

## Beschleunigerlabor am Maier-Leibnitz-Laboratorium



### Überblick

Das Maier-Leibnitz-Laboratorium (MLL) ist eine gemeinsame Einrichtung der Ludwig-Maximilians-Universität und der Technischen Universität München für die experimentelle und theoretische Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Kern- und Teilchenphysik. Ein Arbeitsschwerpunkt des Labors liegt u. a. an der Forschungsneutronenquelle FRM II, wo eine weltweit führende Quelle für ultrakalte Neutronen aufgebaut wird. Zusätzlich trägt das MLL mit wichtigen Entwicklungsarbeiten zu

vielen Experimenten bei, die an Großforschungseinrichtungen wie dem CERN in Genf, dem Untergrundlabor am Gran Sasso (Italien) und der GSI Darmstadt durchgeführt werden. Im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder steht das MLL im Zentrum des Exzellenzclusters „Origin and Structure of the Universe“ und ist am Exzellenzcluster „Munich-Centre for Advanced Photonics (MAP)“ in hohem Maß beteiligt.

## Der Tandem-Beschleuniger

Das größte Gerät des MLL in Garching ist der Tandem-van de Graaff®-Beschleuniger. Er wurde 1970 in Betrieb genommen. Schon nach kurzer Zeit erlangte das Labor damit international hohes Ansehen durch seine grundlegenden Forschungen auf den Gebieten der Atom- und Kernphysik. Auch heute ist der Beschleuniger nach wie vor für eine Vielzahl von Experimenten ein attraktives Instrument zur Erzeugung

eines Ionenstrahls mit sehr guten physikalischen Eigenschaften. Das ist nur möglich, weil die Einrichtungen des Labors immer auf dem Stand der verfügbaren Technik gehalten wurden. Heute wird neben der Kernphysik in zunehmendem Maße interdisziplinäre Forschung auf den Gebieten der Materialanalyse und der Medizin betrieben.



**Blick in die Beschleunigerhalle mit dem Tandem-van de Graaff-Beschleuniger**

Der Tandem-van de Graaff®-Beschleuniger ist in einem 25 m langen Drucktank installiert. Mit einer Gleichspannung von derzeit bis zu 14 Millionen Volt werden Ionen auf sehr hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Wasserstoffatome erreichen so 25 %, Goldatome bis zu 5 % der Lichtgeschwindigkeit. Die in den Ionenquellen erzeugten

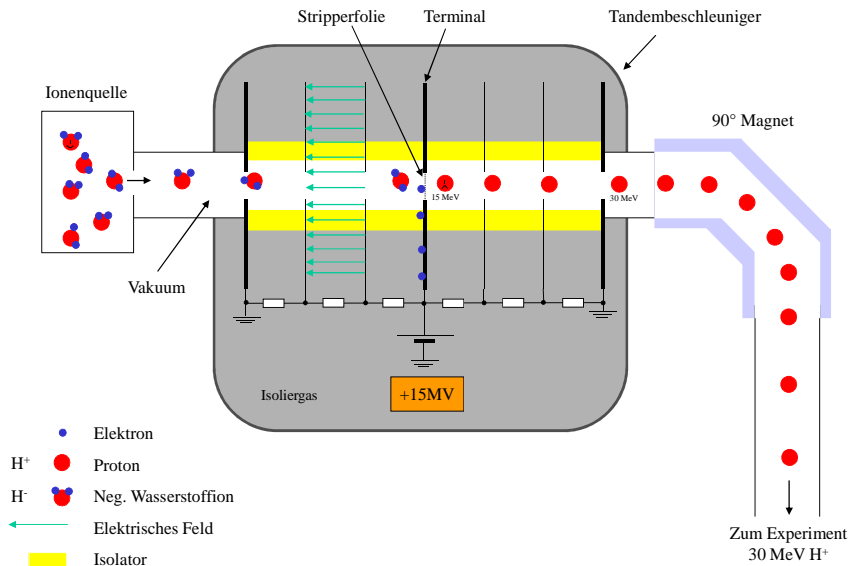
einfach negativ geladenen Ionen werden in Richtung des positiv geladenen „Terminals“ in der Mitte des Geräts beschleunigt. Nach einer Abgabe von Elektronen („Stripping“) im Terminal durchlaufen die jetzt ein- oder mehrfach positiv geladenen Ionen dieselbe Beschleunigungsspannung noch einmal, daher der Name Tandem-

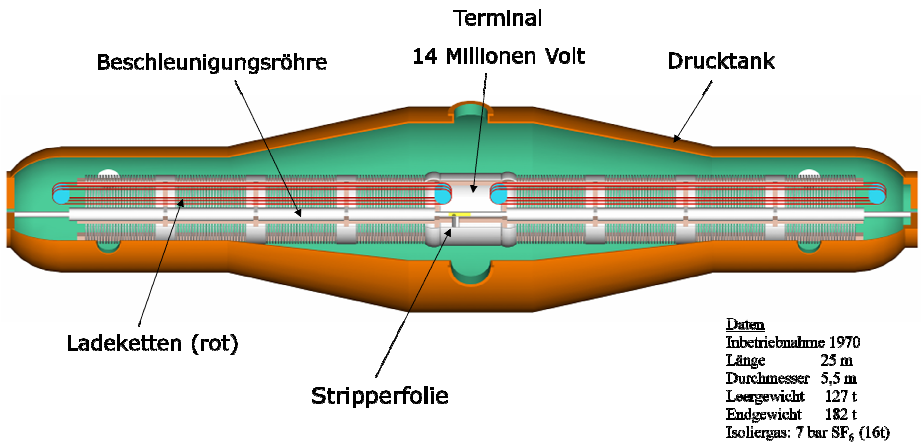
Beschleuniger. Am Beschleunigerlabor kann eine Vielzahl unterschiedlicher Ionen, angefangen vom leichtesten Element, dem Wasserstoff, bis zu sehr schweren Elementen, wie z. B. Gold, beschleunigt werden. Nach der Beschleunigung werden durch Ablenkung in einem 90°-Magneten nur die Ionen weitertransportiert, die für das Experiment benötigt werden. Durch das Strahltransportsystem werden die Ionenstrahlen zu den Experimentierplätzen geführt.



Teilstück der Beschleunigungsrohre

### Prinzip der Ionenbeschleunigung

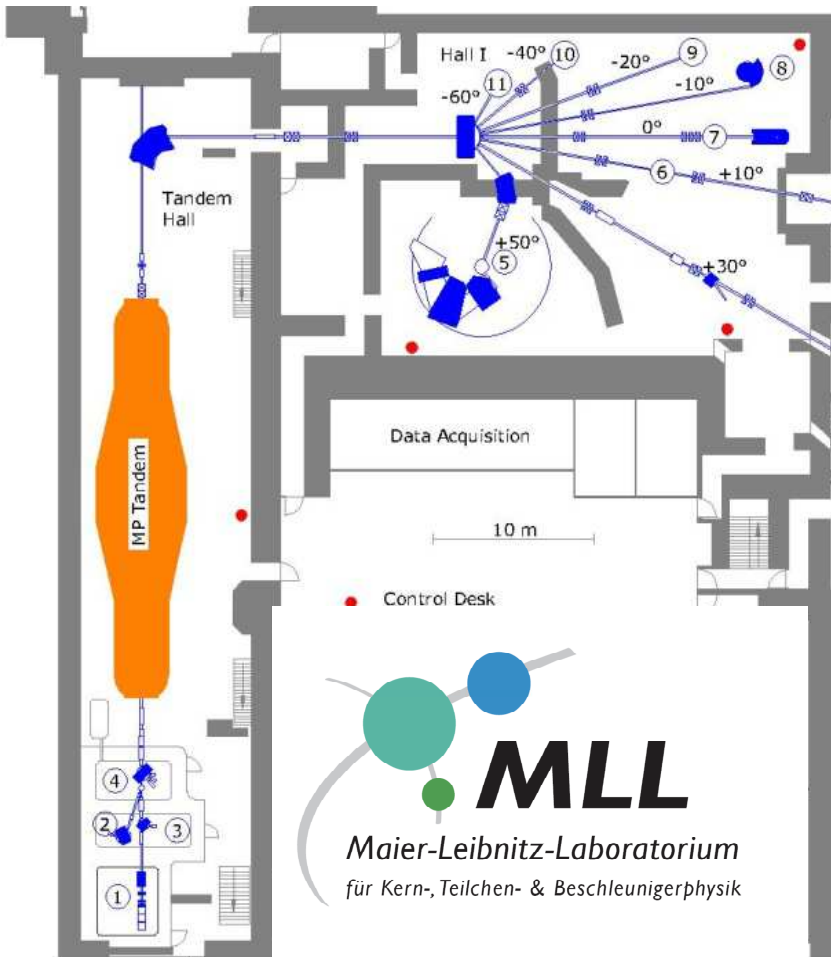




Querschnitt des Beschleunigertanks



Blick in den Beschleunigertank



### Grundriss des Labs mit Ionenquellen, Beschleuniger und Strahlführungssystem

In den Ionenquellen 1 - 4 werden die jeweils gewünschten Ionen erzeugt und anschließend im MP-Tandem (das ist die Herstellerbezeichnung unseres Tandem-van de Graaff-Beschleunigers) beschleunigt. In den Experimentierhallen (aus Gründen der Übersichtlichkeit ist hier nur die Halle I gezeigt) sind eine Vielzahl unterschiedlicher Experimentierplätze (Nr. 5 - 19) untergebracht. Manche der Experimentierplätze können für sehr verschiedene Experimente genutzt werden. So kann z. B. der Magnetspektrograph Q3D (Nr. 5) sowohl für die Kernphysik als auch für Materialanalysen verwendet werden.

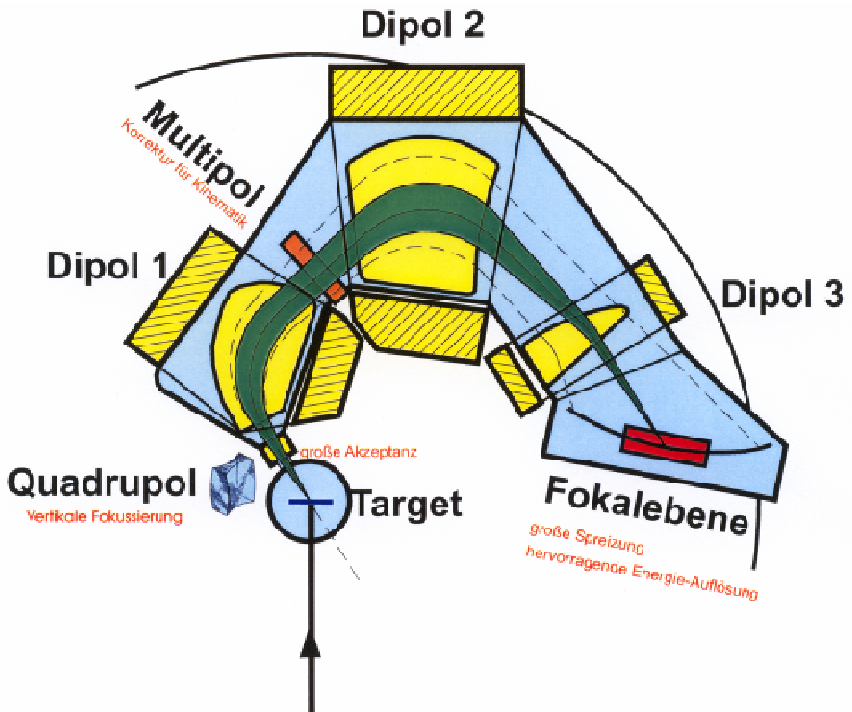
## Experimente am Tandem-Beschleuniger (Auswahl)

### Kernphysikalische Experimente:

Bei sehr hoher Geschwindigkeit kann beim Auftreffen der Ionen auf eine Probe (Target) die abstoßende elektrische Kraft zwischen Atomkernen überwunden werden; es treten Kernreaktionen auf. Diese Experimente erlauben Untersuchungen von Kernstrukturen und die Erzeugung neuer radioaktiver Kerne. Die aus den Experimenten gewonnenen Erkenntnisse sind wichtig für das Verständnis der Entwicklung unseres Universums, wie z. B. die Bildung der Elemente in Sternen oder bei Sternexplosionen.

<http://www.nucastro.ph.tum.de>

[http://www.etp.physik.uni-muenchen.de/abt\\_graw/spin\\_de.html](http://www.etp.physik.uni-muenchen.de/abt_graw/spin_de.html)



### Magnetspektrograph Q3D

Der Magnetspektrograph besitzt eine große Akzeptanz von  $6^\circ$  in x- und y-Richtung mit Korrektur für die Kinematik. Seine hervorragende Energieauflösung von  $dE/E \sim 2 \cdot 10^{-4}$  ermöglicht Präzisionsmessungen auf Weltniveau. Der Magnetspektrograph kann sowohl für Messungen in der Kernphysik als auch zur Bestimmung von Schichtdicken mit ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis) verwendet werden.



### Materialanalyse:

Die Ionen werden in der zu untersuchenden Probe abgebremst und schlagen dabei Atome heraus. So lassen sich Rückschlüsse auf die Probenzusammensetzung und deren Struktur (z. B. Schichtdicken) gewinnen. Besondere Bedeutung erlangt diese Methode bei der Untersuchung der immer kleiner werdenden Strukturen in Halbleiterbauelementen (Chips).

Zur Schichtdickenbestimmung verwendet man das Q3D-Spektrometer mit seiner weltweit einzigartigen Energieauflösung. Eine detaillierte Untersuchung von Oberflächenstrukturen ist mit der Mikrostrahlapparatur SNAKE möglich. Der Durchmesser des Mikrostrahls ist dabei unvorstellbar klein, nämlich kleiner als 0,0001 mm (0.1µm).

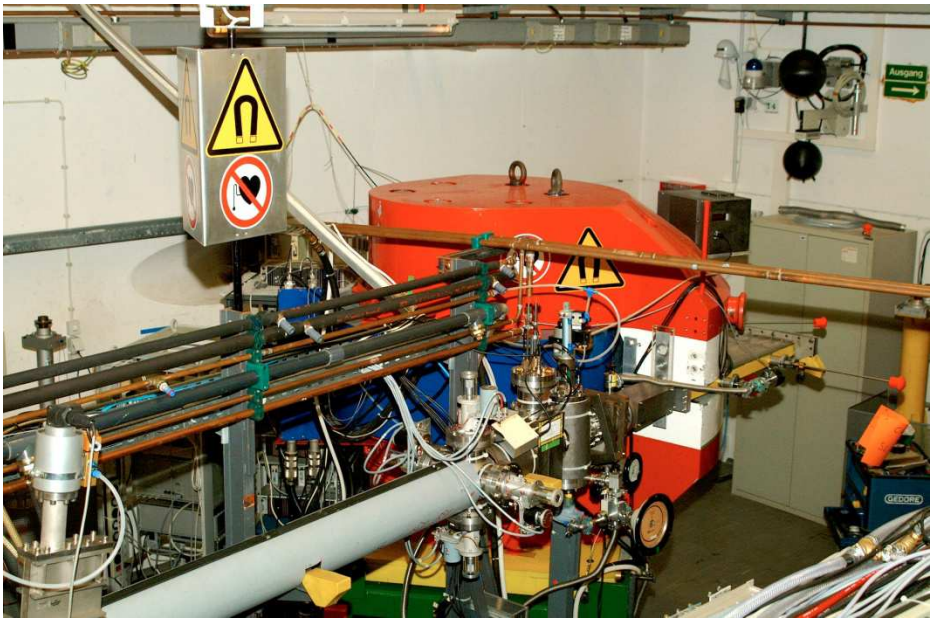
<http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/groups/rim>

<http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/groups/erd>

### Beschleunigermassenspektrometrie (AMS Accelerator Mass Spectroscopy):

Die Beschleunigermassenspektrometrie gehört zu den empfindlichsten Nachweismethoden, die es derzeit gibt. Es können kleinste Konzentrationen von stabilen oder radioaktiven Isotopen in einer Probe nachgewiesen werden. Die Probe wird in einer Ionenquelle ionisiert und anschließend werden die Ionen durch den Tandem-Beschleuniger auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt. In speziellen Magneten und Detektoren können die gesuchten Isotope extrem empfindlich nachgewiesen werden. Es konnte durch den Nachweis von Eisen-60 in Mangankrusten aus dem Pazifik gezeigt werden, dass vor ca. 3 Millionen Jahren eine Supernova-Explosion in der „Nähe“ unseres Sonnensystems stattgefunden hat. Das Beschleunigerlabor ist weltweit die einzige Einrichtung, an der dieses Experiment durchgeführt werden konnte.

<http://www.gams.ph.tum.de/>



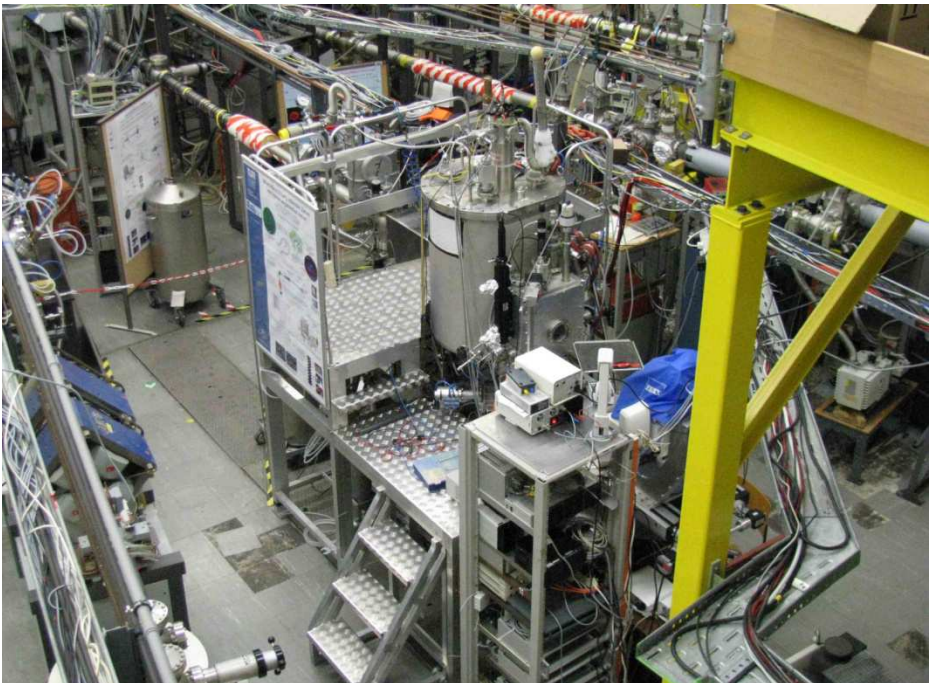
Der GAMS Magnet für die Beschleunigermassenspektrometrie

## Biologische Strahlenwirkung:

Im Mittelpunkt steht die Erforschung der Wirkung von radioaktiven Strahlen auf biologische Systeme, also letztlich auch auf den Menschen.

Insbesondere die Wirkung kleiner Strahlendosen auf Lebewesen ist nach wie vor nicht völlig geklärt. Mit Hilfe der Beschleunigermassenspektrometrie werden die Strahlendosen, denen die Opfer des Atombombenabwurfs über Hiroshima ausgesetzt waren, aus Proben vom Explosionsort bestimmt.

Einen Artikel dazu finden Sie unter <http://www.nature.com/nature/links/030731/030731-1.html>. Mit Hilfe der Mikrostrahlapparatur SNAKE können Zellen bzw. Zellkerne gezielt mit einzelnen Ionen bestrahlt werden und anschließend die Reaktion der Zelle untersucht werden. Mehr Information unter <http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/groups/rim>. Diese Studien dienen letztendlich der Verbesserung von Tumortherapien durch Ionenbestrahlung. Für derartige Bestrahlungen werden hier am Labor spezielle Detektoren entwickelt (siehe dazu mehr unter [www.med.physik.uni-muenchen.de](http://www.med.physik.uni-muenchen.de)).



**Mikrostrahlapparatur SNAKE**



## Ausbildung

Das Beschleunigerlabor ist seit seiner Gründung ein wichtiger Ausbildungsplatz für junge Physiker. Mehr als 500 Diplom- und Doktorarbeiten wurden erstellt. Die besonders praxisnahe Ausbildung und Einbindung des Labors in internationale Projekte eröffnen den jungen Forschern ein weites Feld für ihre spätere berufliche Laufbahn.

## Aktivitäten des Maier-Leibnitz-Laboriums (MLL)

Mit seinen Entwicklungen und Untersuchungen trägt das Meier-Leibnitz-Labor zu vielen Experimenten an auswärtigen Forschungseinrichtungen bei. Einige Beispiele:

- Forschungsschwerpunkt des MLL an der Neutronenquelle FRM-II ist der Aufbau einer neuartigen Quelle für ultrakalte Neutronen. Ultrakalte Neutronen sind extrem langsame Neutronen mit Geschwindigkeiten von ca. 5 m/s („thermische Neutronen“ haben zum Vergleich eine mittlere Geschwindigkeit von 2200 m/s). Die neue Quelle soll die Zahl der für Experimente zur Verfügung stehenden ultrakalten Neutronen erheblich steigern, so dass Experimente mit größerer statistischer Genauigkeit durchgeführt werden können. Ein Beispiel ist die Messung der Lebensdauer des Neutrons. <http://www.e18.ph.tum.de/research/ucn>



Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz

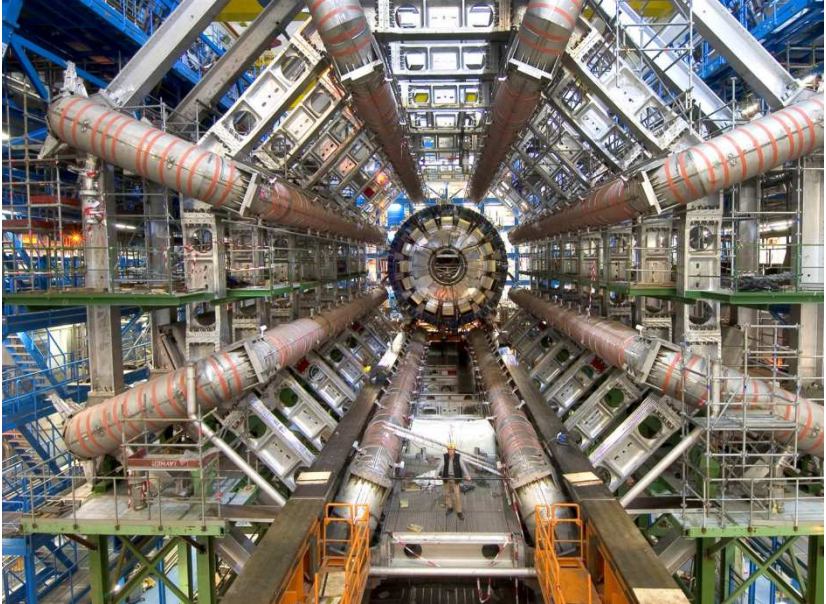
- Untersuchungen im untergrundarmen Labor am Beschleunigerlabor für Experimente am Gran Sasso (Italien). Die Experimente am Gran Sasso Labor finden tief im Inneren eines Berges statt. Hierbei handelt es sich um Experimente zur Suche nach Dunkler Materie (Expandiert das Weltall bis in alle Ewigkeit?) und zur Aufklärung des Sonnenneutrinorätsels (Stimmt unsere Vorstellung von der „Funktion“ der Sonne?). [http://www.e15.ph.tum.de/research\\_and\\_projects/cresst](http://www.e15.ph.tum.de/research_and_projects/cresst)



**Test von Kryodetektoren für die Suche nach Dunkler Materie. Der Aufbau befindet sich in Halle II am Beschleunigerlabor.**

- Untersuchung zum Thema Laserbeschleunigung von Ionen im Rahmen des MAP Clusters. Mit dieser Methode sollen sehr kompakte und damit auch preisgünstige Beschleuniger realisiert werden, die insbesondere für Anwendungen in der Medizin interessant sind. <http://www.munich-photonics.de/research-areas/area-a3>

- Tests von großflächigen Detektoren mit hoher Ortsauflösung für den ATLAS-Detektor am CERN. Das letzte noch fehlende Teilchen im Standardmodell der Teilchenphysik, das Higgs-Teilchen, wurde mit dem Atlas Detektor gefunden. <http://www.etp.physik.uni-muenchen.de>



Atlas-Detektor am CERN

- Aufbau des Elektronenspektrometers für das HADES-Experiment am Schwerionenbeschleuniger der GSI/Darmstadt. <http://www-hades.gsi.de>
- Entwicklung neuer hochdichter Brennstoffe für Forschungsreaktoren. Durch Bestrahlung mit schweren Ionen aus dem Beschleuniger kann die Entwicklungszeit von neuen Brennstoffen erheblich verringert werden, da die Untersuchungen an nicht radioaktiven Proben durchgeführt werden können.
- Test von Halbleiterdetektoren für Raumfahrtmissionen, z. B. der Merkurmission BepiColombo, zu der das Max-Planck-Institut für Halbleiterphysik wichtige Detektoren beisteuert. <http://sci.esa.int/bepicolombo>

Wir wünschen Ihnen in unserem Labor einen anregenden Besuch!

**Kontaktadresse für Führungen:**

Maier-Leibnitz-Laboratorium  
Am Coulombwall 6, 85748 Garching  
Internet: <http://www.mll-muenchen.de>

Tel. 089/289-14271  
Fax 089/289-14280  
MLL@LMU.de



Technische Universität München



*der Bundeswehr*  
**Universität**  **München**

