls in einem transversalen Elektronentarget, 2014

### **Staatsexamen**

- M. Dietz:* Konzept und Aufbau eines Versuchs für das physikalische Anfängerpraktikum zum Peltier-Element, 2013
- B. Esche:* Aufbau und Konzeption eines Experiments für das Fortgeschrittenenpraktikum zur Ermittlung der Durchbruchspannung einer linearen Gasentladungsstrecke, 2013
- K. Grünsch:* Aufbau und Konzeption eines Praktikumsversuches zur Messung der Lade- und Entladevorgänge von Kapazitäten im Rahmen des physikalischen Anfängerpraktikums, 2013

## Geförderte Forschungsprojekte und Kooperationen

### Astrophysik

*R. Reifarth:* Nuclear Astrophysics Constraining Stellar Nucleosynthesis - NAUTILUS

### Förderer/Kooperationspartner

ERC

*R. Reifarth:* Solving Challenges in Nuclear Data for the Safety of European Nuclear Facilities

FP7-EURATOM

*R. Reifarth:* Detektion hochenergetischer Neutronen für nukleare Astrophysik - NeuLAND

BMBF

*R. Reifarth:* High-power lithium targets for production of stellar-energy neutrons

GIF

*K. Sonnabend:* Nachwuchswissenschaftler im Fokus 2013 – Linie C

Goethe-Universität Frankfurt a.M.

*K. Sonnabend:* Nachwuchsgruppe PARIS im Emmy Noether-Programm

DFG

*K. Sonnabend:* Netzwerk ATHENA i.R. von ENSAR

EC

### Beschleuniger- und Plasmaphysik

### Förderer/Kooperationspartner

*H. Podlech:* MAX

EU

*H. Podlech:* Weiterentwicklung der supraleitenden CH-Struktur

BMBF

*H. Podlech:* Designstudie eines 4-RFQs für den FAIR p-Linac

GSI

*H. Podlech:* KIRAMS (Korea)

KHIMA

*H. Podlech:* FCC

CERN/EU

*H. Podlech:* Cw Linac Demonstrator

GSI/HIM

U. Ratzinger: MedAustron, RFQ und MEBT

MedAustron, Österreich

U. Ratzinger: Entwicklung von Prototypkomponenten für die FAIR Beschleunigeranlage

BMBF

## Mitarbeit in Fachausschüssen, Fachgruppen und Gremien

Gutachter	DFG	R. Reifarth
Gutachter	ERC	R. Reifarth
Prodekan	FB Physik	R. Reifarth
Dekan	FB Physik	R. Reifarth
Berufungskommission Apl.-Professur A. Sedrakian	FB Physik	R. Reifarth, K. Sonnabend
Evaluierungskommission Prof. Dr. H. Büsching	FB Physik	K. Sonnabend
Project Coordination Committee	ENSAR	K. Sonnabend
General Assembly	ENSAR	K. Sonnabend
Advisory Committee	JINA Reaclib Database	K. Sonnabend
Program Advisory Committee	GANIL	R. Reifarth
MAX/MYRRHA	EU	H. Podlech
Fachbereichsrat	FB Physik	H. Podlech
Studienkommission	FB Physik	H. Podlech (Vertr.)
Bibliothekskommission	FB Physik	H. Podlech
QSL-Kommission	FB Physik	H. Podlech (Vertr.)
AG Vorlesungsverzeichnis	FB Physik	H. Podlech (Vertr.)
W1-Berufungskommission	Mainz	H. Podlech
W3-Berufungskommission	FB Physik	H. Podlech
Ba/Ma-Prüfungsausschuss Vorsitz	FB Physik	U. Ratzinger

## Mitarbeit in nationalen und internationalen Konferenzgremien

ATHENA Workshop Prospects in neutron time of flight, März 2013, Darmstadt	Organizers	R. Reifarth, K. Sonnabend
ATHENA Brussels Workshop on Astrophysics, Januar 2014, Brüssel, Belgien	Organizer	K. Sonnabend
ATHENA Final Meeting, Mai 2014, Villa Vigoni, Comer See, Italien	Organizer	K. Sonnabend
EURORIB	International Advisory Committee	K. Sonnabend
Nuclei in the Cosmos XIII	K. Sonnabend	K. Sonnabend
STORI14	Local Organizing Committee	R. Reifarth
IPAC	Scientific Advisory Board	H. Podlech
TESLA Technical Collaboration	Collaboration Board	H. Podlech
LINAC	Organizing Committee	U. Ratzinger

## Besondere Ereignisse

### 2013

Vom 10.3 bis 16.3 findet der Hic4FAIR Workshop in Riezlern/Kleinwalsertal statt

Dr. Claudia Lederer erhält den Preis der Adolf Messer-Stiftung; „Messung der Neutroneneinfangquerschnitte der stabilen Germaniumisotope bei n\_TOF/CERN“; der mit 25 kEuro dotierte Preis wird am 27. Juni 2013 in Frankfurt übergeben

Herr Andreas Kreßmann verlässt am 31.7. nach langjähriger Tätigkeit aus eigenem Wunsch unser Institut

12.9. Betriebsausflug

Im Rahmen der 11. Frankfurter Kinderuni vom 16. bis 20. September 2013 hält Kerstin Sonnabend die Auftaktvorlesung mit dem Titel „Rumpelstilzchen im Weltall? – Wie Sterne Gold machen“.

Frau Elisabeth Weitzel verlässt am 30.9. auf eigenen Wunsch unser Institut

1.10. bis 2.10. MAX Accelerator School in Frankfurt

### 2014

Frau Kirstin Schäfer beginnt am 2.1. ihren Dienst und übernimmt das Institutssekretariat

Vom 23.2. bis 1.3 findet der Hic4FAIR Workshop in St. Stefan/Lungau statt

Prof. Dr. René Reifarth erhält den ERC Grant der Europäischen Union „Nuclear Astrophysics Constraining Stellar Nucleosynthesis – NAUTILUS“; das mit 1.9 MEuro dotierte Projekt startet im April 2014

Dr. Janet Schmidt erhält den Horst-Klein Gedächtnispreis

11.9. Betriebsausflug

Vom 29.9. bis 1.10. findet der EUCARD Workshop „Laboratories meet Universities“ statt

Am 24.10. wird der Lander-Tag ausgerichtet

Herr Stefan Rodrian feiert am 14.11. sein 25-jähriges Dienstjubiläum

### Winterseminare

Das Blockseminar über "Aktuelle Probleme der Beschleuniger-, Astro- und Plasmaphysik" wurde im Jahr 2013 (10. -16.03.13) traditionell im Haus Bergkranz der Goethe-Universität in Riezlern/Österreich und im Jahr 2014 (23.02.-01.03.14) erstmals im JUFA Gästehaus in St. Michael im Lungau/Österreich durchgeführt. Die Veranstaltung erfreute sich wiederum großer

Beliebtheit: So gab es im Jahr 2013 insgesamt 65 Teilnehmer (Studierende, Doktoranden und Wissenschaftler, davon 46 Mitglieder unseres Instituts) und im Jahr 2014 insgesamt 47 Teilnehmer, davon 34 IAP-Angehörige.

Neben den Institutsbeiträgen zu den laufenden Arbeiten aller beteiligten Arbeitsgruppen gaben Gäste von der GSI Darmstadt, der TU Darmstadt, vom Max-Planck-Institut (MPI) Heidelberg, von der Universität Dortmund sowie vom CERN Einblick in ihre aktuellen Forschungsaktivitäten. Das Programm umfasste 56 Fachvorträge im Jahr 2013, sowie 41 im Jahr 2014 und wurde jeweils durch zahlreiche Diskussionen im Plenum sowie am Rande der Veranstaltungen ergänzt, wobei beide Häuser ein sehr angenehmes Ambiente dafür boten.

Ein besonderer Themenschwerpunkt lag auf FAIR-relevanten Entwicklungen im Rahmen von Kollaborationen zwischen IAP und den beteiligten Arbeitsgruppen bei der GSI. Unter diesem Aspekt wurde dieses traditionsreiche „Winterseminar“ unseres Instituts zum nunmehr fünften Mal auch als „HICforFAIR-Workshop“ durchgeführt. Die Veranstalter bedanken sich bei dieser Gelegenheit herzlich für die finanzielle Unterstützung durch HICforFAIR.

### **Betriebsausflüge 2013 und 2014**



Am 12. September 2013 führte uns unser Betriebsausflug nach Rastatt zu Mercedes Benz. Nach einem Imagefilm und dem Hinweis zur Begehung erfolgte die Betriebsbesichtigung im Karosseriebau und der Endmontage. Dabei war es schon erstaunlich, was für eine Logistik sich hinter dem ganzen Karosseriebau verbirgt. Rollen doch in 24 Stunden unglaubliche 1000 Mercedes A-Klasse Modelle vom Band. Teilweise wird in menschenleeren Hallen, nur durch Roboter, produziert.

Nach dem Mittagessen ging es dann zum Unimog-Museum. Dort konnte man dann auch in einem Unimog über einen Geländeparcour mitfahren.

Am 11. September 2014 führte uns unser Betriebsausflug nach Oberursel zu Rolls-Royce Deutschland. Rolls-Royce Deutschland ist der einzige behördlich genehmigte Triebwerkshersteller Deutschlands mit Entwicklungs-, Herstellungs- und Instandhaltungsbetriebszulassung für moderne zivile und militärische Turbinentriebwerke. In Zusammenarbeit mit deutschen Partnern liefert, produziert und betreut Rolls-Royce Triebwerke für deutsche und internationale Kunden. Neben namhaften Linien- und Charter-Fluggesellschaften setzt auch die Bundeswehr Triebwerke von Rolls-Royce in Flugzeugen und Hubschraubern ein. So befinden sich derzeit 2.200 Rolls-Royce Triebwerke



in Deutschland im Einsatz. Bei der anschließenden Führung durch das Museum konnte man Eindrücke aus der Geschichte bis heute über die Firma Rolls Royce erfahren, die früher Oberurseler Motorenfabrik hieß.

Nach einem ausgiebigen Mittagessen im Alt-Oberurseler Brauhaus ging es dann zur



Besichtigung des Schlosses Braunsfels, welches auch das Schloss Neuschwansteins im Taunus genannt wird. Seit dem 13. Jahrhundert ist es Sitz der Grafen von Solms und befindet sich noch bis heute im Familienbesitz der Grafen von Oppersdorff-Solms-Braunsfels.

Sven Reploeg

### **Lander-Tag**

Am 24.10.14 fand der erste Lander-Tag statt. Morgens stellten Geförderte der Professor Gerhard Lander-Stiftung ihre wissenschaftlichen Arbeiten vor. Nach einer Stärkung aller aktiv Beteiligten im Restaurant ‚Zum Lahmen Esel‘ gab es nachmittags Fachvorträge zum Thema ‚Teilchentherapie‘. Der schöne Tag klang aus mit Posterpräsentationen, zu denen Häppchen gereicht wurden.

## Publikationen

### Astrophysik: Begutachtete Zeitschriften

*S. Schmidt, T. Heftrich, J. Glorius, G. Hampel, R. Plag and 6 more*

Behavior of a trapezoid-based data acquisition system up to 100 kHz and beyond  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 768, 192-196, 2014

*L. Netterdon, A. Endres, G.G. Kiss, J. Mayer, T. Rauscher and 4 more*

Cross-section measurement of the  $\text{Ba130}(p, \gamma)\text{La131}$  reaction for gamma-process nucleosynthesis  
Physical Review C 90, 35806, 2014

*P. Zugec, N. Colonna, D. Bosnar, A. Mengoni, S. Altstadt and 101 more*

Measurement of the  $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$  cross section at n\_TOF at CERN by in-beam activation analysis  
Physical Review C 90, 21601, 2014

*E. Mendoza, D. Cano-Ott, C. Guerrero, E. Berthoumieux, U. Abbondanno and 127 more*

Measurement and analysis of the Am243 neutron capture cross section at the n\_TOF facility at CERN  
Physical Review C 90, 34608, 2014

*M. Röder, Z. Elekes, T. Aumann, D. Bemmerer, K. Boretzky and 15 more*

Efficiency determination of resistive plate chambers for fast quasi-monoenergetic neutrons  
European Physical Journal A 50, 112, 2014

*J. Glorius, K. Sonnabend, J. Görres, D. Robertson, M. Knörzer and 8 more*

Experimental cross sections of  $^{165}\text{Ho}(\gamma,n)^{168}\text{Tm}$  and  $^{166}\text{Er}(\gamma,n)^{169}\text{Yb}$  for optical potential studies relevant for the astrophysical  
Phys. Rev. C 89, 65808-65815, 2014

*P. Zugec, N. Colonna, D. Bosnar, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 101 more*

GEANT4 simulation of the neutron background of the  $\text{C}_6\text{D}_6$  set-up for capture studies at n\_TOF  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 760, 57-67, 2014

*B. Mei, H. S. Xu, X.L. Tu, Y.H. Zhang, Y.A. Litvinov and 24 more*

Origin of odd-even staggering in fragment yields: Impact of nuclear pairing and shell structure on the particle-emission threshold energy  
Physical Review C 89, 54612, 2014

*L. Netterdon, V. Derya, J. Endres, C. Fransen, A. Hennig and 6 more*

The  $\gamma$ -ray spectrometer HORUS and its applications for nuclear astrophysics  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 754, 94-100, 2014

*E. Uberseder, T. Adachi, T. Aumann, S. Beceiro-Novo, K. Boretzky and 45 more*

First Experimental Constraint on the  $\text{Fe59}(n, \gamma)\text{Fe60}$  Reaction Cross Section at Astrophysical Energies via the Coulomb Dissociation of Fe60



Physical Review Letters 112, 211101, 2014

*K. Fraval, F. Gunsing, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin and 105 more*

Measurement and analysis of the  $\text{Am}241(n,\gamma)$  cross section with liquid scintillator detectors using time-of-flight spectroscopy at the n\_TOF facility at CERN  
Phys. Rev. C 89, 44609-44622, 2014

*D. Karadimos, R. Vlastou, K. Ioannidis, P. Demetriou, M. Diakaki and 122 more*

Neutron-induced fission cross section of  $\text{U}234$  measured at the CERN n\_TOF facility  
Phys. Rev. C 89, 44606-44616, 2014

*F. Wamers, J. Marganec, F. Aksouh, Y. Aksyutina, H. Álvarez-Pol and 52 more*

First Observation of the Unbound Nucleus  $\text{Ne}15$   
Phys. Rev. Lett. 112, 132502-132506, 2014

*A. Sauerwein, K. Sonnabend, M. Fritzsche, J. Glorius, E. Kwan and 8 more*

Determination of the  $\text{Ce}142(\gamma,n)$  cross section using quasi-monoenergetic Compton backscattered  $\gamma$  rays  
Phys. Rev. C 89, 35803, 2014

*C. Langer, O. Lepyoshkina, Y. Aksyutina, T. Aumann, S. Beceiro Novo and 38 more*

Thermonuclear reaction  $\text{S}30(p,\gamma)\text{Cl}31$  studied via Coulomb breakup of  $\text{Cl}31$   
Phys. Rev. C 89, 35806-35813, 2014

*D. Tarrío, L. S. Leong, L. Audouin, I. Duran, C. Paradela and 100 more*

Measurement of the angular distribution of fission fragments using a PPAC assembly at CERN n\_TOF  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 743, 79-85, 2014

*P. Zugec, M. Barbagallo, N. Colonna, D. Bosnar, S. Altstadt and 97 more*

Experimental neutron capture data of  $^{58}\text{Ni}$  from the CERN n\_TOF facility  
Physical Review C 89, 14605, 2014

*R. Reifarth, C. Lederer, F. Käppeler*

Neutron reactions in astrophysics  
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 41, 53101, 2014

*C. Lederer, C. Massimi, E. Berthoumieux, N. Colonna, R. Dressler and 110 more*

$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)$  and  $^{63}\text{Ni}(n,\gamma)$  cross sections measured at the n\_TOF facility at CERN  
Phys. Rev. C 89, 25810-25820, 2014

*R. Reifarth, Y.A. Litvinov*

Measurements of neutron-induced reactions in inverse kinematics  
Phys. Rev. ST Accel. Beams 17, 14701-14709, 2014

*L. Schnorrenberger, D. Savran, J. Glorius, K. Lindenberg, B. Löher and 2 more*

Characterization of  $\gamma$ -ray detectors using the photon tagger NEPTUN for energies up to 20 MeV  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 735, 19-23, 2014

- S. Dababneh, J. Görres, M. Heil, F. Käppeler, R. Reifarth and 1 more*  
 A compact Ge-BGO coincidence array for ultra-sensitive in-beam gamma spectroscopy  
 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers,  
 Detectors and Associated Equipment 737, 135-141, 2014
- A. Wallner, M. Bichler, K. Buczak, D. Fink, O. Forstner and 11 more*  
 High-sensitivity isobar-free AMS measurements and reference materials for  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{68}\text{Ge}$  and  
 $^{202}\text{gPb}$   
 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 294, 374-381, 2013
- Y. Aksyutina, T. Aumann, K. Boretzky, M.J.G. Borge, C. Caesar and 32 more*  
 Study of the  $\text{Be}^{14}$  Continuum: Identification and Structure of its Second  $2^+$  State  
 Phys. Rev. Lett. 111, 242501-242505, 2013
- M. Gascón, L. Schnorrenberger, B. Pietras, H. Álvarez-Pol, D. Cortina-Gil and 8 more*  
 Characterization of a CsI(Tl) array coupled to avalanche photodiodes for the Barrel of the  
 CALIFA calorimeter at the NEPTUN tagged gamma beam facility  
 Journal of Instrumentation 8, 2013
- M. Scheck, V.Y. Ponomarev, T. Aumann, J. Beller, M. Fritzsche and 13 more*  
 Decay pattern of the pygmy dipole resonance in  $^{60}\text{Ni}$   
 Physical Review C 87, 51304, 2013
- M. Scheck, V.Y. Ponomarev, M. Fritzsche, J. Joubert, T. Aumann and 16 more*  
 Photoresponse of  $^{60}\text{Ni}$  below 10-MeV excitation energy: Evolution of dipole resonances in fp-  
 shell nuclei near  $N=Z$   
 Physical Review C 88, 44304, 2013
- C. Romig, J. Beller, J. Glorius, J. Isaak, J. H. Kelley and 13 more*  
 Low-lying dipole strength of the open-shell nucleus  $^{94}\text{Mo}$   
 Physical Review C 88, 44331, 2013
- J. Beller, N. Pietralla, J. Barea, M. Elvers, J. Endres and 13 more*  
 Constraint on  $0\nu\beta\beta$  Matrix Elements from a Novel Decay Channel of the Scissors Mode: The  
 Case of  $\text{Gd}^{154}$   
 Physical Review Letters 111, 172501, 2013
- J. Isaak, D. Savran, M. Krticka, M. W. Ahmed, J. Beller and 15 more*  
 Constraining nuclear photon strength functions by the decay properties of photo-excited states  
 Physics Letters B 727, 361-365, 2013
- P.M. Goddard, N. Cooper, V. Werner, G. Rusev, P.D. Stevenson and 19 more*  
 Dipole response of  $^{76}\text{Se}$  above 4 MeV  
 Physical Review C 88, 64308, 2013
- D. M. Rossi, P. Adrich, F. Aksouh, H. Alvarez-Pol, T. Aumann and 43 more*  
 Measurement of the Dipole Polarizability of the Unstable Neutron-Rich Nucleus  $\text{Ni}^{68}$   
 Physical Review Letters 111, 242503, 2013

- Yu.A. Litvinov, S. Bishop, K. Blaum, F. Bosch, C. Brandau and 36 more*  
Nuclear physics experiments with ion storage rings  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 317, Part B, 603 – 616, 2013
- C. Caesar, J. Simonis, T. Adachi, Y. Aksyutina, J. Alcantara and 118 more*  
Beyond the neutron drip line: The unbound oxygen isotopes 25-O and 26-O  
Phys. Rev. C 88, 34313-34320, 2013
- A. Best, M. Beard, J. Görres, M. Couder, R. deBoer and 14 more*  
Measurement of the reaction  $^{17}\text{O}(\alpha, n)^{20}\text{Ne}$  and its impact on the s process in massive stars  
Physical Review C 87, 45805, 2013
- A. Best, S. Falahat, J. Görres, M. Couder, R. deBoer and 11 more*  
Measurement of the reaction  $^{18}\text{O}(\alpha, n)^{21}\text{Ne}$   
Physical Review C 87, 45806, 2013
- M. Scheck, V. Y. Ponomarev, T. Aumann, J. Beller, M. Fritzsche and 13 more*  
Decay pattern of the pygmy dipole resonance in  $^{60}\text{Ni}$   
Physical Review C 87, 51304, 2013
- Y. Aksyutina, T. Aumann, K. Boretzky, M. J. G. Borge, C. Caesar and 30 more*  
Structure of the unbound nucleus  $^{13}\text{Be}$ : One-neutron knockout reaction data from  $^{14}\text{Be}$  analyzed in a holistic approach  
Physical Review C 87, 64316, 2013
- C. Guerrero, A. Tsinganis, E. Berthoumieux, M. Barbagallo, F. Belloni and 108 more*  
Performance of the neutron time-of-flight facility n\_TOF at CERN  
The European Physical Journal A 49, 1-15, 2013
- F. Belloni, M. Calviani, N. Colonna, P. Mastinu, P.M. Milazzo and 114 more*  
Measurement of the neutron-induced fission cross-section of  $^{241}\text{Am}$  at the time-of-flight facility n\_TOF  
The European Physical Journal A 49, 1-6, 2013
- G. Tagliente, P. M. Milazzo, K. Fujii, U. Abbondanno, G. Aerts and 105 more*  
The  $^{93}\text{Zr}(n, \gamma)$  reaction up to 8 keV neutron energy  
Phys. Rev. C 87, 014622 7, 2013
- Y. Aksyutina, T. Aumann, K. Boretzky, M.J.G. Borge, C. Caesar and 30 more*  
Momentum profile analysis in one-neutron knockout from Borromean nuclei  
Physics Letters B 718, 1309 – 1313, 2013
- C. Lederer, C. Massimi, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin and 100 more*  
Neutron Capture Cross Section of Unstable  $^{63}\text{Ni}$ : Implications for Stellar Nucleosynthesis  
Phys. Rev. Lett. 110, 022501 5, 2013

## Astrophysik: Konferenzberichte

*N. Benouaret, J. Beller, J. Isaak, J.H. Kelley, H. Pai and 13 more*

Photoexcitation of the Stable Tl Isotopes Below the Neutron Separation Energy  
Act. Phys. Pol. B 45, 193, 2014

*J. Isaak, J. Beller, E. Fiori, M. Krticka, B. Löher and 11 more*

Decay pattern of the Pygmy Dipole Resonance in  $^{130}\text{Te}$   
European Physical Journal Web of Conferences 66, 2055, 2014

*P. Scholz, J. Endres, A. Hennig, J. Mayer, L. Netterdon and 2 more*

Experimental studies of reactions relevant for  $\gamma$ -process nucleosynthesis  
American Institute of Physics Conference Series 1595, 261-263, 2014

*S. Chakraborty, U. Datta Pramanik, T. Aumann, S. Beceiro, K. Boretzky and 49 more*

Ground-state configuration of neutron-rich Aluminum isotopes through Coulomb Breakup  
European Physical Journal Web of Conferences 66, 2019, 2014

*A. Rahaman, U. Datta Pramanik, T. Aumann, S. Beceiro, K. Boretzky and 49 more*

Study of Ground State Wave-function of the Neutron-rich  $^{29,30}\text{Na}$  Isotopes through Coulomb Breakup  
European Physical Journal Web of Conferences 66, 2087, 2014

*F. Mingrone, C. Massimi, G. Vannini, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 97 more*

$^{238}\text{U}(n, \gamma)$  reaction cross section measurement with C6D6 detectors at the n\_TOF CERN facility.  
European Physical Journal Web of Conferences 66, 3061, 2014

*P. Russotto, M. Chartier, M. D. Cozma, E. De Filippo, A. Le Fèvre and 88 more*

The ASY-EOS experiment at GSI: investigating symmetry energy at supra-saturation densities  
European Physical Journal Web of Conferences 66, 3074, 2014

*F. Wamers, J. Marganec, F. Aksouh, Y. Aksyutina, H. Álvarez-Pol and 63 more*

Exclusive measurements of nuclear breakup reactions of  $^{17}\text{Ne}$   
European Physical Journal Web of Conferences 66, 3094, 2014

*C. Massimi, P. Koehler, S. Kopecky, F. Mingrone, P. Schillebeeckx and 98 more*

The nucleosynthesis of heavy elements in Stars: the key isotope  $^{25}\text{Mg}$   
European Physical Journal Web of Conferences 66, 7016, 2014

*M. Barbagallo, N. Colonna, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin and 95 more*

Measurements of neutron cross sections for advanced nuclear energy systems at n\_TOF (CERN)  
European Physical Journal Web of Conferences 66, 10001, 2014

*E. Chiaveri, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin, M. Barbagallo and 105 more*

The CERN n\_TOF Facility: Neutron Beams Performances for Cross Section Measurements

Nuclear Data Sheets 119, 1-4, 2014

*C. Guerrero, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin, M. Barbagallo and 100 more*  
Investigation of Neutron-induced Reactions at n\_TOF: an Overview of the 2009-2012  
Experimental Program  
Nuclear Data Sheets 119, 5-9, 2014

*J. Balibrea, E. Mendoza, D. Cano-Ott, C. Guerrero, E. Berthoumieux and 105 more*  
Measurement of the Neutron Capture Cross Section of the Fissile Isotope  $^{235}\text{U}$  with the  
CERN n\_TOF Total Absorption Calorimeter and a Fission Tagging Based on Micromegas  
Detectors  
Nuclear Data Sheets 119, 10-13, 2014

*F. Mingrone, C. Massimi, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin and 98 more*  
Measurement of the  $^{238}\text{U}$  Radiative Capture Cross Section with C6D6 at the CERN n\_TOF  
Facility  
Nuclear Data Sheets 119, 18-21, 2014

*T. Wright, C. Guerrero, J. Billowes, T. Ware, D. Cano-Ott and 101 more*  
High-precision Measurement of the  $^{238}\text{U}(n,\gamma)$  Cross Section with the Total Absorption  
Calorimeter (TAC) at n\_TOF, CERN  
Nuclear Data Sheets 119, 26-30, 2014

*E. Leal-Cidoncha, I. Durán, C. Paradela, D. Tarrío, L. S. Leong and 115 more*  
Study of  $^{234}\text{U}(n,f)$  Resonances Measured at the CERN n\_TOF Facility  
Nuclear Data Sheets 119, 42-44, 2014

*M. Barbagallo, N. Colonna, M. J. Vermeulen, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 99 more*  
Capture Cross Section of  $^{236}\text{U}$ : the n\_TOF Results  
Nuclear Data Sheets 119, 45-47, 2014

*A. Tsinganis, E. Berthoumieux, C. Guerrero, N. Colonna, M. Calviani and 106 more*  
Measurement of the  $^{242}\text{Pu}(n,f)$  Cross Section at the CERN n\_TOF Facility  
Nuclear Data Sheets 119, 58-60, 2014

*E. Mendoza, D. Cano-Ott, C. Guerrero, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 100 more*  
Measurement of the  $^{241}\text{Am}$  and the  $^{243}\text{Am}$  Neutron Capture Cross Sections at the n\_TOF  
Facility at CERN  
Nuclear Data Sheets 119, 65-68, 2014

*K. Fraival, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin, M. Barbagallo and 95 more*  
Measurement and Analysis of  $^{241}\text{Am}(n,\gamma)$  Cross Sections with C6D6 Detectors at the n\_TOF  
Facility at CERN  
Nuclear Data Sheets 119, 72-75, 2014

*C. Massimi, P. Koehler, F. Mingrone, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 97 more*  
New Measurement of the  $^{25}\text{Mg}(n,\gamma)$  Reaction Cross Section  
Nuclear Data Sheets 119, 110-112, 2014

- F. Gunsing, K. Fraval, M. Mathelie, S. Valenta, F. Becvár and 102 more*  
Spin Measurements of  $n + ^{87}\text{Sr}$  for Level Density Studies  
Nuclear Data Sheets 119, 132-136, 2014
- F. Belloni, S. Andriamonje, E. Berthoumieux, M. Calviani, E. Chiaveri and 102 more*  
A Micromegas Detector for Neutron Beam Imaging at the  $n_{\text{TOF}}$  Facility at CERN  
Nuclear Data Sheets 119, 365-367, 2014
- D. Cortina-Gil, H. Alvarez-Pol, T. Aumann, V. Avdeichikov, M. Bendel and 59 more*  
CALIFA, a Dedicated Calorimeter for the R3B/FAIR  
Nuclear Data Sheets 120, 99-101, 2014
- S. G. Altstadt, T. Adachi, Y. Aksyutina, J. Alcantara, H. Alvarez-Pol and 121 more*  
 $^{13,14}\text{B}(n, \gamma)$  via Coulomb Dissociation for Nucleosynthesis towards the r-Process  
Nuclear Data Sheets 120, 197-200, 2014
- C. Lederer, G. Giubrone, C. Massimi, P. Zugec, M. Barbagallo and 100 more*  
Neutron Capture Reactions on Fe and Ni Isotopes for the Astrophysical s-process  
Nuclear Data Sheets 120, 201-204, 2014
- C. Weiß, C. Guerrero, E. Griesmayer, J. Andrzejewski, G. Badurek and 106 more*  
The  $(n, \alpha)$  Reaction in the s-process Branching Point  $^{59}\text{Ni}$   
Nuclear Data Sheets 120, 208-210, 2014
- D. M. Rossi, P. Adrich, F. Aksouh, H. Alvarez-Pol, T. Aumann and 39 more*  
Giant and Low-Energy Dipole Modes in Neutron-Rich Nuclei  
Fission and Properties of Neutron-Rich Nuclei - Proceedings of the Fifth International Conference on ICFN5. Edited by Hamilton Joseph H. Ramayya Akunuri V., 228-235, 2014
- J. Endres, A. Zilges, E. Litvinova, D. Savran, P.A. Butler and 13 more*  
Study of the Pygmy Dipole Resonance with Hadronic and Electromagnetic Probes  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics , 320, 2013
- A. Best, J. Görres, M. Beard, M. Couder, R. Deboer and 13 more*  
Measurement of the Reactions  $^{17}\text{O}(\alpha, \gamma)^{21}\text{Ne}$  and  $^{17}\text{O}(\alpha, n)^{20}\text{Ne}$  and Their Impact on the Weak s Process  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics - Proceedings of the Fourteenth International Symposium. Edited by Garrett Paul E et al. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2013. ISBN \#9789814383646, pp. 320-325 , 320-325, 2013
- V. Werner, N. M. Cooper, P. M. Goddard, M. K. Smith, D. Savran and 18 more*  
Dipole Response of  $^{76}\text{Se}$  up to 9 MeV  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics - Proceedings of the Fourteenth International Symposium. Edited by Garrett Paul E et al. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2013. ISBN \#9789814383646, pp. 421-426 , 421-426, 2013
- L. S. Leong, L. Tassan-Got, D. Tarrío, L. Audouin, C. Paradela and 101 more*  
Angular distribution in the neutron-induced fission of actinides  
European Physical Journal Web of Conferences 62, 8003, 2013

*C. Weiß, E. Griesmayer, C. Guerrero, S. Altstadt, J. Andrzejewski and 106 more*  
A new CVD diamond mosaic-detector for (n,  $\alpha$ ) cross-section measurements at the n\_TOF experiment at CERN  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 732, 190-194, 2013

*D. M. Rossi, P. Adrich, F. Aksouh, H. Alvarez-Pol, T. Aumann and 39 more*  
Coulomb excitation of exotic nuclei at the R3B-LAND setup  
Journal of Physics Conference Series 420, 12072, 2013

*P. Russotto, M. Chartier, E. De Filippo, A. Le Fèvre, S. Gannon and 87 more*  
The ASY-EOS experiment at GSI: investigating the symmetry energy at supra-saturation densities  
Journal of Physics Conference Series 420, 12092, 2013

*N. Colonna, S. Altstadt, J. Andrzejewski, L. Audouin, M. Barbagallo and 95 more*  
Neutron research at the N\_TOF facility (CERN): Results and perspectives  
American Institute of Physics Conference Series 1525, 570-576, 2013

*P. Cennini, C. Massimi, H. Leeb, J. Andrzejewski, S. David and 123 more*  
The Am-243 neutron capture measurement at the n\_TOF Facility  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, 442-449, 2013

*N. Dzysiuk, V. Boccone, V. Variale, P. Mastinu, P. Koehler and 80 more*  
The latest on neutron-induced capture and fission measurements at the CERN n\_TOF Facility  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, 354-364, 2013

*E. Uberseder, A. Najafi, T. Adachi, O. Ershova, M. Holl and 36 more*  
First experimental constraint on the  $^{59}\text{Fe}(n, \gamma)^{60}\text{Fe}$  cross section from Coulomb Dissociation  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, 347-353, 2013

*R. Reifarth, J. Glorius, S. Kräckmann, C. Langer, O. Meusel and 6 more*  
Current experimental developments for s-process nucleosynthesis  
Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, 337-346, 2013

## **Beschleuniger- und Plasmaphysik: Tagungs- und Zeitschriftenpublikationen**

*H. Podlech*  
Superconducting Versus Normal Conducting Cavities  
CERN Yellow Report CERN-2013-001, 151-170, arXiv:1303.6552, 2013

*R. Salemme, D. Vandeplasse, L. Medeiros Romão, J.-P. Carneiro, J.-L. Biarrotte, M. Baylac, D. Uriot, H. Podlech*  
The R&D@UCL Program in Support of the MYRRHA Linear Accelerator  
Second International Workshop on Technology of Components of Accelerator Driven Systems, TCADS2013, Nantes

*W. Barth, S. Mickat, A. Orzhekhovskaya, M. Amberg, K. Aulenbacher, V. Gettmann, S. Jacke, F.D. Dziuba, H. Podlech, U. Ratzinger*

Advanced Superconducting CW Heavy Ion Linac R&D

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3770-3772, 2013

*M. Amberg, M. Busch, F.D. Dziuba, H. Podlech, U. Ratzinger, M. Amberg, K. Aulenbacher*

Microphonics Analysis of the SC 325 MHz CH-Cavity

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 2319-2321, 2013

*G. Clemente, W. Barth, P. Forck, L. Groening, R. Hollinger, M. Kaiser, J. Pfister, W. Vinzenz, S.G. Yaramyshev, C. Zhang, R. M. Brodhage, B. Koubek, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, R. Tiede, N. Chauvin, C.S. Simon, O. Tuske, O. Delferriere, B. Laune, J. Lesrel*

Beam Dynamics Error and Loss Investigation of the FAIR Proton Injector

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3776-3778, 2013

*F. Dziuba, M. Busch, H. Podlech, U. Ratzinger, M. Amberg, K. Aulenbacher, W. Barth, S. Mickat*

Superconducting CH Cavities for Heavy Ion Acceleration

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3794-3796, 2013

*B. Koubek, H. Podlech, A. Schempp, J.S. Schmidt*

Power Tests of the 325 MHz 4-ROD RFQ Prototype

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3800-3802, 2013

*M. Vossberg, H.C. Lenz, H. Podlech, A. Schempp, A. Bechtold*

RF Measurement during CW Operation of an RFQ Prototype

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 2720-2722, 2013

*G. Clemente, W. Barth, R. Bereznov, P. Forck, L. Groening, R. Hollinger, M. Kaiser, A. Krämer, F. Maimone, C. Mühle, J. Pfister, G. Schreiber, J. Trüller, W. Vinzenz, C. Will, R. M. Brodhage, B. Koubek, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, R. Tiede, N. Chauvin, O. Delferriere, B. Laune, J. Lesrel, C.S. Simon, O. Tuske*

Status of the 70 MeV FAIR Proton Injector

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3773-3775, 2013

*D. Mäder, D. Koser, H. Podlech, A. Schempp*

Consolidated Design of the 17 MeV Injektor for MYRRHA

Proceedings of the International Conference on RF Superconductivity SRF2013, Paris, 2013

*F. Dziuba, M. Amberg, K. Aulenbacher, W. Barth, M. Busch, V. Gettmann, H. Podlech, U. Ratzinger, S. Mickat*

A Superconducting 217 MHz CH-Cavity for the CW Linac Demonstrator at GSI

Proceedings of the International Conference on RF Superconductivity SRF2013, Paris, 2013

*M. Busch, F. Dziuba, H. Podlech, U. Ratzinger, M. Amberg*

Cold Measurements of the 325 MHz CH-Cavity

Proceedings of the International Conference on RF Superconductivity SRF2013, Paris, 2013



- B. Masschaele, H. De Gersem, T. Roggen, H. Podlech, D. Vandeplassche*  
Simulation of the Thermal Deformation and the Cooling of a 4-Rod Radio Frequency  
Quadrupole  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2014, Dresden, 376-378,  
2014
- P.P. Schneider, H. Dinter, M. Droba, O. Meusel, D. Noll, T. Nowotnick, O. Payir, H. Podlech,  
A. Schempp, C. Wiesner*  
Beam Dynamics in the LEBT for FRANZ  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2014, Dresden, 3241-  
3243, 2014
- B. Koubek, H. Podlech, A. Schempp, J. Schmidt*  
Results of the High Power Test of the 325 MHz 4-Rod RFQ Prototype  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2014, Dresden, 3235-  
3237, 2014
- W. Barth, K. Aulenbacher, F. Dziuba, M. Amberg, V. Gettmann, S. Mickat, H. Podlech, U.  
Ratzinger*  
Further R&D for a new Superconducting CW Heavy Ion Linac@GSI  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2014, Dresden, 3211-  
3213, 2014
- C. Zhang, H. Podlech*  
New Reference Design of the European ADS RFQ Accelerator for MYRRHA  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2014, Dresden, 3223-  
3225, 2014
- F. Dziuba, M. Amberg, M. Busch, H. Podlech, U. Ratzinger, M. Amberg, K. Aulenbacher, W.  
Barth, S. Mickat*  
First RF Measurements of the Superconducting 217MHz CH Cavity for the CW-  
Demonstrator at GSI  
Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014
- D. Mäder, B. Basten, D. Koser, H.C. Lenz, N.F. Petry, H. Podlech, A. Schempp, M. Schwarz,  
M. Vossberg, C. Zhang*  
R&D of the 17MeV MYRRHA Injector  
Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014
- M. Amberg, K. Aulenbacher, W.A. Barth, S. Mickat, M. Busch, F. Dziuba, H. Podlech, U.  
Ratzinger*  
The Fast Piezo-Based Frequency Tuner for sc CH-Cavities  
Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014
- B. Basten, M. Amberg, M. Busch, F. Dziuba, H. Podlech, M. Amberg, K. Aulenbacher, W.A.  
Barth, S. Mickat*  
Development of a 217 MHz Superconducting CH-Structure  
Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf

*M. Schwarz, C. Claessens, M. Heilmann, O. Hinrichs, D. Koser, O. Meusel, D. Mäder, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Seibel*

A Rebunching CH Cavity for Intense Proton Beams

Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014

*R. Tiede, D. Mäder, N.F. Petry, H. Podlech, U. Ratzinger, C. Zhang*

Improvements of the LORASR Code and Their Impact on Current Beam Dynamics Designs

Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014

*M. Busch, M. Amberg, F. Dziuba, H. Podlech, U. Ratzinger*

Cold Power Tests of the sc 325MHz CH-Cavity

Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014

*B. Koubek, H. Podlech, A. Schempp, J.S. Schmidt (IAP)*

The new 325 MHz 4-Rod RFQ Prototype for the p-LINAC at FAIR

Proceedings of the International Linear Accelerator Conference LINAC2014, Genf, 2014

*W. Schweizer, U. Ratzinger, B. Klump, K. Volk*

A high intensity 200 mA proton source for the FRANZ-Project (Frankfurt-Neutron-Source at the Stern-Gerlach-Center)

Review of Scientific Instruments 85, 02A743, 2014

*M. Heilmann, C. Claessens, O. Meusel, D. Mäder, U. Ratzinger, A. Schempp, M. Schwarz*

A Coupled RFQ-IH Cavity for the Neutron Source FRANZ

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3797, 2013

*A. Almomani, U. Ratzinger*

High Gradient Room Temperature Cavity Development for 10 – 100 AMeV Beams

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3785, 2013

*K. Schulte, M. Droba, O. Meusel, U. Ratzinger, A. Adonin, R. Berezov, R. Hollinger, J. Pfister*

Gabor Lens Performance Studies at the GSI High Current Test Injector

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3806, 2013

*M. Droba, H. Dinter, O. Meusel, D. Noll, U. Ratzinger, K. Schulte*

High-Current Beam Transport Simulations Including Gabor Lenses in Varying Non-Neutral Plasma States

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 1892, 2013

*R. M. Brodhage, A. Almomani, U. Ratzinger*

Design Study of a High Frequency Proton Ladder RFQ

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3788, 2013

*G. Clemente, W.A. Barth, P. Forck, L. Groening, R. Hollinger, M. Kaiser, J. Pfister, W. Vinzenz, S.G. Yaramyshev, C. Zhang, R. M. Brodhage, B. Koubek, H. Podlech, U. Ratzinger, A.*

*Schempp, R. Tiede, N. Chauvin, C.S. Simon, O. Tuske, O. Delferrière, B. Launé, J. Lesrel*

Beam Dynamics Error and Loss Investigation of the FAIR Proton Injector

Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3776, 2013

*Y. El-Hayek, M.M. Kirk, D. Ondreka, P.J. Spiller, U. Ratzinger*  
Initial Beam Loss and Control of Dynamic Vacuum Effects in SIS18  
Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 300, 2013

*A.V. Butenko, E.D. Donets, E.E. Donets, V.V. Fimushkin, A. Govorov, A.D. Kovalenko, K.A. Levterov, I.N. Meshkov, V. Monchinsky, A.Yu. Ramsdorf, A.O. Sidorin, G.V. Trubnikov, H. Höltermann, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, A. Kolomiets, G. Kropachev, T. Kulevoy, S.M. Polozov*

Development of the NICA Injection Facility  
Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3915, 2013

*R.M. Brodhage, U. Ratzinger, G. Clemente, W. Vinzenz*  
First Coupled CH Power Cavity for the FAIR Proton Injector  
Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3791, 2013

*G. Clemente, W.A. Barth, R. Bereznov, P. Forck, L. Groening, R. Hollinger, M. Kaiser, A. Krämer, F. Maimone, C. Mühle, J. Pfister, G. Schreiber, J. Trüller, W. Vinzenz, C. Will, R. M. Brodhage, B. Koubek, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, R. Tiede, N. Chauvin, O. Delferrière, B. Launé, J. Lesrel, C.S. Simon, O. Tuske*

Status of the 70 MeV FAIR Proton Injector  
Proc. IPAC2013, Shanghai, China, May 12 – 17, p. 3773, 2013

*A. Almomani, U. Ratzinger*  
A 325 MHz High Gradient CH – Test Cavity for  $\beta = 0.16$   
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3229, 2014

*M. Heilmann, C. Claessens, O. Meusel, D. Mäder, U. Ratzinger, A. Schempp, M. Schwarz*  
Preparation of the Coupled RFQ-IH-cavity for FRANZ  
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3367, 2014

*A.V. Butenko, E.E. Donets, A.D. Kovalenko, K.A. Levterov, A.O. Sidorin, G.V. Trubnikov, A. Belov, E.D. Donets, V.V. Fimushkin, A. Govorov, V. Kobets, V. Monchinsky, H. Höltermann, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, T. Kulevoy, D.A. Liakin*  
Development of NICA Injection Complex  
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 2103, 2014

*M. Droba, A. Ates, O. Meusel, H. Niebuhr, D. Noll, U. Ratzinger, J.F. Wagner*  
Simulation Studies on Beam Injection into a Figure-8 Type Storage Ring  
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 1126, 2014

*C. Wiesner, H. Dinter, M. Droba, O. Meusel, D. Noll, T. Nowotnick, O. Payir, U. Ratzinger, P.P. Schneider*  
Experimental Performance of an E x B Chopper System  
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3244, 2014

*F. Kesting, G. Franchetti, U. Ratzinger*  
Study of the “Particle-in-Cell” Induced Noise on High Intensity Beams  
Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3005, 2014

- R. M. Brodhage, G. Clemente, W. Vinzenz, U. Ratzinger*  
 First Coupled CH Power Cavity for the FAIR Proton Injector  
 Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3232, 2014
- S.M. Alzubaidi, O. Meusel, U. Ratzinger, K. Volk, C. Wagner, H. Dinter*  
 A Control System for the FRANZ Accelerator  
 Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 3134, 2014
- K. Schulte, M. Droba, S. Klaproth, O. Meusel, D. Noll, U. Ratzinger*  
 Beam Transport Experiments Using Gabor Lenses  
 Proc. IPAC2014, Dresden, Germany, June 15 – 20, p. 818, 2014
- M. Schwarz, C. Claessens, M. Heilmann, O. Hinrichs, D. Koser, O. Meusel, D. Mäder, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Seibel*  
 A Rebunching CH Cavity for Intense Proton Beams  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- S. Mickat, W.A. Barth, L. Groening, A. Orzhekhovskaya, B. Schlitt, C. Xiao, U. Ratzinger, R. Tiede*  
 Status of the GSI Poststripper (HE-Linac)  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- H. Hähnel, U. Ratzinger, R. Tiede*  
 Proposal of a Conventional Matching Section as an Alternative to the Existing HSI MEBT Superlens at GSI UNILAC  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- B. Klump, U. Ratzinger, W. Schweizer, K. Volk*  
 Development of a Pepper-Pot Emittance Measurement Device for FRANZ  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- D. Noll, M. Droba, O. Meusel, U. Ratzinger, K. Schulte, C. Wiesner*  
 Investigations of Space-charge Compensation in Low energy Beam Transport (LEBT) Sections Using a Particle-in-cell Code  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- A. Almomani, U. Ratzinger*  
 Status of a High Gradient Crossbar H-type (CH) Cavity Development for 10 – 100 AMeV Beams  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- R. Tiede, D. Mäder, N.F. Petry, H. Podlech, U. Ratzinger, C. Zhang*  
 Improvements of the LORASR Code and Their Impact on Current Beam Dynamics Designs  
 Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014
- A.V. Butenko, A.D. Kovalenko, A.O. Sidorin, A. Tuzikov, V. Aleksandrov, A. Govorov, V. Kobets, K.A. Levterov, V.A. Mikhaylov, V. Monchinsky, G.V. Trubnikov, H. Höltermann, H. Podlech, U. Ratzinger, A. Schempp, T. Kulevoy, D.A. Liakin,*

The Heavy Ion Injector at the NICA Project  
Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014

*K. Schulte, M. Droba, S. Klaproth, O. Meusel, D. Noll, U. Ratzinger*  
Alternative Compact LEBT Design for the FAIR Injector Upgrade  
Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014

*M. Schütt, A. Almomani, U. Ratzinger (IAP) R. M. Brodhage, C. Zhang*  
Proposal of a 325 MHz Ladder-RFQ for the FAIR Proton-Linac  
Proc. LINAC 2014, Geneva, Switzerland, August 31 - September 5, 2014

*K. Schulte, M. Droba, S. Klaproth, O. Meusel, D. Noll, U. Ratzinger, K. Zerbe, O.K. Kester*  
Space-Charge Compensation of Intense Ion Beams by Nonneutral Plasma Columns  
Proc. of HB 2014, East Lansing, USA, November 10-14, 2014

*D. Noll, M. Droba, O. Meusel, U. Ratzinger, K. Schulte, C. Wiesner*  
The Particle-in-Cell Code bender and Its Application to Non-Relativistic Beam Transport  
Proc. of HB 2014, East Lansing, USA, November 10-14, 2014

*C. Wiesner, M. Droba, O. Meusel, D. Noll, O. Payir, U. Ratzinger, P.P. Schneider*  
Chopping High – Intensity Ion Beams at FRANZ  
LINAC14, Geneva, Switzerland, August 31 – September 5, 2014

*C. Xiao, L. Groening, O. K. Kester*  
Collimation and decoupling of ECR source beams for brilliance optimization  
Nucl. Instrum and Meth. A 738, 167, 2014

*C. Ullmann, R. Berezov, J. Fils, N. Chauvin, O. Delferriere, R. Hollinger, O. Kester, W. Vinzenz*  
The proton injector for the accelerator facility of antiproton and ion research (FAIR)  
Rev. of Sci. Instrum. 85, 02A952, 2014

*S. Busold et al.*  
Shaping laser accelerated ions for future applications - The LIGHT collaboration  
Nucl. Instrum. and Meth. A 740, 94, 2014

*A. Gumberidze et al.*  
Ground-state excitation of heavy highly-charged ions  
J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 47, 13020, 2014

*A. Langbein, D. Ries, S. Geyer and O. Kester*  
Preparation of an electron target for the Frankfurt low energy storage ring  
Phys. Scr. T156, 014094, 2013

*S. Geyer, O. Meusel and O. Kester*  
A transverse electron target for the investigation of electron-ion interaction processes  
Phys. Scr. T156, 014093, 2013

*C. Xiao, O.K. Kester, L. Groening, H. Leibrock, M. Maier, P. Rottlander*  
Single-knob beam line for transverse emittance partitioning  
Phys. Rev. Special Topics-Accelerators and Beams 16 issue 4, 044201, 2013

*M. Kreider, J. Bai, R. Bär, D. Beck, A. Hahn, C. Prados, S. Rauch, W. W. Terpstra, M. Zweig*  
Launching the FAIR timing system with CRYRING  
Proceedings PCaPAC, 2014

*J. Bai, D. Beck, R. Bär, D. Ondreka, T. Ferrandl, M. Kreider, C. Prados, S. Rauch, W. Terpstra, M. Zweig*  
First idea on bunch to bucket transfer for FAIR  
Proc. of PCaPAC, 2014

*M. Almalki, R. Brodhage, P. Forck, W. Kaufmann, O. Kester, P. Kowina, T. Sieber, J. Balaguer, P. Girardot, C. Simon*  
The mechanical design of the BPM inter-tank section for p-linac at FAIR  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, THPME100, 2014

*P. J. Spiller et al.*  
Status of the FAIR synchrotron projects SIS18 and SIS100  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, WEOBA01, 2014

*O. Kester et al.*  
Status of the FAIR accelerator facility  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, WEPRO060, 2014

*F. Chill, L. Bozyk, P. Spiller, O. Kester*  
Systematic measurement of the pumping capabilities of cryogenic surfaces  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, WEPME028, 2014

*S. Geyer, O. Meusel, O. Kester*  
A transverse electron target for heavy ion storage rings  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, THPRI081, 2014

*M. Lotz, St. Wilfert, O. Kester*  
Development of a field emitter-based extractor gauge for the operation in cryogenic vacuum environments  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, WEPME029, 2014

*C. Ullmann, R. Berezov, J. Fils, R. Hollinger, V. Ivanova, O. Kester, W. Vinzenz, N. Chauvin, O. Delferriere*  
Status and computer simulations for the front end of the proton injector for FAIR  
Proc. of the IPAC2014, Dresden, Germany, TUPRO043, 2014

*F. Roustaie et al.*  
Strukturierung von Elektronen-Feldemitter auf Basis metallischer Nanodrähte"  
Proceedings of Mikro-Nano-Integration (GMM-FB 81), 2014

*B. Zwicker et al.*

Performance Demonstration of the non-invasive Bunch Shape Monitor at GSI high current LINAC

Proc. of the IBIC2014, Monterey, USA, 2014

*S. Geyer, O. Meusel, O. Kester*

A transverse electron target for heavy ion storage rings

Proceedings of IPAC2013, Shanghai, China, 2013, MOPEA015, 2013

*M. Almalki et al.*

Layout of the BPM System for p-LINAC at FAIR and the Digital Methods for Beam Position and Phase Monitoring

IBIC13, Oxford, p. 101, 2013

*L. Bozyk, A. Reiter, O. Kester, V. Lavrik*

Beam loss monitoring study for SIS100 at FAIR

Proc. of the IBIC2013, Oxford, UK, TUPC46, 2013

*E. Guetlich, P. Forck, O. Kester*

Scintillation screen response to heavy ion impact

Proc. of IBIC2013, Oxford, UK, MOPF14, 2013

*M. Schwickert et al.*

Transverse beam profiling for FAIR

Proc. of IBIC2013, Oxford, UK, MOPF13, 2013

*B. Zwicker, C. Dorn, P. Forck, O. Kester, P. Kowina*

Test of a non-invasive bunch shape monitor at GSI high current LINAC

Proc. of the IBIC2013, Oxford, UK, MOPC36, 2013

*P. Spiller et al.*

Status of the SIS100 heavy ion synchrotron project at FAIR

Proc. of the IPAC2013, Shanghai, China, THPWO011, 2013

*O. Kester*

Status of the FAIR facility

Proc. of the IPAC2013, Shanghai, China, TUXB101, 2013

*C. Xiao, O. Kester, L. Groening, M. Maier*

Decoupling capabilities study of the transverse emittance transfer section

Proc. of the IPAC2013, Shanghai, China, TUPWO009, 2013

*F. Herfurth et al.*

The low energy storage ring CRYRING@ESR, Proc. of the COOL2013

Murren Switzerland, THPM1HA01, 2013

*J. Schmidt, B. Koubek, A. Schempp*

Simulations on the Boundary Fields of 4-Rod RFQ Electrodes  
Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3803-3805, 2013

*J.S. Schmidt, B. Koubek, A. Schempp*

Field Optimized 4-Rod RFQ Model

Proceedings of the International Particle Accelerator Conference IPAC2013, 3238-3240, 2014

*J.S. Schmidt, B. Koubek, A. Schempp et al.*

Investigations of the Output Energy Deviation and other Parameters during Commissioning of the Four-Rod Radio Frequency Quadrupole at the Fermi National Accelerator Laboratory  
Phys. Rev. ST Accel. Beams 17, 030102 – Published 25 March, 2014

*C.Y. Tan, J.S. Schmidt, A. Schempp*

Simple lumped circuit model applied to field flatness tuning of four-rod radio frequency quadrupoles

Phys. Rev. ST Accel. Beams 17, 012002 – Published 29 January, 2014

## Vorträge

### Astrophysik

*K. Sonnabend*

Nuclear astrophysics with FRANZ

eingeladener Vortrag, XLV. Arbeitstreffen, Schleching, Germany, 2014

*K. Sonnabend*

Proton-capture reactions in thermonuclear supernovae and the p process

XIII International Symposium on Nuclei in the Cosmos, Debrecen, Hungary, 2014

*K. Sonnabend*

Proton-capture reactions in thermonuclear supernovae and the p process

Seminarvortrag, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany, 2014

*S. Altstadt*

Constraining the astrophysical r process: Coulomb breakup of  $^{14,15}\text{B}$

ATHENA Brussels workshop on Astrophysics, Brussels, Belgium, 2014

*R. Reifarth*

Nukleare Energie in Sternen, Planeten und menschlichen Konstrukten

Astronomie am Freitag, Physikalischer Verein, Frankfurt, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Measurements of neutron-induced reactions in inverse kinematics

DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*P. Erbacher*

Untersuchung der Reaktion  $^{90}\text{Zr}(p, \gamma)$  mit In-beam-Gammaspektroskopie

DPG, Frankfurt, Germany, 2014



*C. Beinrucker*

(n,  $\gamma$ )-Wirkungsquerschnitte von  $^{69,71}\text{Ga}$  und  $^{63,65}\text{Cu}$  bei 25 und 90 keV  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*M. Weigand*

New time-of-flight data for the neutron capture cross-section of  $^{63}\text{Cu}$   
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*B. Thomas*

Die Herstellung von  $^{91}\text{Nb}$  für eine  $^{91}\text{Nb}(p, \gamma)$ -Messung an FRANZ  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*O. Hinrichs*

Simulations of the high energy beam transport section (HEBT) at FRANZ  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*T. Heftrich*

Important measurements using reactor technique in order to constrain the s-Process path  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*K. Göbel*

Sensitivity studies for the p process  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*S. Altstadt*

$^{13,14}\text{B}(n, \gamma)$  via Coulomb dissociation - constraining the astrophysical r-process  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*A. Sauerwein*

Proton-induced reactions on naturally composed zirconium  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*J. Glorius*

Nuclear reactions studies for p-process nucleosynthesis  
DPG, Frankfurt, Germany, 2014

*K. Göbel*

Production of the most abundant p nuclei  
17th Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg, Germany, 2014

*T. Heftrich*

Experimental constraints of the nucleosynthesis of  $^{60}\text{Fe}$   
17th Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg, Germany, 2014

*M. Weigand*

Neutron capture on 63-Nickel  
17th Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Experimental determination of neutron-induced reactions  
17th Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Funding at the European Research Council (ERC)  
ATHENA Final workshop, Lake Como, Italy, 2014

*K. Göbel*

Production of the most abundant p nuclei  
ATHENA Final workshop, Lake Como, Italy, 2014

*A. Sauerwein*

Photon-induced reactions in nuclear astrophysics  
ATHENA Final workshop, Lake Como, Italy, 2014

*K. Göbel*

Proton-capture reactions in thermonuclear supernovae and the p-process  
Measurement of the  $^{92,93,94,100}\text{Mo}(\gamma,n)$  reactions by Coulomb Dissociation and simulations for  
p-process nucleosynthesis  
CGS15, Dresden, Germany, 2014

*A. Endres*

p-process nucleosynthesis via proton-capture reactions in thermonuclear supernovae explosions  
CGS15, Dresden, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Reaction studies using stored ions  
STORI14, Sankt Goar, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Nukleare Uhren und das Alter des Universums  
Wissenschaft für Jedermann, Deutsches Museum, München, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Nukleare Uhren und das Alter des Universums  
Astronomie am Freitag, Physikalischer Verein, Frankfurt, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Rückschlüsse von nuklearer Astrophysik auf die Entwicklung des Universums  
Neutronenpalaver, PTB, Braunschweig, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics constraining cosmology  
Nuclear Physics Seminar, Univ. of Notre Dame, Notre Dame, USA, 2014

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics constraining cosmology  
JINA Seminar, MSU, East Lansing, USA, 2014

*R. Reifarth*

Astrophysics with unstable nuclei at FAIR and FRANZ  
Nuclear Physics Seminar, ANL, Argonne, USA, 2014

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics constraining cosmology-Rückschlüsse von nuklearer Astrophysik auf die  
Entwicklung des Universums  
Seminar, TU Dresden, Dresden, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics constraining cosmology-Rückschlüsse von nuklearer Astrophysik auf die  
Entwicklung des Universums  
IAP Seminar, GUF, Frankfurt, Germany, 2014

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics of the s- and r-process  
Ecole Joliot Curie School on "Neutrons and Nuclei", Frejus, France, 2014

*C. Lederer*

Experiments for nuclear astrophysics with neutron beams  
ATHENA Brussels workshop on Astrophysics, Brussels, Belgium, 2014

*R. Reifarth*

Opportunities for a better understanding of the synthesis of the heavy elements at NIF  
AAAS, Chicago, USA, 2014

*R. Reifarth*

New developments of neutron facilities in Europe  
ATHENA Final workshop, Lake Como, Italy, 2014

*R. Reifarth*

Measurements of neutron-induced reactions in inverse kinematics-Experiments on radioactive  
nuclei  
CGS15, Dresden, Germany, 2014

*K. Sonnabend*

Study of  $(\gamma, \gamma'n)$  reactions with a combination of  $\gamma$ - and n-detector arrays  
ELI-NP Workshop "Towards TDR of experiments with brilliant  $\gamma$ -ray beams at ELI-NP",  
Bucharest Magurele, Romania, 2013

*K. Sonnabend*

Investigations of neutron-capture reactions at FRANZ  
Nuclear Physics in Astrophysics VI, Lisbon, Portugal, 2013

*K. Sonnabend*

Nukleare Astrophysik an FRANZ  
eingeladener Hauptvortrag, DPG Frühjahrstagung, Dresden, Germany, 2013

*K. Sonnabend*

Proton capture reactions in type Ia supernovae and the p process  
Joint Nuclear Astrophysics Seminar, TU Darmstadt, Germany, 2013

*K. Sonnabend*

Proton capture reactions in type Ia supernovae and the p process  
Seminar, Department of Physics, The University of York, UK, 2013

*R. Reifarth*

Laboratory Experiments in nuclear astrophysics – overview  
Nuclear Astrophysics in Germany, Darmstadtium, Darmstadt, Germany, 2013

*R. Reifarth*

Die Lichter der Nacht - Sterne, ihre Entstehung und ihre Physik  
Tagträumer & Nachtlichter, Physikalischer Verein, Frankfurt, Germany, 2013

*R. Reifarth*

Dunkle Materie im Labor  
Astronomie am Freitag, Physikalischer Verein, Frankfurt, Germany, 2013

*Z. Slavkowska*

The thermal neutron capture cross section of  $^{60}\text{Fe}$   
DPG Frühjahrstagung, Dresden, Germany, 2013

*K. Göbel*

Coulomb Dissociation measurements of Molybdenum isotopes  
513. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar, "Astrophysics with ion storage rings", Bad Honnef, Germany, 2013

*S. Schmidt*

Data acquisition needs for TOF measurements  
ATHENA-workshop on Prospects in neutron time of flight, Darmstadt, Germany, 2013

*K. Göbel*

Measurements of  $^{92,93,94,100}\text{Mo}(g,n)$  by Coulomb Dissociation  
Workshop "Open problems and future directions in heavy element nucleosynthesis", ATOMKI, Debrecen, Hungary, 2013

*K. Göbel*

Measurements of  $^{92,93,94,100}\text{Mo}(g,n)$  by Coulomb Dissociation  
Nuclear Physics in Astrophysics VI, Lisbon, Portugal, 2013

*R. Reifarth*

Astrophysics with unstable nuclei at FAIR and FRANZ  
Graduiertenkolleg, Universität Würzburg, Germany, 2013

*K. Göbel*

Experimental approaches to the nucleosynthesis of the most abundant p-process nuclei

Seminar Kernstruktur-, Elementarteilchen- und Astrophysik, Universität Basel, Switzerland, 11/2013

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics with unstable reaction partners  
NAVI – Annual Meeting, GSI, Darmstadt, Germany, 2013

*R. Reifarth*

FRANZ - Overview  
ATHENA workshop on: Prospects in neutron time of flight, Darmstadt, Germany, 2013

*R. Reifarth*

Direct measurements of reactions for p-process nucleosynthesis  
Workshop on: Open problems and future directions of heavy elements nucleosynthesis, Debrecen, Hungary, 2013

*R. Reifarth*

Nuclear Astrophysics at FRANZ  
ECOS-LINCE workshop: Perspectives of high-intensity beams at the LINCE facility in Spain, Huelva, Spain, 2013

*R. Reifarth*

The s- and r-process or the synthesis of the heavy elements  
Erice School/Workshop on Neutrino Physics, Erice, Italy, 2013

*R. Reifarth*

Nuclear astrophysics with radioactive ions at FAIR  
Sixth International Conference on Nuclear Physics in Astrophysics NPA-VI, Lisbon, Portugal, 2013

*R. Reifarth*

The s-, i- and r-process in the laboratory  
10th Russbach School on Nuclear Astrophysics, Russbach, Austria, 2013

*R. Reifarth*

Astrophysical reactions with decelerated stored beams  
SINO-German Symposium on: Precision Experiments with Stored Exotic and Stable Ions, Lanzhou, China, 2013

*R. Reifarth*

Nukleare Astrophysik an FRANZ  
Prospects for nuclear astrophysics at FAIR  
513. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar on Astrophysics with ion storage rings, Bad Honnef, Germany, 2013

## **Beschleuniger- und Plasmaphysik**

*O. Kester*

The accelerators of the Facility for Antiproton and Ion Research – FAIR

SCRIBE-2014 workshop, Kolkata, India, 2014

*O. Kester*

Accelerator development for the Facility for Antiprotons and Ion Research – FAIR  
Kolloquium, Lancaster University, 2014

*O. Kester*

Status of the FAIR project  
3<sup>rd</sup> International Conference on New Frontiers in Physics, Crete, Greece, 2014

*O. Kester*

Teilchenbeschleuniger – von den "Riesen" der Grundlagenforschung und der Anwendung in  
Industrie und Technik  
Night of Science, Frankfurt, Germany, 2014

*O. Kester*

Concluding remarks on the EBIST2014 Symposium  
EBIST14 Symposium at NSCL, Michigan, USA, 2014

*S. Geyer*

Transverse Electron Target for Heavy Ion Storage Rings – Talk about the electron target  
EBIST14 symposium at NSCL, Michigan, USA, 2014

*O. Kester*

Accelerator Physics for FAIR  
HIC for FAIR Evaluation, Frankfurt, Germany, 2014

*M. Almalki*

A development of BPM for P-linac at FAIR  
DPG Tagung Frankfurt, Germany, 2014

*C. Tenholt*

Energy efficient beam transport by means of high current pulsed magnets  
Workshop on Special Compact and Low Consumption Magnet Design, Geneva, Italy, 2014

*O. Kester*

The Facility for Antiprotons and Ion Research – FAIR  
ESS Seminar, Lund, Sweden, 2014

*O. Kester*

Status of the FAIR accelerators  
SPARC Workshop, Jena, Germany, 2013

*O. Kester*

Status of the FAIR project  
TRIUMF seminar, Vancouver, Kanada, 2013

*O. Kester*

The FAIR project – A challenge for accelerators and experiments

MLL Kolloquium München, Germany, 2013

*O. Kester*

Facility for Antiproton and Ion Research – FAIR  
Kolloquium, DESY, Hamburg, Germany, 2013

*O. Kester*

A high intensity p-Linac and the FAIR Project  
TCADS, Nantes, France, 2013

*O. Kester*

Status of the FAIR-facility  
IPAC2013, Shanghai, China, 2013

*O. Kester*

The facility for antiproton and ion research- FAIR  
MSU accelerator seminar, East Lansing, USA, 2013

*M. Almalki*

Beam-Based Test for Libera Single Pass Based Test for Libera Single Pass H at UNILAC at  
GSI  
The 9th Libera Workshop, Smartno, Slovenia, 2013

*M. Almalki*

System Design for the FAIR Proton LINAC BPMs  
DPG Tagung Dresden, Germany, 2013

*M. Almalki*

Beam-Based Test for Libera Single Pass H at UNILAC at GSI  
DPG Tagung Dresden, Germany, 2013

*O. Kester*

Status of the FAIR accelerators  
HIC for FAIR detector workshop, GSI Darmstadt, Germany, 2013

*B. Zwicker*

Commissioning of the non-invasive Bunch Shape Monitor at GSI  
IBIC 2013, Cambridge, UK, 2013

*B. Zwicker*

Commissioning of the non-invasive Bunch Shape Monitor at GSI  
Workshop, Lund, Sweden, 2013

*S. Geyer*

A Transverse Electron Target for the Investigation of Astrophysical Processes at Ion Storage  
Rings  
WE-Heraeus Seminar, Bad Honnef, Germany, 2013

*F. Chill*

Measurement of the behavior of residual gas particles on cryogenic surfaces to improve the simulation of dynamic vacuum effects  
DPG Tagung Dresden, Germany, 2013

*H. Podlech*

Transmutation Radioaktiver Abfälle  
Katholisches Bildungswerk, Germany, 2013

*H. Podlech*

RF Structures for High Intensity Linacs  
TEMF TU Darmstadt, Germany, 2013

*H. Podlech*

RF Structures  
MAX School, Frankfurt, Germany, 2013

*H. Podlech*

RFQ Development for MYRRHA  
Louvain-La-Neuve, Belgium, 2013

*H. Podlech*

Consolidated Design for the MYRRHA-Injector  
Louvain-La-Neuve, Belgium, 2013

*H. Podlech*

CH Development for MYRRHA  
Louvain-La-Neuve, Belgium, 2013

*H. Podlech*

CH-Cavity Development for MYRRHA  
Capri, Italy, 2013

*H. Podlech*

Injector Development for MYRRHA  
SLHiPP-3 Meeting, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2013

*H. Podlech*

Proton Accelerators and Performance Issues  
FJOH Summer School on Reactor Physics, KIT, Karlsruhe, Germany, 2013

*H. Podlech*

Entwicklung von effizienten Protonen- und Ioneninjektoren  
KfB-Meeting, Bonn, Germany, 2014

*H. Podlech*

Accelerator Training at the University of Frankfurt  
EUCARD-2 Workshop, Frankfurt, Germany, 2014



*D. Mäder*

R&D on the 17 MeV MYRRHA Injector  
EUCARD-2 Meeting on Accelerators for ADS, Genf, Switzerland, 2014

*M. Schwarz*

Teilchenbeschleuniger im Dienste der Medizin  
Lander-Tag, Frankfurt, Germany, 2014

*M. Amberg*

RF Coupler and Tuner Development of Superconducting CH-Cavities  
Matter and Technology POF3 Evaluation, Dresden, Germany, 2014

*U. Ratzinger*

Ion Linac Design at Lower Beam Energies  
CERN Seminar Talk, Switzerland, 2013

*U. Ratzinger*

High Current Driver Linacs  
Haereus Workshop, Bad Honnef, Germany, 2013

*U. Ratzinger*

TCADS-2  
Workshop, Nantes, France, 2013

*U. Ratzinger*

Accelerator Activities in Frankfurt  
NUPECC – Workshop, group meeting on Medical Isotopes, CERN, Switzerland, 2013

*U. Ratzinger*

Proposal of a 325 MHz Ladder RFQ, RFQ Review Meeting  
GSI Darmstadt, Germany, 2013

*C. Wiesner*

Chopping High – Intensity Ion Beams at FRANZ  
LINAC14 Conference, Geneva, Suisse

*D. Noll*

The Particle-in-Cell Code bender and Its Application to Non-Relativistic Beam Transport,  
Fermilab Accelerator Physics and Technology Seminar, FNL, USA, 2014

*D. Noll*

The Particle-in-Cell Code bender and Its Application to Non-Relativistic Beam Transport  
HB2014 workshop, East Lansing, USA, 2014

*K. Schulte*

Gabor Lens Performance Studies - Review and Outlook, HB2014 workshop  
East Lansing, USA, 2014

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt  
Institut für Angewandte Physik  
Max-von-Laue-Straße 1  
60438 Frankfurt am Main  
Germany