

PHYSIK TRIFFT MEDIZIN

DAS FORSCHUNGS- UND THERAPIE-
ZENTRUM MEDAUSTRON



MedAustron



BESCHLEUNIGTE TEILCHEN GEGEN KREBS

Mit der Inbetriebnahme des Therapiecenters MedAustron ist die Ionentherapie nun auch in Österreich verfügbar. Dabei werden Ionen von einem Teilchenbeschleuniger auf bis zu zwei Drittel der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und danach in einen der vier verfügbaren Bestrahlungsräume geführt. Dort werden sie entweder zur Behandlung bösartiger Tumorerkrankungen, oder für Forschung verwendet.

Das Synchrotron als Hauptbeschleuniger weist einen Umfang von 78 Metern auf. Dabei dienen 16 Dipolmagnete der Ablenkung und insgesamt 24 Quadrupolmagnete zur Fokussierung bzw. Defokussierung des Teilchenstrahls.



STECKBRIEF MEDAUSTRON

TEILCHENARTEN

- › Protonen bis zu 800 MeV
- › Helium- & Kohlenstoffionen bis zu 400 MeV / Nukleon

ELEMENTE DER BESCHLEUNIGERANLAGE

- › Injektor: Ionenquellen und Linearbeschleuniger
- › Synchrotron: Kreisbeschleuniger
- › Hochenergie-Strahltransport: Extraktionslinie und Strahlzuführungen in die Bestrahlungsräume

FORSCHUNG

- › in einem dedizierten Bestrahlungsraum, mit denselben Möglichkeiten wie in klinischen Räumen
- › regelmäßiger Zugang zum Teilchenstrahl an Wochenenden

A IONENQUELLE

Die Ionenquellen generieren die für die Bestrahlung notwendigen Teilchen, Protonen oder Kohlenstoffionen.



B LINEARBESCHLEUNIGER

Die beiden Linearbeschleuniger sorgen mit Hilfe von elektromagnetischen Wechselfeldern für eine Vorbeschleunigung der geladenen Teilchen.



C SYNCHROTRON

Das Synchrotron (Kreisbeschleuniger) als Hauptbeschleuniger erhöht die Energie der Teilchen bei jedem Umlauf, diese erreichen dabei eine Endgeschwindigkeit von bis zu 2/3 der Lichtgeschwindigkeit.



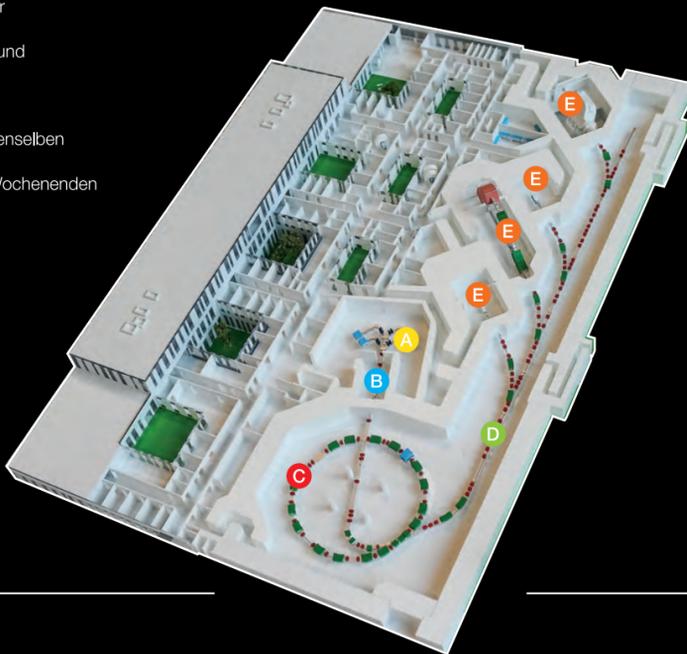
D HOCHENERGIE- STRAHLFÜHRUNG

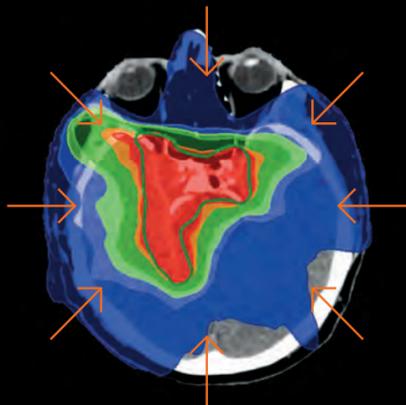
Nach der Beschleunigung werden die Teilchen aus dem Synchrotron extrahiert und in einen der vier Bestrahlungsräume geleitet.



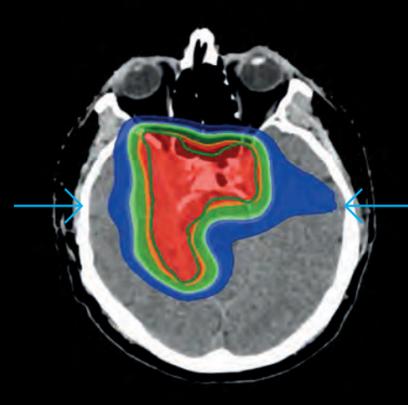
E BESTRAHLUNGSRÄUME

In den vier Bestrahlungsräumen (drei klinische und ein nicht-klinischer) werden die Strahleigenschaften nochmals verifiziert, bevor der Strahl die Vakuumröhre verlässt und dann gezielt auf den Tumor oder ein Experiment gelenkt wird.

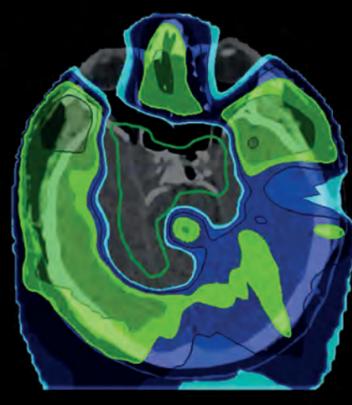




DOSISABGABE MIT PHOTONEN



DOSISABGABE MIT PROTONEN



DOSIS-DIFFERENZ

VERGLEICH DER DOSISVERTEILUNG

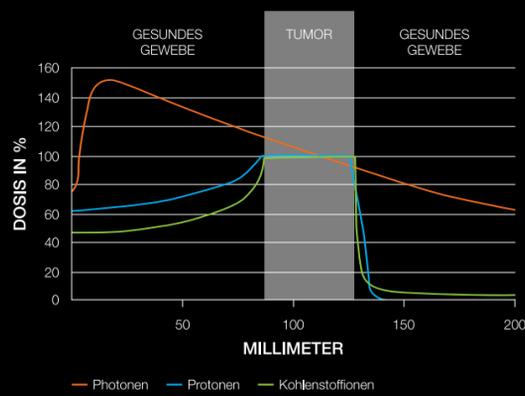
Bei Photonenstrahlen wird ein größerer Teil des gesunden Gewebes außerhalb des Tumors (rote Kontur) einer hohen, mittleren und niedrigen Strahlendosis ausgesetzt. Mit Partikelstrahlen, die mehr Strahlung im Tumor als im gesunden Gewebe deponieren, kann diese Exposition deutlich reduziert werden. Die Farben stellen die Dosis von hoch (67 Gy) bis niedrig (13 Gy) dar.

MEDIZINISCHE ANWENDUNG

Neben der Chemotherapie und chirurgischen Eingriffen stellt die Strahlentherapie eine wichtige Säule der Behandlung bösartiger Tumorerkrankungen dar. Die Bestrahlung kann entweder mit Photonen, Elektronen oder Ionen durchgeführt werden. Dank der speziellen Eigenschaften konnte sich die Bestrahlung mit Ionen für spezielle Tumorarten in den letzten Jahren etablieren. In der Ionentherapie kommt es zu einem steilen Anstieg der Energiedeposition am Ende der Teilchenbahn im sogenannten Bragg-Peak. Stimmt die Position des Bragg-Peaks mit der Position des Tumors überein, erreicht man eine selektive und effiziente Bestrahlung des Tumors, während gesundes Gewebe in seiner Umgebung geschont werden kann – ein klarer Vorteil der Ionentherapie.

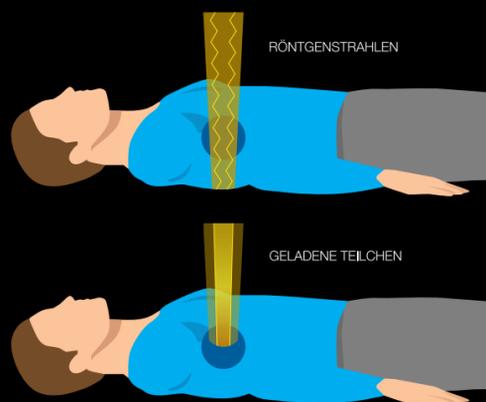


Patientenpositionierung im Bestrahlungsraum des MedAustron mittels Laser und Fixierung des Kopfes mit einer speziell angepassten, thermoplastischen Netzmaske.



VERGLEICH DER TIEFENDOSISVERTEILUNG

Die Energieabgabe der Photonen, die in der konventionellen Strahlentherapie zum Einsatz kommen, erreicht kurz nach dem Eindringen in das Gewebe ihr Maximum und fällt danach exponentiell ab. Ionen hingegen geben beim Eintreten ins Gewebe zunächst nur sehr wenig Energie ab, sobald sie aber eine kritische Geschwindigkeit unterschreiten, steigt die Energieabgabe sehr stark an, um danach auf nahezu null zu sinken.



RÖNTGENSTRAHLEN VS. GELADENE TEILCHEN

Röntgenstrahlen, die bei einer Strahlentherapie verwendet werden, durchdringen den Körper und schädigen gesundes Gewebe, sowohl beim Eintritt als auch beim Austritt. Die Protonen und Ionen geben fast ihre gesamte Energie an der Stelle ab, an der sie im Tumor stoppen, und schonen so gesundes Gewebe.

FORSCHUNG

Die Verfügbarkeit eines dedizierten Bestrahlungsraums für Forschung am MedAustron eröffnet Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen vom Institut für Hochenergiephysik hervorragende Möglichkeiten, ihre Expertise aus der Teilchenphysik in den medizinischen Bereich einzubringen und neuartige Detektoren für die Teilchenphysik ausgiebig zu testen. In enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der TU Wien wird mit Methoden aus der Grundlagenforschung an Themen gearbeitet, die die Ionentherapie verbessern und den Therapieerfolg steigern sollen. Die Forschungsprojekte erstrecken sich vom Einsatz moderner Detektoren in der Mikrodosimetrie und in der Beschleunigerdiagnostik, bis hin zur Verbesserung der Bestrahlungsplanung mittels Ionentomografie.

BESCHLEUNIGERDIAGNOSTIK

Der Teilchenstrahl innerhalb des Beschleunigers muss regelmäßig vermessen werden, um eine sichere Patiententherapie zu gewährleisten. Dafür werden verschiedene Detektorsysteme verwendet, die durch ihren Einsatz in hochintensiven Teilchenstrahlen mit der Zeit an Effizienz verlieren und ersetzt werden müssen. Das HEPHY ist an der Entwicklung eines neuen strahlungsarten Detektorsystems zur Messung von Teilchenstrahlprofilen und Positionen in einem breiten Intensitätsbereich beteiligt.

IONENTOMOGRAFIE

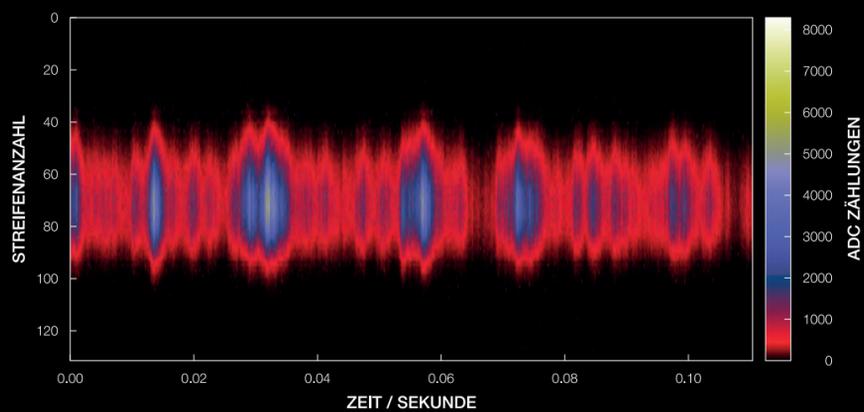
Vor jeder Ionentherapie muss eine Bestrahlungsplanung, in der die Zusammensetzung des Gewebes am Weg zum Tumor bestimmt wird, erfolgen. Derzeit basiert diese Planung in der Ionentherapie auf herkömmlicher Computertomografie mittels Röntgenstrahlen und verursacht Unsicherheiten in der Vorhersage der Position des Bragg-Peaks für Ionen, da diese fundamental anderen Wechselwirkungsprozessen unterliegen als Photonen. Führt man eine Tomografie mit Ionen durch, wird dieselbe Teilchenspezies für die Bildgebung verwendet wie für die Therapie. Dies erlaubt eine exaktere Therapieplanung und somit eine Steigerung der Genauigkeit der Bestrahlung und trägt letztendlich zur Verbesserung des Therapieergebnisses bei.

MIKRODOSIMETRIE

Das Ziel in der Strahlentherapie ist es, Tumorzellen mit einer hohen Dosis ionisierender Strahlung (Energieverlust in Materie) abzutöten. Derzeit wird die applizierte Strahlendosis als homogen verteilt über das Zielvolumen angenommen. Diese Annahme ist für die Therapie mittels Photonen ausreichend, für Ionen allerdings nicht mehr. Zum einen vernachlässigt das die stark lokalisierte Energiedeposition, zum anderen die stochastische Natur des Energieverlusts in Materie. Die gleiche makroskopische Dosis kann mit unterschiedlichen Strahlungsqualitäten erreicht werden. Gemittelte (makroskopische) Dosisgrößen wie J / kg können diesem Umstand nicht Rechnung tragen und sollten mit mikroskopischen Größen in $keV / \mu m$ ersetzt werden.

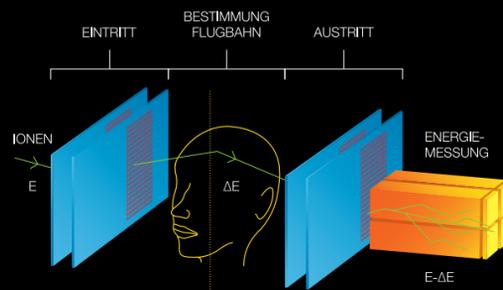


Bevor ein Experiment am MedAustron durchgeführt werden kann, werden alle Detektoren und experimentelle Aufbauten am HEPHY sorgfältig getestet. Das Bild zeigt einen typischen Aufbau einer Messstation, wie sie auch am MedAustron im Teilchenstrahl verwendet wird.



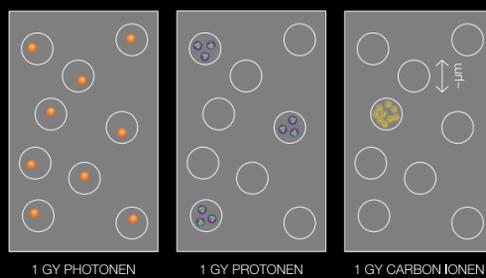
DETEKTORTECHNIK AUS GRUNDLAGENFORSCHUNG

Genauere Vermessung des Teilchenstrahls am MedAustron mittels moderner Detektortechnologie entwickelt am HEPHY. Gut sichtbar sind Intensitätsvariationen innerhalb des extrahierten Strahls. Ein derartiges Detektorsystem soll in Zukunft die derzeitige Strahlendiagnostik bei MedAustron ersetzen.



BILDER DURCH TEILCHEN

Ionen mit einer definierten Energie (E) durchqueren ein Objekt und verlieren dort einen Teil ihrer Energie (ΔE). In einem speziellen Detektor werden diese gestoppt und ihre Restenergie ($E - \Delta E$) gemessen. Daraus kann ein 3D Bild der Gewebeeigenschaften des Objekts berechnet werden.



MIKROSKOPISCHE DOSIS

Die geplante Dosis von 1 Gy ist bei Photonen homogen über viele Zellen verteilt. Bei Ionen kann dies bereits mit wenigen Interaktionen in einigen wenigen Zellen erreicht werden, während eine Mehrheit der Zellen verschont bleibt. Dieser Umstand wird in der Mikrodosimetrie mittels kleiner und sehr dünner (einige μm) Detektoren untersucht.

