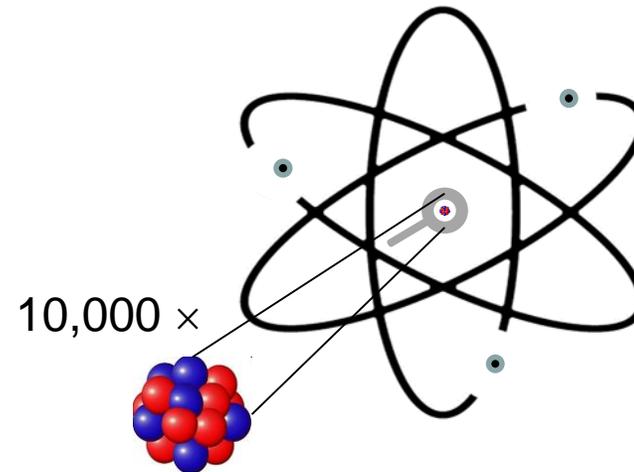


# Attraktive Physik – Exotische Materie im Laserlicht

Arbeitsgruppe LaserSphere

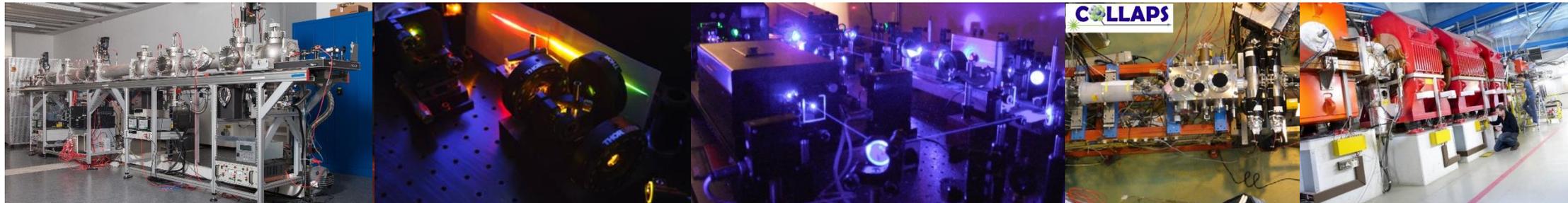
Prof. Wilfried Nörtershäuser

Laserspektroskopie an der  
Schnittstelle von  
Atom- und Kernphysik

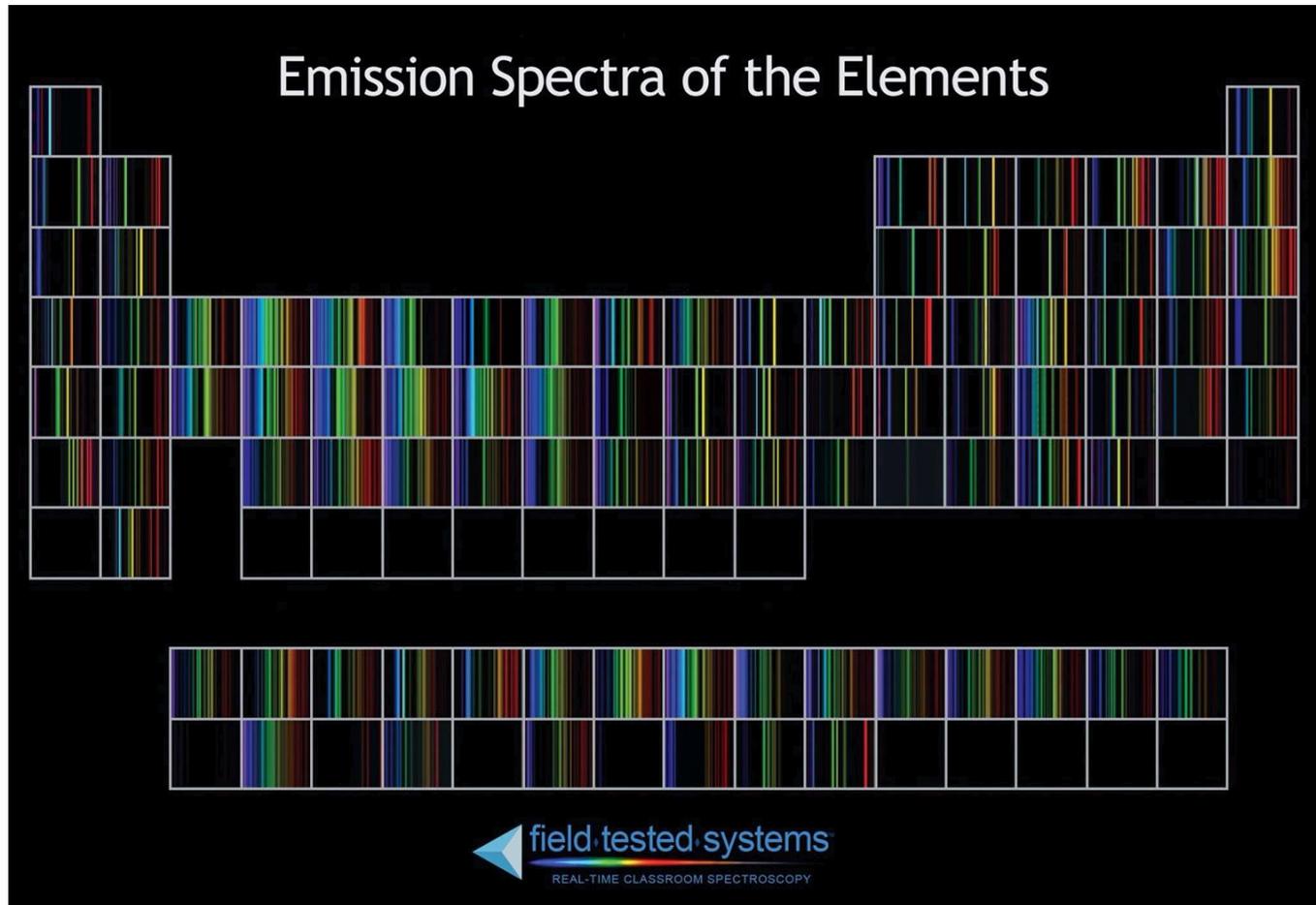


**HFHF** Helmholtz  
Forschungsakademie  
Hessen für FAIR

**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft



# Das Spektrum chemischer Elemente



MIT HILFE IHRES SPEKTRUMS LASSEN SICH  
ATOMIS ZWEIFELSFREI IDENTIFIZIEREN.



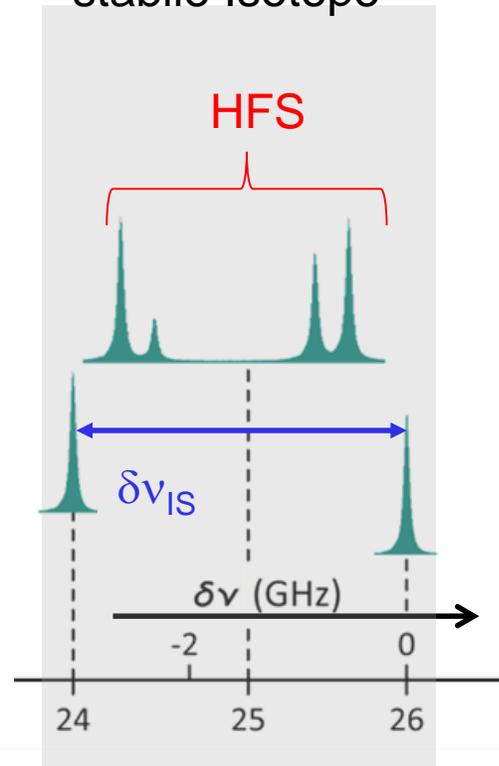
# Optische Spektren bieten Zugang zu Kerneigenschaften



neutronenarme Isotope

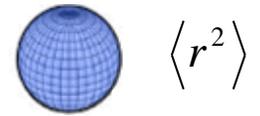
stabile Isotope

neutronenreiche Isotope



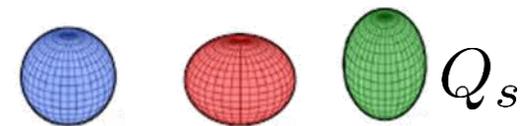
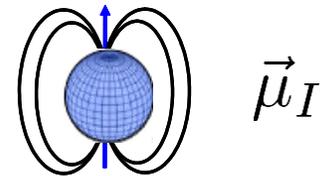
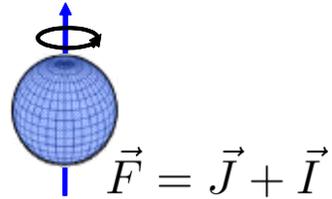
Isotope A=

Isotopie-  
verschiebung:

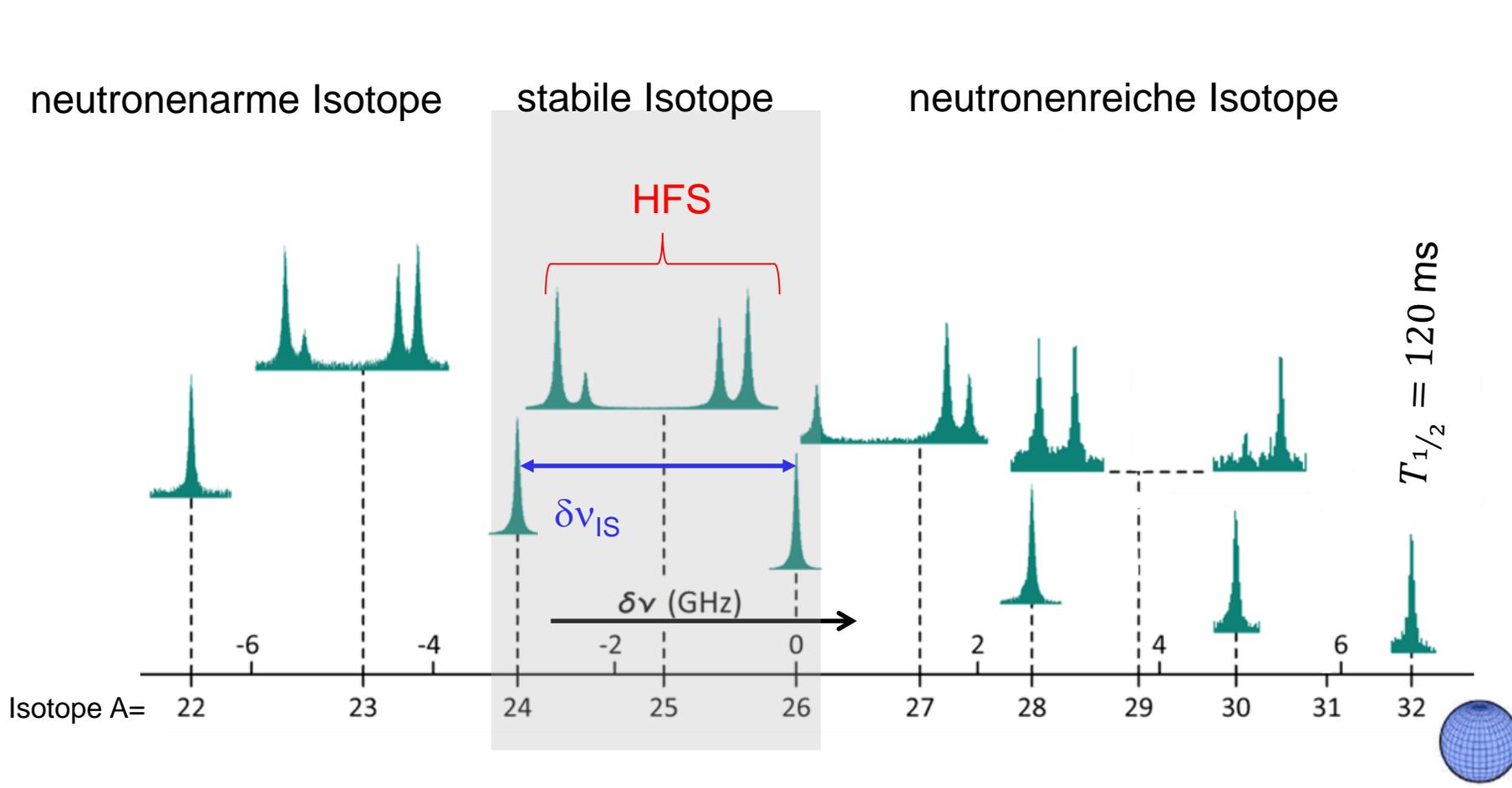


Hyperfinestruktur  
(HFS):

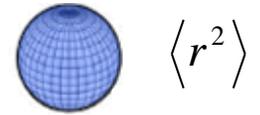
$T_{1/2} = 120 \text{ ms}$



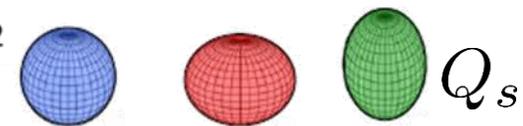
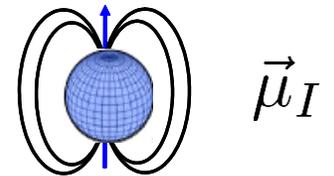
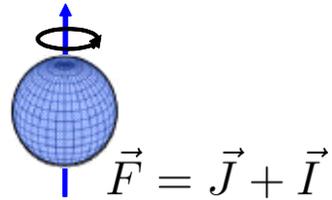
# Optische Spektren bieten Zugang zu Kerneigenschaften



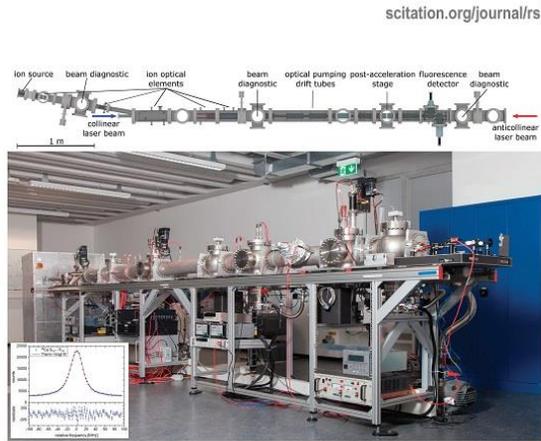
Isotopie-  
verschiebung:



Hyperfinestruktur  
(HFS):



# Kollineare Apparatur für Laserspektroskopie und angewandte Physik (KOALA)

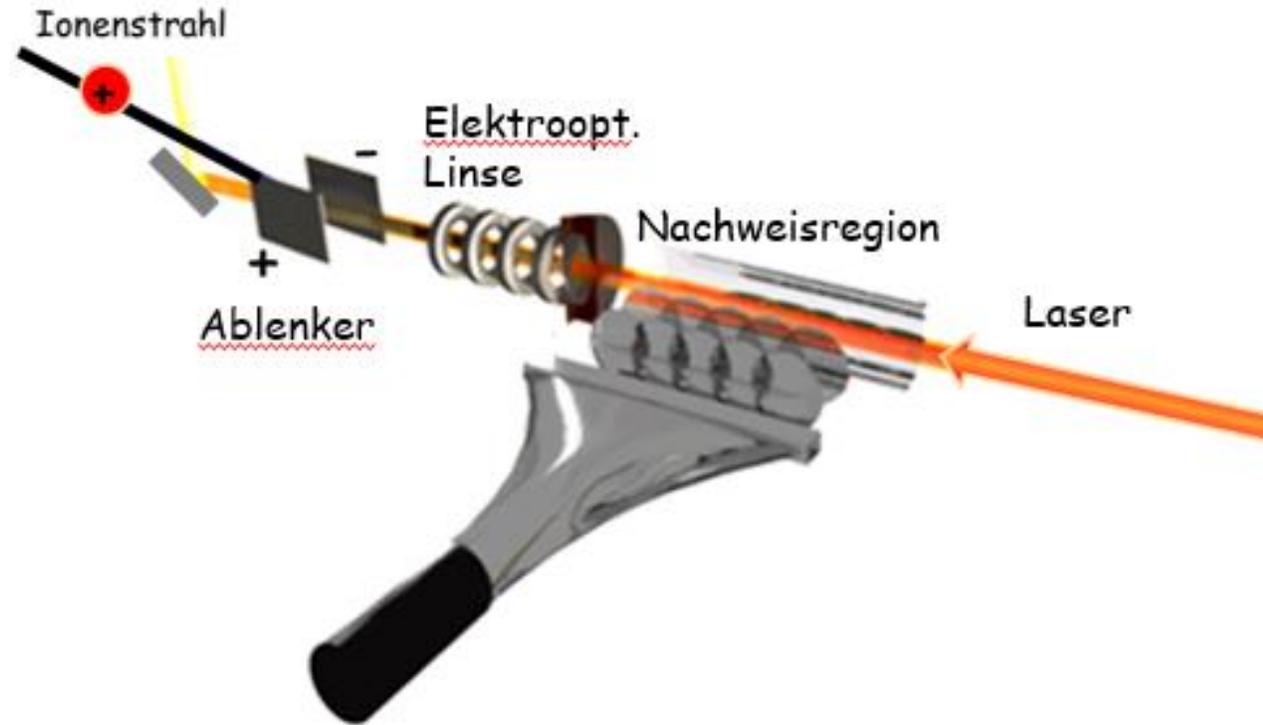


Volume 91, Issue 8, Aug. 2020

## A new Collinear Apparatus for Laser Spectroscopy and Applied Science (COALA)

Rev. Sci. Instrum. 91, 081301 (2020); doi.org/10.1063/5.0010903

K. König, J. Krämer, C. Geppert, P. Ingram, B. Maaß, T. Ratajczyk, and W. Nörtershäuser



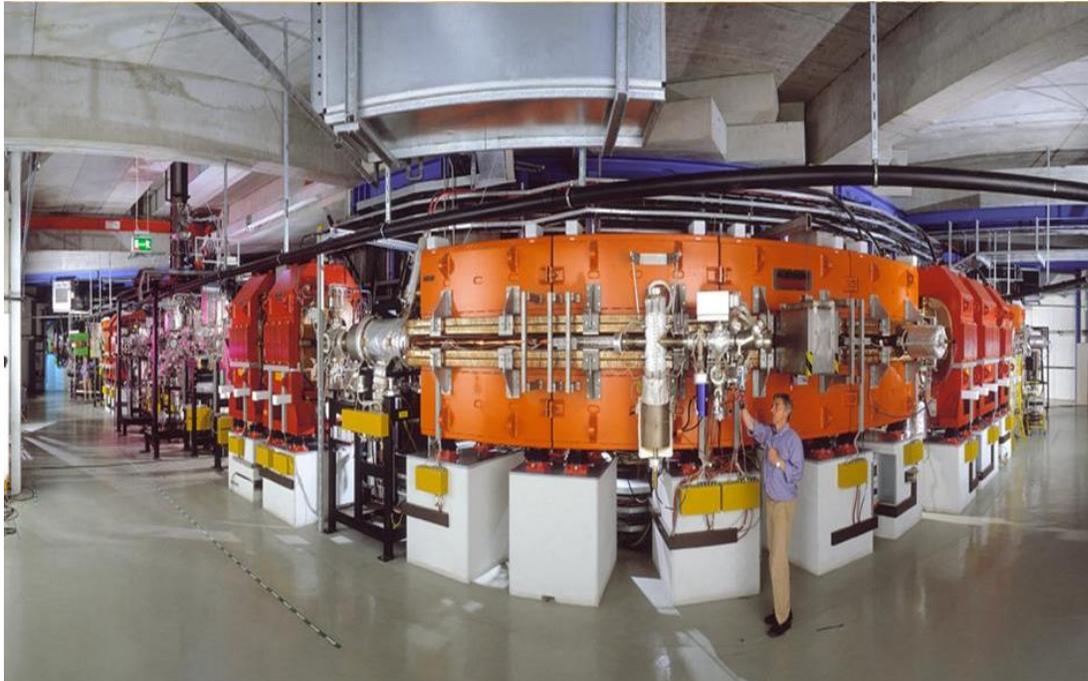
Prinzip: Anwendung des Dopplereffektes



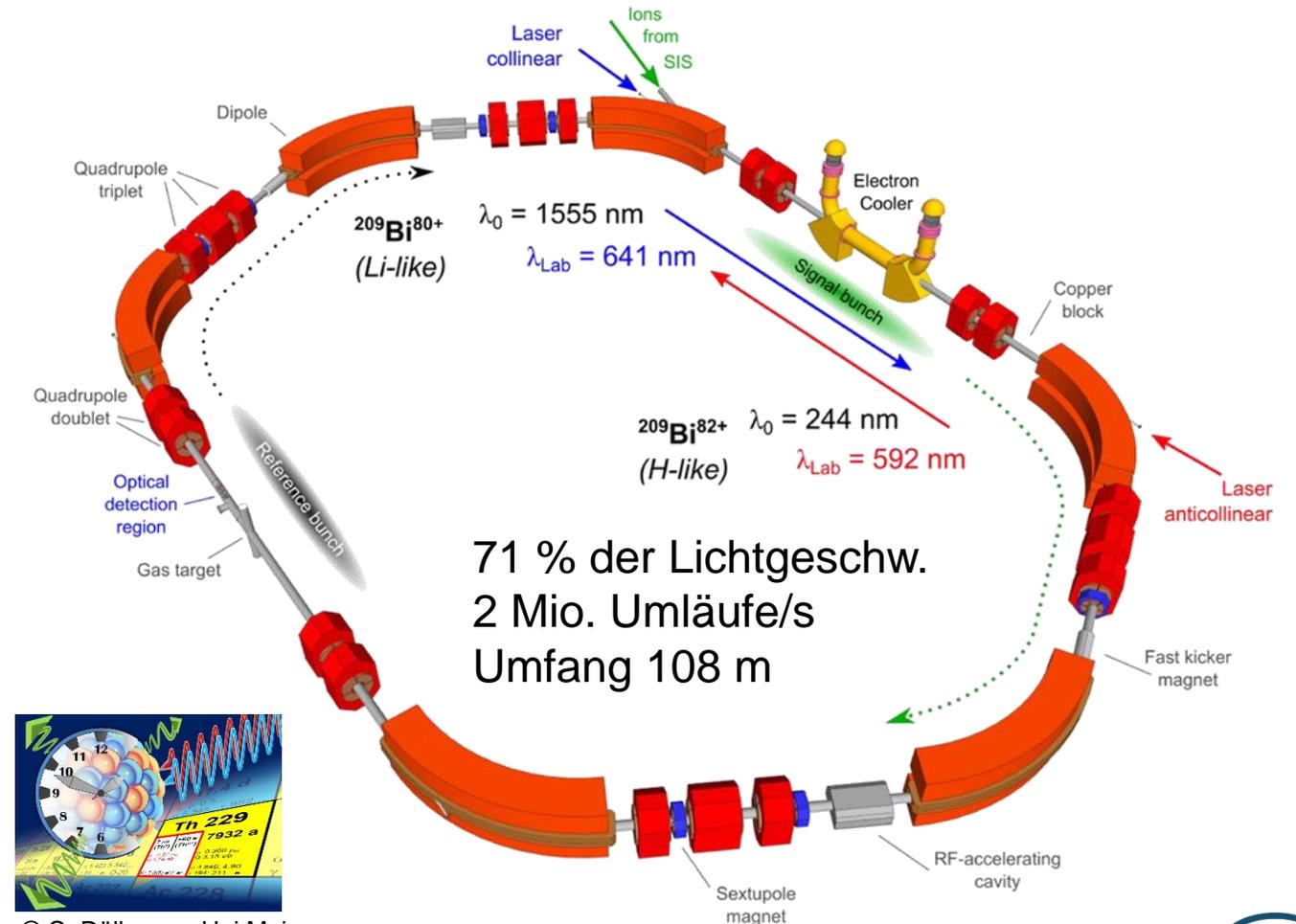
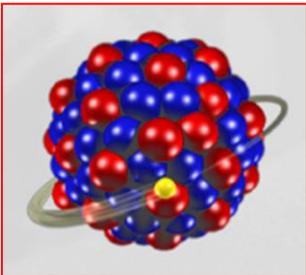
# Doppler Effekt – für Dummies



# Spektroskopie an relativistischen Ionen im ESR



Schwere hochgeladene Ionen  
z.B.  $\text{Bi}^{82+}$ ,  $\text{Bi}^{80+}$ ,  $^{229}\text{Th}^{89+}$



© C. Düllmann, Uni Mainz





## Laufende Forschungsprojekte:

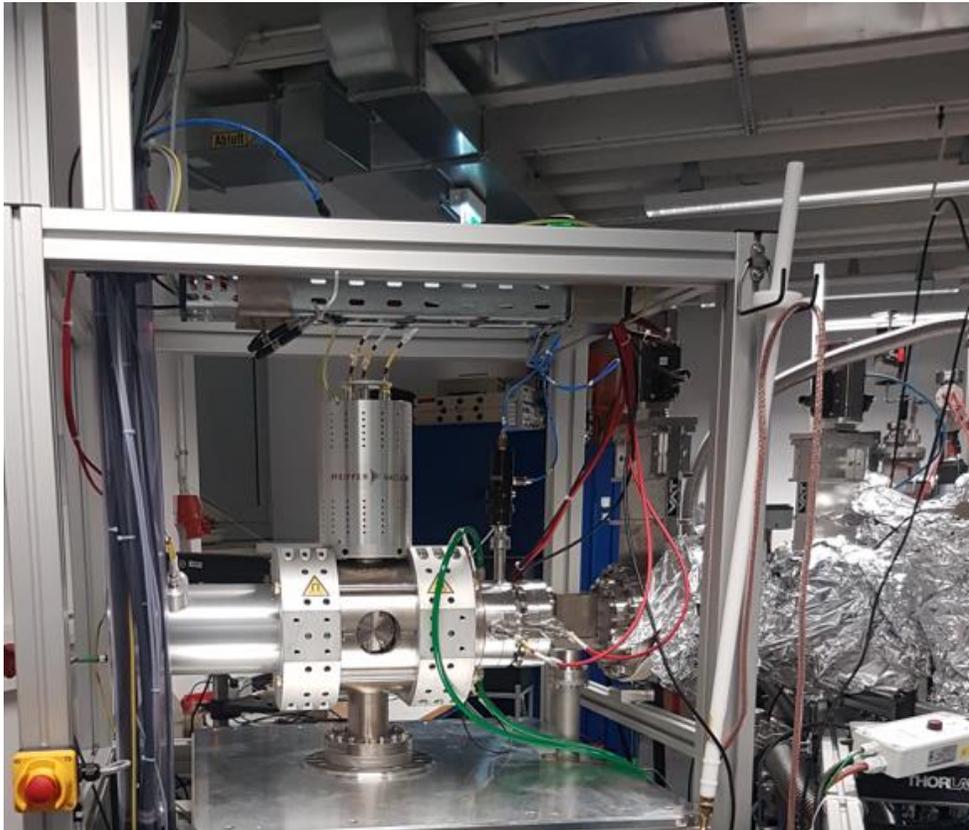
- Weiterentwicklung optischer Nachweissysteme
- Rückführung von Hochspannungen auf ein Quantennormal
- Präzisionsmessungen von Isotopieverschiebungen und Übergangsfrequenzen
- Kollineare Raman-Spektroskopie
- Laserspektroskopie leichter hochgeladener Ionen, z.B.  $B^{3+}$ ,  $C^{4+}$

[Video 1](#), 50 s (Teaser)

[Video 2](#), ca. 5 min (Erklärungen)



# Jüngstes Projekt: EBIS (Electron Beam ion Source) @ KOALA



## Weltweit einzigartig:

Elektronenstrahl-Ionenquelle für hochgeladene Ionen an einer kollinearen Apparatur

## Ziel:

Tests der Quantenelektrodynamik (QED)

Bestimmung der Ladungsradien stabiler Isotope (“all-optical”)

## Spektroskopie an $C^{4+}$ :

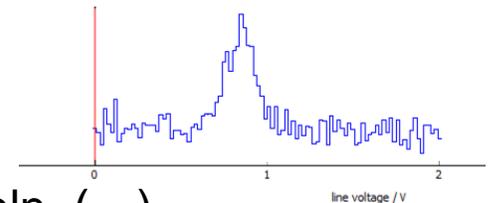
Erste Resonanz beobachten ✓

Optimale Betriebsbedingungen ermitteln (...)

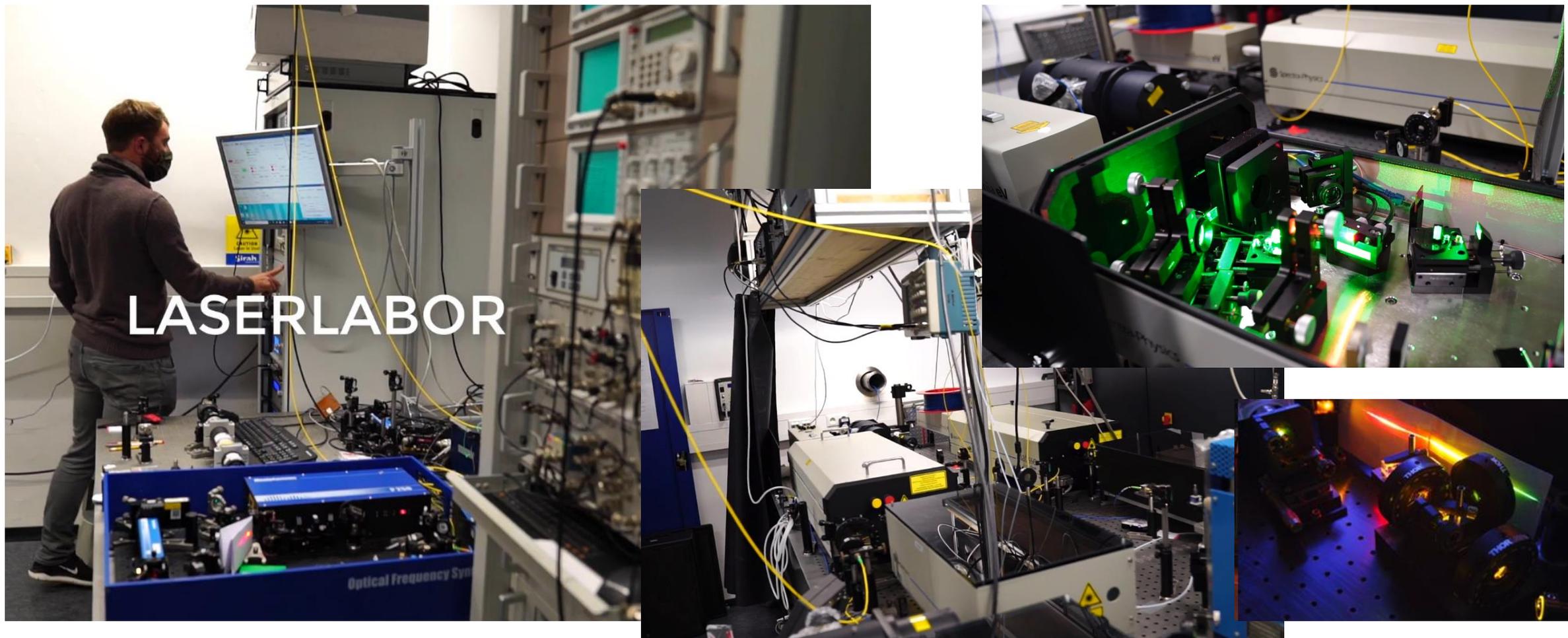
Linienbreite und Effizienz optimieren

Kollineare Sättigungsspektroskopie testen

Kollineare/antikollineare Laserspektroskopie mit Frequenzkamm



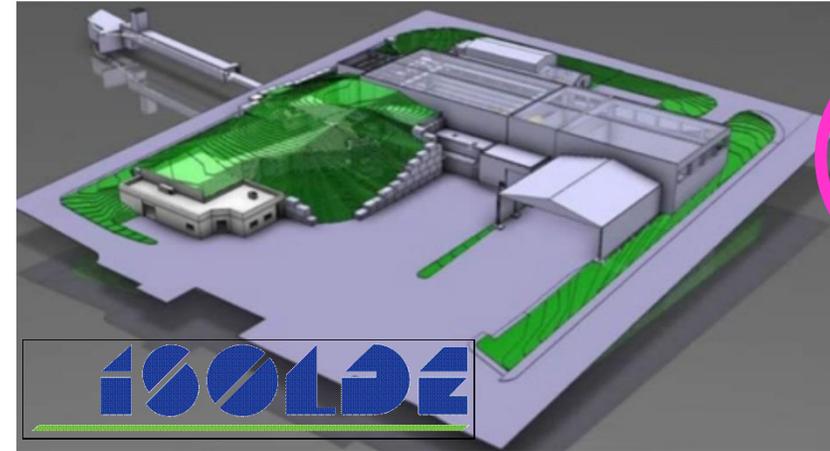
# Impressionen aus dem Laserlabor



# Auswärtige Forschungsstätten



FAIR / GSI  
Helmholtzzentrum  
Darmstadt



ISOLDE /  
CERN



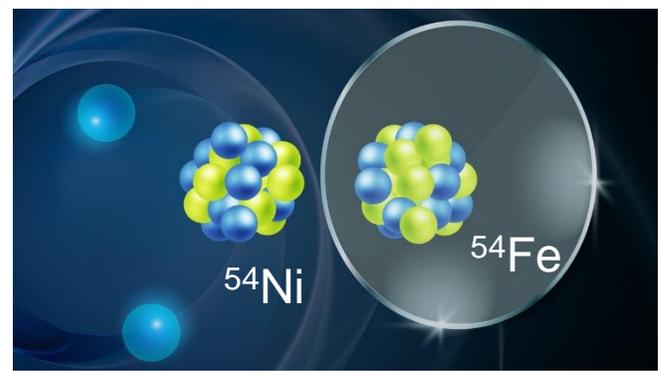
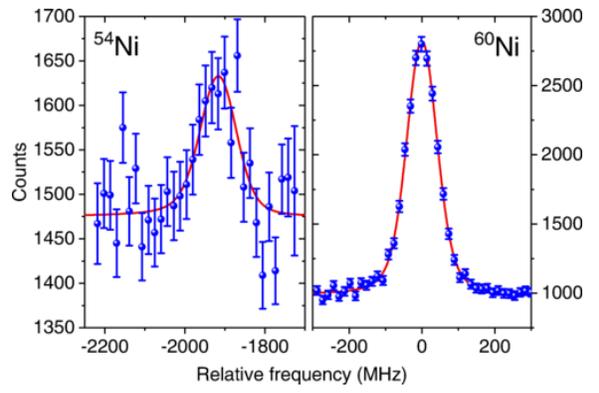
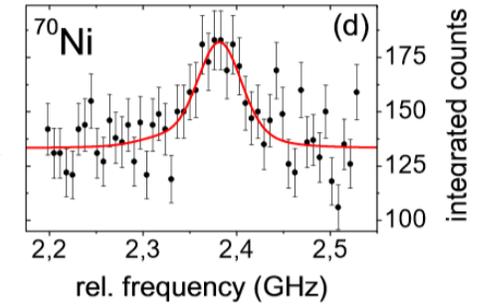
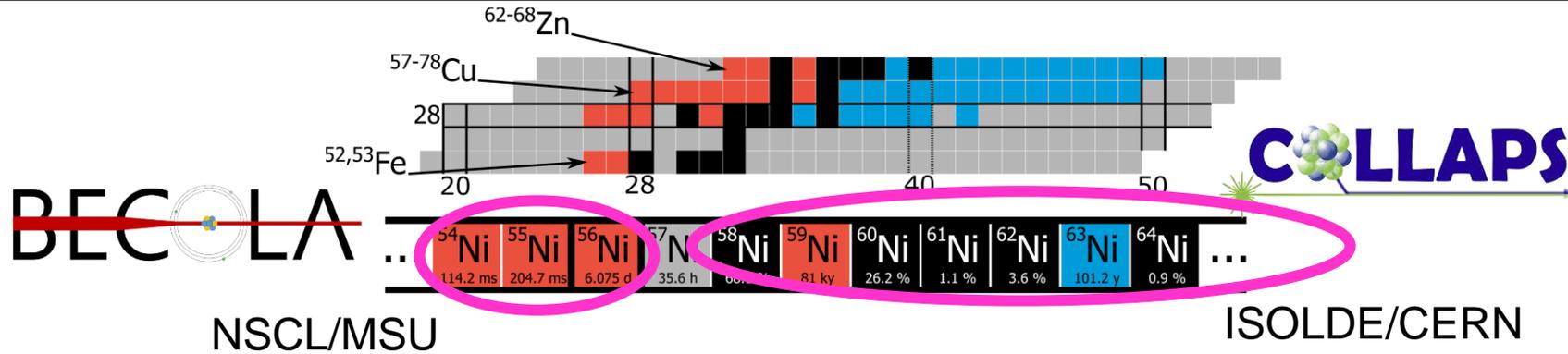
Michigan State  
University (MSU)  
@ Lansing (USA)



Argonne National  
Laboratory (USA)



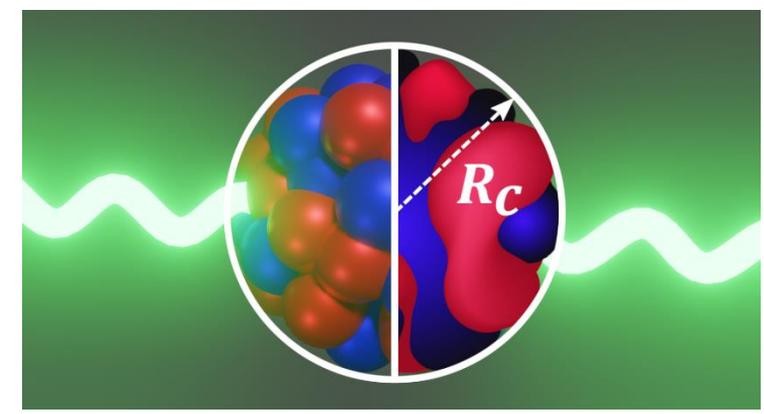
# Nickel-Radien an MSU und ISOLDE



<https://msutoday.msu.edu/news/2021/through-the-nuclear-looking-glass>

Differenz der Ladungsradien der Spiegelkerne  $^{54}\text{Ni}$  und  $^{54}\text{Fe}$  → Neutronenhautdicke  
 ⇒ Masse-Radius Relation von Neutronensternen

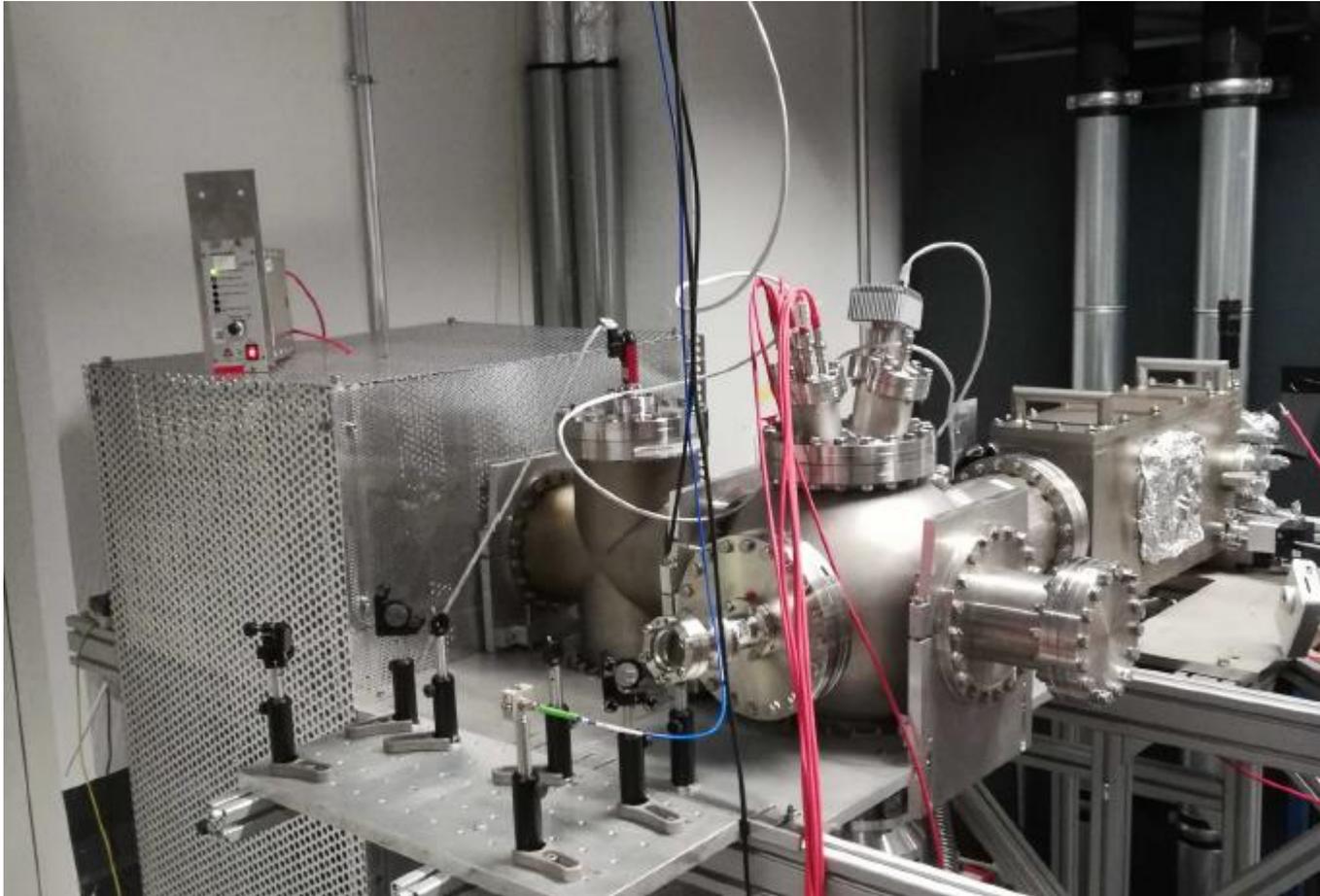
Vergleich der Vorhersagekraft für Kernradien von ab initio Rechnungen und Dichtefunktionaltheorie



Veröffentlichung und Pressemitteilung in Vorbereitung  
 Abbildung: Felix Sommer



# Kollineare Laserspektroskopie im F-Praktikum



Bachelorarbeit:  
Installation, Stabilisierung und Anwendung  
eines Diodenlasers für die kollineare  
Laserspektroskopie im F-Praktikum

ab ca. Feb.2022

## Lasereinsatz für direkte Hochspannungs-Messung

Entwicklung eines Quantennormals: Physiker der TU stellen neues Verfahren vor

05.03.2018 von Nörtershäuser/sip

Einem Physiker-Team der Universität Darmstadt ist es in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Mainz gelungen, die Genauigkeit von laserbasierten Hochspannungsmessungen um das Zwanzigfache zu steigern. Die in der Zeitschrift „Metrologia“ veröffentlichten Ergebnisse weisen die Richtung der Rückführung hoher Spannungen auf einen Quantennormalwert hin.

## Riesen am Schalenabschluss?

Unerwartet große Ladungsradien für Calcium-Atomkerne entdeckt

09.02.2016 von Klaus Blaum / Wilfried Nörtershäuser / Achim Schwenk

## Auf dem Weg zum globalen Modell der Kernstruktur

Theorie durch Messung der Kernradien von Cadmiumisotopen bestätigt

05.09.2018 von Nörtershäuser/sip

Physiker der TU Darmstadt und ihre Kollaborationspartner haben mit laserspektroskopischen Messungen an Cadmiumisotopen ein verbessertes Modell des Atomkerns bestätigt. Es wurde entwickelt, um das ungewöhnliche Verhalten der Radien von Calciumisotopen zu beschreiben. Die in „Physical Review Letters“ veröffentlichten Ergebnisse könnten ein Schritt zu einem globalen Modell der Kernstruktur sein.

## Vom Rugbyball zum Frisbee

Forschungsteam unter Mitwirkung der TU entwickelt neue Theorie

09.06.2020 von Wilfried Nörtershäuser et al./sip

Ein internationales Forschungsprojekt unter Beteiligung von Physikern der TU Darmstadt, des MPIK Heidelberg, der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Johannes Gutenberg-Universität Mainz hat hochpräzise Messungen in der langen Isotopenkette der mercurisotopischen Zinnisotope durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Abweichungen der Kernform von der Kugelform.

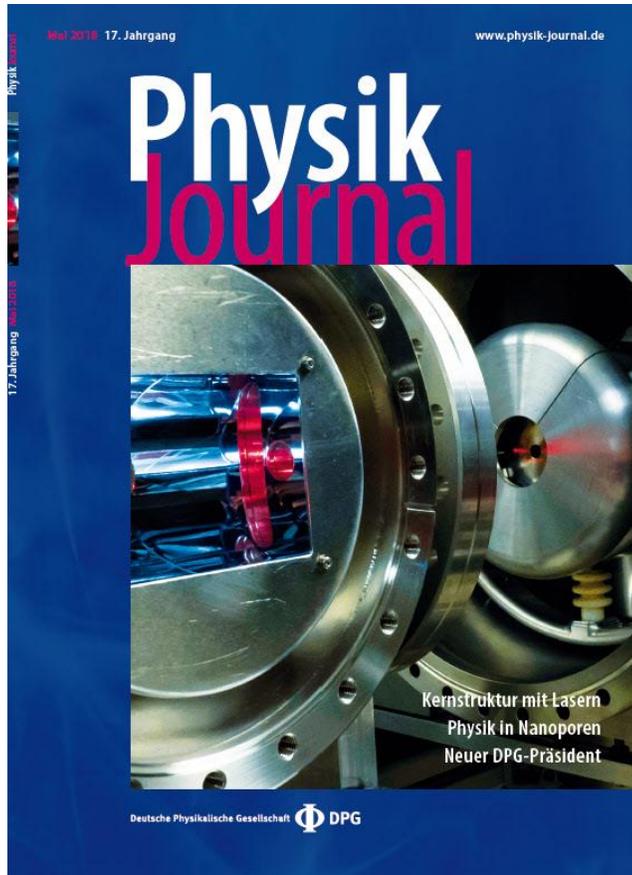
## Kernoberfläche beeinflusst Neutronenbindung

Team um TU-Physiker präzisiert Kernmodell durch Radienmessungen

16.05.2019 von Nörtershäuser/sip

Präzise laserspektroskopische Messungen erlauben es, die Größe von Atomkernen auch für sehr kurzlebige Isotope zu bestimmen. Ein Team um Physiker der TU Darmstadt und ihren internationalen Kollegen gelang es erstmals, die Kernoberfläche der Zinnisotope über das „doppelt magische“ Zinn-Isotop  $^{132}\text{Sn}$  hinaus anzuwenden. Sie fanden eine abrupte Zunahme des Radius. Die Daten legen nahe, dass der Einfluss der Kernoberfläche auf die Bindung der Neutronen und Protonen größer ist als bislang angenommen. Die Zeitschrift „Physical Review Letters“ hob die Arbeit als „Editors' Suggestion“ besonders hervor.





## KERNPHYSIK

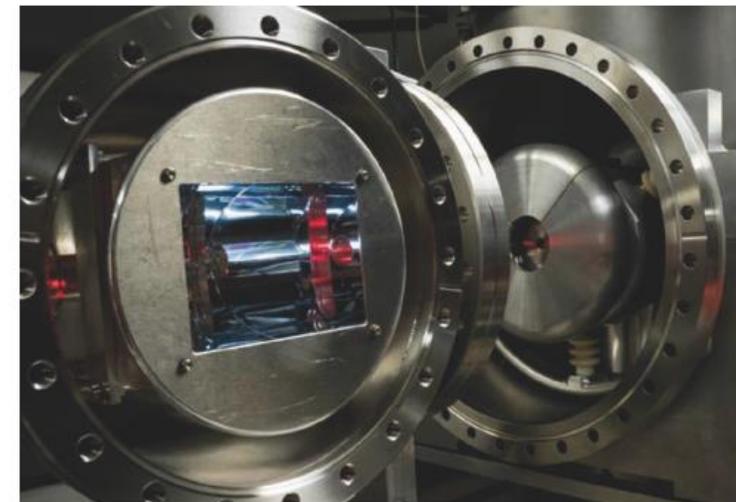
# Schnelle Ionen im Laserlicht

Die Laserspektroskopie exotischer Atomkerne liefert wichtige Beiträge zum Verständnis der Kernstruktur.

Wilfried Nörtershäuser

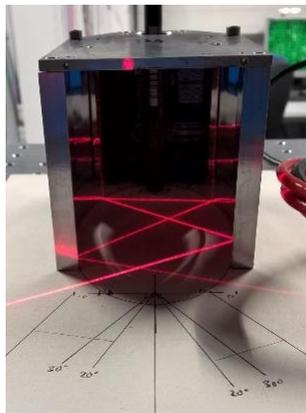
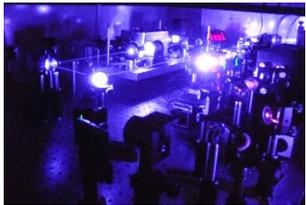
Aus der Hyperfeinstruktur atomarer optischer Spektren lassen sich die Ladungsradien und elektromagnetischen Momente der Atomkerne bestimmen. Laserspektroskopische Methoden sind auch für kurzlebige exotische Isotope mit sehr geringen Produktionsraten ausreichend empfindlich. Die Daten dienen als wichtige Richtgrößen für den Test und die Weiterentwicklung theoretischer Kernmodelle – und sind immer wieder für eine Überraschung gut.

**M**assen und Radien sind die fundamentalsten Eigenschaften der Atomkerne: Ein tiefes Verständnis der Kernstruktur erfordert daher, sie präzise bestimmen zu können. Ernest Rutherford und Ernest Marsden haben vor etwas mehr als hundert Jahren die Größe von Goldkernen mittels der Streuung von  $\alpha$ -Teilchen gemessen. Die registrierten Zählraten waren bei großen Streuwinkeln und hohen Teilchenenergien geringer als vorhergesagt, weil bei



Das Herzstück einer Apparatur zur kollinearen Laserspektroskopie ist die Nachweiskammer für die Fluoreszenzphotonen.





- Diodenlaser im F-Praktikum (Bachelorarbeit)
- Messung der Isotopieverschiebung von Strontiumionen (Masterarbeit)
- Eine neue Beschleunigungsregion für laserbasierte Hochspannungsmessungen an  $\text{Ca}^+$  (Masterarbeit)
- ...

Einige aktuelle Arbeiten stehen auf unserer [Arbeitsgruppenseite](#)

Aber besser ist es nachzufragen! Abhängig davon, ob Sie lieber etwas mit Lasern oder mit Ionenoptik machen, ob Sie programmieren oder etwas mit Elektronik bevorzugen, fällt uns meist etwas ein ...  
Oder schnuppern Sie mal rein in die Arbeitsgruppe, z.B. in einer Miniforschung.



# Auch Spaß und soziale Kontakte kommen nicht zu kurz!

Rheingrafenstein



Gruppen-  
seminar



Ecole Joliot Curie,  
Saint-Pierre d'Oleron, France



ISOLDE/CERN



Sommerschulen



Klausurtagungen



Bad Münster am Stein

Ausflüge



Strahlzeiten



# Werden Sie Teil des Teams ! Wir freuen uns auf Sie !

Interesse ?

Schreiben Sie eine email oder rufen Sie an,

...

IKP, Schlossgartenstr. 9, S2|14,  
Zimmer 409-411

Ansprechpartner für die verschiedenen Bereiche (Optik, Atomphysik, Kernphysik) sowie einige im Moment ausgeschriebene Arbeiten finden Sie auf der Webseite.



TU Darmstadt » Physik » Institut für Kernphysik » Gruppen » Wilfried Nörtershäuser

## Gruppen

- Almudena Arcones
- Thomas Aumann
- Jens Braun
- Joachim Enders
- Hans Feldmeier
- Bengt Friman
- Tetyana Galatyuk
- Hans-Werner Hammer
- Thorsten Kröll
- Karlheinz Langanke
- Matthias Lutz
- Gabriel Martinez-Pinedo
- Guy Moore
- Peter von Neumann-Cosel

## Wilfried Nörtershäuser

- Nachrichten
- Einleitung
- Forschung
- Mitarbeiter
- Publikationen
- Lehre
- Stellen und Arbeiten**
- Links

- Alexandre Obertelli
- Norbert Pietralla
- Achim Richter
- Markus Roth
- Robert Roth
- Achim Schwenk

## Willkommen bei der AG Nörtershäuser



Gruppenphoto, aufgenommen am 25.09.2020 auf der Burg Frankenstein (Odenwald) von Felix Sommer. v.l.n.r.: Konstantin Mohr, Laura Renth, Tim Ratajczyk, Simon Rausch, Felix Sommer, Max Horst, Patrick Müller, Philipp Bollinger, Tim Lellinger, Jörg Krämer, Wilfried Nörtershäuser, Phillip Ingram

## Laserspektroskopische Nuklidkarte

Wir bieten eine umfassende Nuklidkarte mit regelmäßig aktualisierten Informationen zur on-line Laserspektroskopie an exotischen Nukliden und entsprechenden Tabellen und Referenzen an. Diese finden Sie hier [...](#)



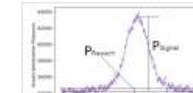
## Virtuelle Führung durch das LaserSphere Labor [...](#)

## Aktuelle Nachrichten

### René Kalla hat seine Bachelorarbeit abgeschlossen

René Kalla hat seine Bachelorarbeit mit dem Vortrag „Charakterisierung der Nachweiselemente der kollinearen Laserspektroskoie“ erfolgreich abgeschlossen. LaserSPHERE gratuliert ihm herzlich. [weiter](#) >

07.11.2021



## Kontakt

Technische Universität Darmstadt  
Prof. Dr. Wilfried Nörtershäuser  
S2|14 410  
Schlossgartenstraße 9  
64289 Darmstadt  
☎ +49 6151 16-23575  
☎ +49 6151 16-23305  
✉ [wnoertershaeuser@ikp.tu-...](mailto:wnoertershaeuser@ikp.tu-...)



## Forschungsförderung

BMBF

Verbundforschung

Helmholtz International Center for FAIR

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

SFB 1245

Helmholtz Forschungs-

HFHF