

## STRAHLEN- UND MEDIZINPHYSIK (ST)

Prof. Dr. Herwig G. Paretzke  
 Institut für Strahlenschutz  
 GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit  
 Ingolstädter Landstraße 1  
 85764 Neuherberg  
 E-Mail: paretzke@gsf.de

Der FV „Strahlenphysik und Strahlenwirkung“ wurde – dem Wunsch seiner Mitglieder folgend – auf dem letzten Tag der Physik im Nov. 2004 in FV „Strahlen- und Medizinphysik“ umbenannt. Damit wird künftig auch im Namen den wichtigen Themen Rechnung getragen, die unsere Physiker-Kollegen z.B. auf den so wichtigen Gebieten der medizinischer Diagnostik und Therapie auf anerkannt hohem Niveau forschersich bearbeiten und worüber sie auch zukünftig auf unseren Sitzungen berichten werden.

Auf den ersten Sitzungen werden modernste Verfahren der hochaufgelösten diagnostischen Bildgebung mit NMR, PET/CT und Röntgenstrahlung berichtet werden, über resultierende Strahlenexpositionen und Möglichkeiten zu ihrer Reduktion. Dann wird über Möglichkeiten zur pro- und retrospektiven Bestimmung von Strahlenfeldern in der terrestrischen und aquatischen Umwelt, in tiefen Bergwerken und in atmosphärischen Höhen von Flugzeugbahnen vorgetragen werden. Weitere Sitzungen werden sich detailliert mit dem gegenwaertigen Stand der Strahlentherapie mit Ionen und Neutronen beschäftigen, sowie über viele theoretische und experimentelle biophysikalische Untersuchungen hinsichtlich der zellulären Grundlagen derartiger Behandlungen bis hin zu Modellen der quantitativen Strahlenkarzinogenese diskutieren. Dem Einstein-Jahr der Physik angemessen wird auch auf die grosse Bedeutung des Photoeffektes in der Strahlen- und Medizinphysik eingegangen werden. Es wird in all diesen Sitzungen deutlich werden, dass es auf diesem hochinteressanten und -aktuellen Gebiet der Strahlen- und Medizinphysik noch viele wichtige Fragestellungen gibt, die der forschersichen Lösung durch junge Physiker harren, die gerne auf diesem schwierigen, interdisziplinären Gebiet arbeiten wollen. Der FV lädt deshalb insbesondere diese jungen Kollegen zur Teilnahme an unseren Sitzungen ein.

### ÜBERSICHT DER HAUPTVORTRÄGE UND FACHSITZUNGEN (Hörsaal TU HL1)

#### Hauptvorträge

|        |    |       |          |   |
|--------|----|-------|----------|---|
| ST 1.1 | Mo | 10:15 | (TU HL1) | <b>Molekulare Bildgebung mit hochaufgelöster magnetischer Resonanz,</b> <u>Peter Bachert</u>  |
| ST 1.2 | Mo | 10:45 | (TU HL1) | <b>Multi-modale Bildgebung durch PET/CT,</b> <u>Thomas Beyer</u>  |
| ST 1.3 | Mo | 11:15 | (TU HL1) | <b>Strahlenexposition der Bevölkerung durch radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen: Status, Trends und strahlenhygienische Bewertung,</b> <u>Gunnar Brix</u>  |
| ST 1.4 | Mo | 11:45 | (TU HL1) | <b>Strukturerhaltende Rauschreduktion zur Reduktion der Dosis in der medizinischen Röntgenbildgebung,</b> <u>Christoph Hoeschen</u> , Oleg Tischenko, Egbert Buhr   |
| ST 4.1 | Di | 10:15 | (TU HL1) | <b>Strahlentherapie mit schweren geladenen Teilchen - Status der Proton und Carbon Therapie,</b> <u>Gerhard Kraft</u> , W. K.-Weyrather   |
| ST 4.2 | Di | 10:45 | (TU HL1) | <b>Treatment Planning for Ion Beams: Status and Developments,</b> <u>Michael Kraemer</u>  |
| ST 6.1 | Di | 16:30 | (TU HL1) | <b><sup>39</sup>Ar in Granitproben aus Hiroshima - eine neue Sonde für schnelle Neutronen</b> , <u>Werner Rühm</u> , Eckehart Nolte, Thomas Huber, Kazuo Kato, Horst Klein, Hugo Loosli, Wolf Mannhart, Igor Tolstikhin |
| ST 7.1 | Mi | 10:15 | (TU HL1) | <b>Über die Rolle des Photoeffekts in der Strahlenbiophysik,</b> <u>Herwig G. Paretzke</u> , Werner Friedland, Philip Bernhardt   |

**Fachsitzungen**

|      |   |                |        |            |
|------|---|----------------|--------|------------|
| ST 1 | Medizinphysik: Bildgebung I                         | Mo 10:15–12:15 | TU HL1 | ST 1.1–1.4 |
| ST 2 | Medizinphysik: Bildgebung II                        | Mo 14:00–15:15 | TU HL1 | ST 2.1–2.5 |
| ST 3 | Strahlenphysik: Bestimmung von Strahlenexpositionen | Mo 16:30–17:45 | TU HL1 | ST 3.1–3.5 |
| ST 4 | Medizinphysik: Strahlentherapie mit Ionen I         | Di 10:15–11:15 | TU HL1 | ST 4.1–4.2 |
| ST 5 | Medizinphysik: Strahlentherapie mit Ionen II        | Di 11:15–15:15 | TU HL1 | ST 5.1–5.9 |
| ST 6 | Strahlenphysik: Retrospektive Strahlendosimetrie I  | Di 16:30–18:00 | TU HL1 | ST 6.1–6.5 |
| ST 7 | Strahlenphysik: Strahlenbiophysik I                 | Mi 10:15–11:45 | TU HL1 | ST 7.1–7.5 |
| ST 8 | Strahlenphysik: Strahlenbiophysik II                | Mi 14:00–15:30 | TU HL1 | ST 8.1–8.6 |

**Mitgliederversammlung des Fachverbands Strahlen- und Medizinphysik**

Mo 15:15–16:00 TU HL1

Alle Mitglieder des FV ST „Strahlen- und Medizinphysik“ (neuer Name unseres FV seit Nov. 2004) und solche, die es gerne werden wollen, sind herzlich eingeladen zu unserer Mitglieder-Versammlung mit folgenden TOPs:

- 1) Bericht des Vorsitzenden
- 2) Wahlen des Vorsitzenden und seines Stellvertreters
- 3) Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung:  
Stand und Initiativen
- 4) Teilnahme an zukünftigen DPG-Tagungen
- 5) Sonstiges

## Fachsitzungen

– Haupt- und Fachvorträge –

### ST 1 Medizinphysik: Bildgebung I

Zeit: Montag 10:15–12:15

Raum: TU HL1

#### Hauptvortrag

ST 1.1 Mo 10:15 TU HL1

**Molekulare Bildgebung mit hochaufgelöster magnetischer Resonanz** — ●PETER BACHERT — Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Abt. Medizinische Physik in der Radiologie, Heidelberg

Moderne klinische Magnetresonanz-Tomographen verfügen über hohe Feldinduktion ( $B_0 = 1,5$  oder  $3,0$  T) und -homogenität sowie leistungsfähige Gradientensysteme. Ist das HF-System zudem breitbandig und doppelresonant ausgelegt, wird multinukleare hochaufgelöste NMR-Spektroskopie möglich. Die Messung, die Information über den Zellstoffwechsel liefert, ist nichtinvasiv und führt zu keiner Beeinträchtigung des lebenden Gewebes. Nachdem die lokalisierte (Single-Voxel)  $^1\text{H}$ -NMR-Spektroskopie breite Anwendung in Studien der Neurochemie des menschlichen Gehirns gefunden hat, geht die Entwicklung zu Multi-Voxel-Techniken (spectroscopic imaging) von  $^1\text{H}$  und seltenen Kernen in Feldern  $B_0 \gg 3$  T. Da das NMR-Spektrum Information (chemical shift, Mobilität) über die Moleküle enthält, in denen die detektierten Kernspins eingebaut sind, könnte sich die Methode zu einer molekularen Bildgebung mit hoher Voxelauflösung ausbauen lassen, die nuklearmedizinische Verfahren wesentlich ergänzt.

#### Hauptvortrag

ST 1.2 Mo 10:45 TU HL1

**Multi-modale Bildgebung durch PET/CT** — ●THOMAS BEYER — Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Essen

Die kombinierte PET/CT ist eine nicht-invasive, bildgebende Methode, die anatomische und metabolische Zusammenhänge in einem Untersuchungsgang erfasst. PET/CT beruht -mit zusätzlichen Modifikationen der Hard- und Software- auf einer gerätetechnischen Zusammenführung bestehender CT- und PET-Technologien. Neben den diagnostischen und logistischen Vorteilen gegenüber den Einzeluntersuchungen birgt die PET/CT auch eine Reihe von methodischen Herausforderungen. So muss z.B. der kombinierten Strahlenexposition u.a. durch prospektives Vermeiden kurzzeitig wiederholter CT- und PET/CT-Untersuchungen Rechnung getragen werden. Optimierte Aufnahmeprotokolle verhelfen zu einer erhöhten Bildqualität sowie zu einer geringeren Strahlenbelastung des Patienten wie auch des medizinischen Personals. Außerdem ergeben sich interessante Aspekte der Einbindung des CT in zusätzliche Korrekturen der PET, sowie als Schlüssel zur retrospektiven Bildregistrierung mit anderen Modalitäten für eine wirklich multi-modale Bildgebung in der klinischen Diagnostik und Therapie. Somit wird die PET/CT sehr schnell zu einem synergistischen Instrument in der Klinik, und sollte dabei sehr eng von der medizinischen Physik begleitet werden.

#### Hauptvortrag

ST 1.3 Mo 11:15 TU HL1

**Strahlenexposition der Bevölkerung durch radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen: Status, Trends und strahlenhygienische Bewertung** — ●GUNNAR BRIX — Abteilung für medizinische Strahlenhygiene und Dosimetrie, Bundesamt für Strahlenschutz, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschleissheim

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland resultiert in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen. Nach aktuellen Auswertungen des BfS ist die mittlere Exposition durch die Strahlendiagnostik zwischen 1996 und 2001 von etwa 1,7 mSv auf 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr angestiegen. Damit ist die Exposition in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern relativ hoch. Der beobachtete Anstieg ist im Wesentlichen auf die vermehrte Anwendung der Computertomographie zurückzuführen und spiegelt die gestiegene Wertigkeit dieses bildgebenden Verfahrens wider. Im Rahmen des Vortrages werden die aktuellen Daten im Detail vorgestellt, Trends aufgezeigt und verschiedene patientenspezifische Faktoren diskutiert, die bei der Bewertung des individuellen und kollektiven Strahlenrisikos zu berücksichtigen sind.

#### Hauptvortrag

ST 1.4 Mo 11:45 TU HL1

**Strukturerhaltende Rauschreduktion zur Reduktion der Dosis in der medizinischen Röntgenbildgebung** — ●CHRISTOPH HOESCHEN<sup>1</sup>, OLEG TISCHENKO<sup>1</sup> und EGBERT BUHR<sup>2</sup> — <sup>1</sup>GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, AG Medizinphysik, Ingolstädter Landstr.1, 85764 Neuherberg — <sup>2</sup>Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig, Fachlabor für Digitale Mikroskopie, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Die medizinische Röntgenbildgebung stellt mit etwa 1,8 mSv den größten Einzelbeitrag zur Strahlenexposition pro Kopf der Bevölkerung dar. Ein Verfahren und wird vorgestellt, bei dem eine zusätzliche Informationsebene ausgenutzt wird, um Rauschen bei vollem Strukturerhalt zu reduzieren und damit eine Möglichkeit zu schaffen, die Patientexposition pro Aufnahme drastisch zu senken. Dazu werden jeweils zwei Bilddatensätze in ihren Waveletzerlegungen miteinander korreliert. Für diese Rauschreduktion werden zwei Bilddatensätze benötigt; diese können in einer Exposition erzielt werden, indem zwei sogenannte Speicherfolien als Detektoren hintereinander angebracht werden. Damit läßt sich auf Grund der physikalischen Limitierungen des Verfahrens eine Dosisreduktion um einen Faktor drei ohne Bildqualitätsverlust erreichen. Das Signal-Rausch-Verhältnis einer so berechneten Aufnahme ist sogar deutlich verbessert. Mit zwei Aufnahmen hintereinander läßt sich eine noch stärkere Dosisreduktion bis zu einem Faktor vier bis fünf erzielen. In dieser Arbeit werden Beispiele aus verschiedenen radiologischen, bildgebenden Verfahren und erste klinische Tests vorgestellt.

### ST 2 Medizinphysik: Bildgebung II

Zeit: Montag 14:00–15:15

Raum: TU HL1

#### Fachvortrag

ST 2.1 Mo 14:00 TU HL1

**Intermolecular multiple quantum coherences in liquid NMR - A new probe for investigation of biological structures?** — ●STEFAN KIRSCH and PETER BACHERT — Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Abt. Medizinische Physik in der Radiologie, Heidelberg

Collective  $^1\text{H}$  dipole-dipole interactions provide a new approach for exploring microscopic structures by liquid NMR. In liquid phase dipole-dipole interactions vanish due to Brownian molecular motion. Surprisingly, anisotropies owing to strong magnetic field gradients generate residual dipole-dipole interactions. This effect was first observed in solid  $^3\text{He}$ , liquid  $^3\text{He}$  and 1990 in water. Residual dipole-dipole interactions give rise to intermolecular multiple-quantum coherences (iMQCs), which exhibit

properties different from those of single-quantum coherences detected in the classical NMR experiment. iMQCs can be explained semi-classically by introduction of the "demagnetizing" field or by a quantum-mechanical density matrix treatment. An interesting property of iMQCs is, that they originate predominantly from dipole-dipole interactions of protons with mutual distance  $d$ , which depend on the strength  $G$  and the duration  $\tau$  of the magnetic field gradient:  $d = \pi / (\gamma G \tau)$ . Theory predicts the possibility to use the dependence on distance of iMQCs to study biological structures similar to a conventional diffraction experiment. We were able to verify the diffraction-like behavior of iMQCs in experiments with periodically structured phantoms.

**Fachvortrag**

ST 2.2 Mo 14:15 TU HL1

**Dynamische Magnetresonanztomographie und <sup>1</sup>H-spektroskopische Bildgebung von Prostata-Tumoren in vivo** — ●KLAUS BAUDENDISTEL<sup>1</sup>, PETER BACHERT<sup>1</sup>, CHRISTIAN ZECHMANN<sup>1</sup>, STEFAN RÖLL<sup>2</sup>, HANS-ULRICH KAUCZOR<sup>1</sup> und WOLFHARD SEMMLER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Forschungsschwerpunkt Innovative Krebsdiagnostik und -therapie, Heidelberg — <sup>2</sup>Siemens Medical Solutions, Erlangen

Im Rahmen einer Studie zur Verbesserung der Diagnostik von Tumoren der Prostata wurden Datensätze mittels dynamischer kontrastverstärkter Magnetresonanztomographie (DCE-MRT) und <sup>1</sup>H-MR-spektroskopischer Bildgebung (SI) an einem Ganzkörper-Tomographen (Magnetom Symphony, Siemens) bei 1.5 Tesla aufgenommen. Zur DCE-MRT wurden während einer Kontrastmittelgabe 25 serielle Volumendatensätze (Zeitauflösung: 11s, T1-gewichtete FLASH-Sequenz, TR/TE=125ms/3.11ms, räuml. Auflösung 2.44 mm<sup>3</sup>) akquiriert. Zur Quantifizierung der Kontrastmittelanflutung wurden die Parameter eines pharmakokinetischen Modells an die gemessenen Signal-Zeit-Kurven pixelweise angepasst und den morphologischen Schnittbildern farbkodiert überlagert. SI erfolgte mit einer 3D-PRESS-Sequenz mit Wasser- und Fettsignalunterdrückung (TR/TE=650ms/120ms, Meßzeit ca. 10 min). Hierbei wurde nominell eine räumliche Auflösung von (6mm)<sup>3</sup> erzielt. Bei DCE-MRT gelingt die Abgrenzung von Tumoren aufgrund der Änderung der Mikrozirkulation anhand der pharmakokinetischen Parameter, während SI eine Abgrenzung der Tumoren aufgrund der veränderten Biochemie ermöglicht.

**Fachvortrag**

ST 2.3 Mo 14:30 TU HL1

**Zur Bewertung der Anwendung alternativer anthropomorphischer Phantommodelle für die Simulation emissionstomographischer Systeme** — ●JÖRG PETER, WOLFRAM STILLER, OLIVER NIX und WOLFHARD SEMMLER — Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Biophysik und Medizinische Strahlenphysik, E0204, Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg

Neben einer möglichst präzisen mathematischen Approximation aller physikalisch relevanten Komponenten eines zu simulierenden bildgebenden Systems (z.B. CT, PET, SPECT) kommt der Repräsentierung der Objektgeometrie ein besonderer Stellenwert zu. Neben der anatomischen Exaktheit hat das angewandte Phantomrepräsentierungsmodell direkte Auswirkungen auf die Güte der Simulation, die Approximation dynamischer Alterationen (Herz- oder Atmungsdynamik, Tracerkinetic, Tumorstadiumsdynamik, etc.) sowie auf die Simulationsperformance. Gegenstand der Präsentation ist die Evaluierung dieser Kriterien unter Verwendung folgender Phantomrepräsentierungsmodelle: a) tomographische Phantome in der Form segmentierter MR-Daten, b) Punktmenge und daraus abgeleitete triangulierte Objekte, c) analytische Phantombeschreibungen durch superquadratische Flächen. Die Studie wurde durch die Konstruktion eines Monte Carlo Simulationsprogramms, in welches all diese Phantommodelle vollständig integriert wurden, ermöglicht.

**ST 3 Strahlenphysik: Bestimmung von Strahlenexpositionen**

Zeit: Montag 16:30–17:45

Raum: TU HL1

**Fachvortrag**

ST 3.1 Mo 16:30 TU HL1

**Vollständige Charakterisierung eines CdTe-Detektors für Röntgenstrahlung** — ●MARTIN GERLACH, MICHAEL KRUMREY und FRANK SCHOLZE — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Abbestraße 2-12, D-10587 Berlin

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) betreibt am Elektronenspeicherring BESSY II ein Radiometrielabor. An mehreren Strahlrohren wird, auch unter Verwendung eines 7T-Wellenlängenschiebers, monochromatische Röntgenstrahlung höchster spektraler Reinheit u.a. zur Charakterisierung von energiedispersiven Detektoren erzeugt.

Die Ansprechfunktionen (Response Functions) eines CdTe-Detektor wurden im Photonenenergiebereich von 2 bis 110 keV mit monochromatischer Strahlung gemessen und mit einem analytischen Modell parametrisiert. Mit der Monte Carlo Simulation Geant4 wurde die Photonen-Wechselwirkung innerhalb des CdTe-Detektors simuliert. Die simulierten Spektren, die auch die Escape-Peaks beinhalten, sind in guter Übereinstimmung mit den Messungen und den analytischen Rechnungen.

Durch eine Messung mit berechenbarer, undispergierter Synchrotronstrahlung wurde die Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors unter Ein-

**Fachvortrag**

ST 2.4 Mo 14:45 TU HL1

**Korrelation von Strukturen zur verbesserten Messung von Diffusionsdaten in der MRT** — ●OLEG TISCHENKO<sup>1</sup>, CHRISTOPH HOESCHEN<sup>1</sup> und MARTIN SKALEJ<sup>2</sup> — <sup>1</sup>GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, AG Medizinphysik, Ingolstädter Landstr.1, 85764 Neuherberg — <sup>2</sup>Klinik für Diagnostische Radiologie, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg

Die Magnetresonanztomographie bietet viele Möglichkeiten der Diagnostik. Um die Strahlenexposition der Bevölkerung zu senken, wäre eine Ausweitung des Verfahrens als Ersatz für CT Untersuchungen wünschenswert. Das für die radiologischen Bildgebung entwickelte Rauschreduktionsverfahren kann dazu eventuell genutzt werden. Für eine Untersuchungsart läßt sich die Methode einfach adaptieren: Die diffusionsgewichtete Bildgebung zeigt in heutigen Untersuchungsprotokollen ein so starkes Rauschen, dass etliche Mittelungen vorgenommen werden müssen. In unserer Implementierung des Verfahrens werden Bilddaten aus einem ungemittelten Datensatz, der etwa viermal schneller aufgenommen werden kann als üblich, in ihren Waveletterlegungen in sich, das heißt pixelweise in Zeilen und Spalten korreliert. So kann eine hervorragende Rauschunterdrückung bei nur sehr kleiner zusätzlicher Unschärfe erreicht werden. Die Unschärfe ist dabei kleiner als die typischerweise durch die Mittelung von nacheinander aufgenommenen Daten entstehende Bewegungsunschärfe. Ein erheblicher Zeitgewinn ist so realisierbar und dies eröffnet neue diagnostische Einsatzmöglichkeiten.

**Fachvortrag**

ST 2.5 Mo 15:00 TU HL1

**Tumorerkennung mittels diskreter Wavelet-Transformation** — ●BIRGIT LESSMANN<sup>1</sup>, ANDREAS DEGENHARD<sup>1</sup>, TIM W. NATTKEMPER<sup>2</sup> und MARTIN O. LEACH<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Theoretische Physik, Universität Bielefeld, 33615 Bielefeld — <sup>2</sup>Angewandte Neuroinformatik, Universität Bielefeld, 33615 Bielefeld — <sup>3</sup>Clinical MR Research Group, Institute of Cancer Research, London

In der klinischen Diagnostik von Brustkrebs hat sich die Kontrastmittel-unterstützte Magnetresonanztomographie als wertvolle Bildgebungstechnik etabliert. Eine Anreicherung des Kontrastmittels zeigt den Tumor als aufhellende Struktur im umgebenden Gewebe und kann zu einer verbesserten Detektion sowie Klassifikation verdächtiger Läsionen beitragen. Für eine automatisierte Analyse der Dynamik verdächtiger Regionen ist es notwendig, möglichst eindeutige Merkmale zu berechnen, um den Tumor zu charakterisieren. Die hier gewählte Methode ist die Multiskalen-Analyse mittels einer dreidimensionalen, diskreten Wavelet-Transformation. Im Wavelet-Raum können Gewebetypen anhand ihrer Kontrastmittel-Aufnahme unterschieden werden. Dies ermöglicht beispielsweise eine Tumordetektion oder Visualisierung.

beziehung der zuvor erhaltenen Ansprechfunktionen bestimmt. Für diese Messung wurde der Speicherring als primäres Strahlernormal mit einer nur geringen Elektronenzahl betrieben.

**Fachvortrag**

ST 3.2 Mo 16:45 TU HL1

**Messeinrichtungen der PTB zur Dosimetrie und Spektrometrie unter natürlichen und besonderen Umgebungsbedingungen** — ●HARALD DOMBROWSKI — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Das Untertagelaboratorium für Dosimetrie und Spektrometrie (UDO) ist in einer Teufe von 490 m neu eröffnet worden. Der an der Erdoberfläche vorhandene Myonen- und Neutronenuntergrund ist in dieser Tiefe fast vollständig unterdrückt, sodass bei Gamma-spektroskopischen Untersuchungen von Proben einzelne Zerfälle pro Tag nachgewiesen werden können. Dosimeter können im UDO bei einer Umgebungs-Äquivalentdosisleistung von einigen nSv/h kalibriert werden, weil der Untergrund an Photonen um einen Faktor 100 gegenüber Messorten an der Oberfläche reduziert ist.

Die natürliche Umgebungsstrahlung wird, kombiniert mit Wetterdaten, auf einer Referenzfläche rund um die Uhr erfasst. Ein Myonen- und

ein Neutronendetektor geben Aufschluss über unterschiedliche Komponenten der natürlichen Strahlung. Die Separation von terrestrischer und Höhenstrahlung kann mit Hilfe einer weiteren Messeinrichtung erfolgen: Zur Erfassung der Höhenstrahlung dient eine schwimmende Plattform auf einem See. Der vierte Referenzmessplatz erlaubt Freiluftbestrahlungen von Messgeräten unter Nutzung von radioaktiven Strahlern. Das Vorüberziehen einer radioaktiven Wolke kann simuliert werden.

### Fachvortrag

ST 3.3 Mo 17:00 TU HL1

**Messung der Umgebungsstrahlung auf dem Messplatz der PTB** — ●FRANK WISSMANN — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Die PTB betreibt seit März 2002 einen Messplatz zur Untersuchung der natürlichen Umgebungsstrahlung. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Detektorsystemen ist es möglich, die einzelnen Beiträge zur Umgebungsstrahlung nachzuweisen [1]. Ein zusätzlicher Messplatz auf einem See ermöglicht die Bestimmung des Ansprechvermögens von Detektoren gegenüber Höhenstrahlung. Die mittlere Umgebungs-Äquivalentdosisleistung durch die geladene Komponente der Höhenstrahlung beträgt ca. 33 nSv/h. Wegen der natürlichen vorhandenen Schwankungen von  $\pm 5.5$  nSv/h ist während der Messungen die gleichzeitige Bestimmung dieses Beitrags erforderlich, um die terrestrische Komponente mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können. Die Ergebnisse der Langzeitmessungen werden präsentiert und die unterschiedlichen Effekte, die zu kurz- und langfristigen Variationen in der Umgebungsstrahlung führen, diskutiert.

[1] Wissmann, F., Dangendorf, V., Schrewe, U. *Radiation Exposure at Ground Level by Secondary Cosmic Radiation*. Radiation Measurements (2004), in press

### Fachvortrag

ST 3.4 Mo 17:15 TU HL1

**Berechnung der Strahlenexposition durch primäre und sekundäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre** — ●GERHARD LEUTHOLD, HANS SCHRAUBE, VLADIMIR MARES, ERWIN WEITZENEGGER und HERWIG G. PARETZKE — GSF-Forschungszentrum fuer Umwelt und Gesundheit, Institut fuer Strahlenschutz, 85758 Neuherberg

Kosmische Strahlung erzeugt bei den Wechselwirkungen in der Luft huelle der Erde ein breites Spektrum an sekundären Strahlungsfeldern, die von der geographischen Position und der Höhe in der Atmosphäre abhängen. Diese komplexen Felder ionisierender Strahlung werden zusätzlich noch von der solaren Aktivität beeinflusst und sind prinzipiell schwierig in-situ zu messen. Aus Gründen des Strahlenschutzes von Personen in hochfliegenden Flugzeugen haben wir deshalb ein Rechenprogramm (EPCARD) entwickelt, das die durch diese Felder verursachten Strahlenexpositionen als Funktion aller dieser Parameter zu berechnen gestattet. Es basiert auf detaillierten Monte-Carlo Strahlentransport-Simulationen aller relevanten Streu-Prozesse und erlaubt auch die Berechnung der Effektiven Dosis  $E$  und der Umgebungsäquivalentdosis  $H^*(10)$ . In diesem Beitrag werden repräsentative Rechen-Ergebnisse und Vergleiche mit Messdaten gezeigt und diskutiert.

### Fachvortrag

ST 3.5 Mo 17:30 TU HL1

**Dauermessung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in Flughöhen** — ●FRANK WISSMANN — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Die weltweite Messung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in Flughöhen wird seit Beginn der 90er Jahre sehr intensiv betrieben. Verschiedene europäische Projekte haben zumindest in Europa zu einer großen Harmonisierung beigetragen. Gefördert durch die EU im Rahmen des Projekts DOSMAX, betreibt die PTB ein Dosimetriesystem ("Flugkoffer"), das mittels eines Gewebe-äquivalenten Proportionalzählers die Umgebungs-Äquivalentdosis in Flughöhen messen kann [1]. Die Kalibrierung erfolgte in den Referenzstrahlungsfeldern für Neutronen und Photonen der PTB. Der Flugkoffer ist einem Airbus der Lufthansa eingebaut und seit Dezember 2003 im Dauerbetrieb. Mit den Messungen kann sowohl die Höhen- und Breitenabhängigkeit, als auch die Abhängigkeit von der Sonnenaktivität sehr gut untersucht werden.

[1] Wissmann, F., Langner, F., Roth, J., Schrewe, U. *A Mobile TEPC-Based System to Measure the Contributions to  $H^*(10)$  at Flight Altitudes*. Radiat. Prot. Dosimetry **110**, 347-349 (2004)

## ST 4 Medizinphysik: Strahlentherapie mit Ionen I

Zeit: Dienstag 10:15–11:15

Raum: TU HL1

### Hauptvortrag

ST 4.1 Di 10:15 TU HL1

**Strahlentherapie mit schweren geladenen Teilchen - Status der Proton und Carbon Therapie** — ●GERHARD KRAFT und W. K. WEYRATHER — GSI Biophysik, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt

Ionenstrahlen haben für die Strahlentherapie ein günstigeres Dosisprofil und im Falle von Carbon Ionen eine günstigere Verteilung der biologischen Wirksamkeit als Photonen. Seit 1957 wurden weltweit mehr als 30 000 Patienten mit Ionenstrahlen sehr erfolgreich behandelt, die meisten mit Protonen und etwa 2 000 mit schweren Ionen.

In den letzten Jahren konnte durch eine Intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT/IMPT) eine weitere Steigerung der Dosis-Konformität und damit eine bessere Tumorkontrolle erreicht werden. In der Carbon Therapie konnte die höhere biologische Effektivität auch klinisch umgesetzt werden. Die guten Therapie Erfolge stimulierten in mehreren Ländern die Vorbereitung und den Bau von modernen Protonen und Carbon Therapien.

Der Vortrag soll eine Darstellung der Grundlagen der Ionen-Therapie bringen, verbunden mit einer Übersicht über vorhandene und zukünftige Projekte.

### Hauptvortrag

ST 4.2 Di 10:45 TU HL1

**Treatment Planning for Ion Beams: Status and Developments** — ●MICHAEL KRAEMER — GSI, 64291 Darmstadt, Planckstr. 1

Since 1997 a radiotherapy pilot project is running at GSI (Darmstadt) treating tumour patients with scanned pencil beams of carbon ions. In this context a treatment planning software TRiP98 was developed for clinical use, which supports this kind of active ion beam delivery, including physical and radiobiological beam modelling, dose calculation and optimization, and dosimetric verification. More than 200 patients have been successfully planned and treated so far.

This contribution will report on the status and ongoing developments of TRiP98, in particular in view of the requirements of the dedicated clinic facility (HIT) currently being built at the Radiological Clinic Heidelberg. Physical and radiobiological beam modelling is currently extended to include proton and helium ions in addition to our established carbon ion data base. Calculations of absorbed dose as well as biological effects are verified with experimental data taken at GSI and the MPI Heidelberg. Calculation speed for biological effects can be improved significantly by suitable approximations without sacrificing the required accuracy. Thus it is possible to perform simultaneous optimization of multiple ion fields with the biological dose as objective function with reasonable computation times.

## ST 5 Medizinphysik: Strahlentherapie mit Ionen II

Zeit: Dienstag 11:15–15:15

Raum: TU HL1

**Fachvortrag**

ST 5.1 Di 11:15 TU HL1

**Flüssigkeitsionisationskammern für die Strahlentherapie** — ●THOMAS BERGHÖFER<sup>1</sup>, JOACHIM ENGLER<sup>1</sup>, GÜNTER HARTMANN<sup>2</sup> und JÖRG R. HÖRANDEL<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Leopoldshafen — <sup>2</sup>Deutsches Krebsforschungszentrum, Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg — <sup>3</sup>Universität Karlsruhe, Institut für Experimentelle Kernphysik, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Leopoldshafen

Es werden Flüssigkeitsionisationskammern zum Einsatz als Monitor in der intensitätsmodulierten Strahlentherapie vorgestellt. Ziel ist die Echtzeitüberwachung der Lamellenpositionen eines Multi-Leaf-Kollimators und somit die Verifikation der vom Bestrahlungsplan vorgegebenen Dosisverteilung. Die bei Raumtemperatur flüssigen Medien Isooktan, Isononan (Tetramethylpentan, TMP) und Tetramethylsilan (TMS) werden mit hoher Reinheit benutzt, um hohe Ströme für eine parallele Auslese mit Wiederholungsraten von mehr als 10 Hz zu erzielen. Erste Ergebnisse von Messungen mit Prototypkammern werden vorgestellt.

**Fachvortrag**

ST 5.2 Di 11:30 TU HL1

**Einfluss der Atembewegung auf die Dosisinhomogenität bei einem gescanntem Strahl bei Lungentumoren** — ●CHRISTOPH BERT, EIKE RIETZEL, SVEN O. GRÖZINGER, THOMAS HABERER und GERHARD KRAFT — Biophysik, GSI Darmstadt

Die an der GSI durchgeführte Therapie mit <sup>12</sup>C-Ionen ist derzeit auf Tumoren beschränkt, deren Lage im Körper durch die äußere Fixierung festgelegt wird. Dies sind Tumoren im Kopf-Hals-Bereich und längs der Wirbelsäule. Da die Dosisapplikation mit einem gescanntem Nadelstrahl erfolgt, können Wechselwirkungen zwischen Bewegungen im Zielgebiet und der Strahlbewegung zu inneren Dosisinhomogenitäten führen, die nicht durch ein vergrößertes bestrahltes Volumen (PTV) kompensierbar sind.

Das GSI-Bestrahlungsplanungssystem wurde um die Berechnung von Dosisverteilungen in bewegten Objekten erweitert. Berechnungsbasis ist die Information von zeitlich aufgelösten Computertomogrammen. Am Beispiel eines Lungentumors wurde der Einfluss der Atmung auf die Dosisverteilung untersucht. In diesem Fall führte die Bewegung zu Dosisinhomogenitäten von bis zu ±15% der Solddosis innerhalb des klinischen Zielvolumens, sowie zu erhöhten Dosisbeiträgen im gesunden Gewebe distal des PTV.

**Fachvortrag**

ST 5.3 Di 11:45 TU HL1

**Measurement and calculation of energy spectra of nuclear fragments from 200 MeV/u <sup>3</sup>He stopping in a thick water target** — ●HIROSHI IWASE and DIETER SCHARDT — Biophysik, Gesellschaft fuer Schwerionenforschung, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt

The new clinical ion-therapy unit HIT presently under construction at the Radiological University Clinics in Heidelberg will provide beams of protons, helium-, carbon- and oxygen-ions for the treatment of deep-seated tumours. For an unambiguous discrimination of these different ions in the low-energy section of the accelerator the isotope <sup>3</sup>He is preferred over <sup>4</sup>He because of its unique charge/mass ratio. For the physical characterisation of <sup>3</sup>He as a therapy beam the nuclear fragmentation in water (used as tissue-equivalent) was investigated experimentally. The measurements were performed in the biophysics cave at GSI Darmstadt using 200 MeV/u <sup>3</sup>He beams delivered by the synchrotron SIS-18 which were stopped in a 12.78 cm thick water target. Secondary fragments were identified by a telescope detector consisting of a plastic scintillator and a 14 cm thick BaF<sub>2</sub> crystal which was placed at angles from 0 to 30 degrees with respect to the beam axis. Another thin plastic scintillator located in front of the target provided the counting of primary ions and the start signal for time-of-flight measurements. The data include energy spectra of neutrons, protons, and deuterons which are produced in nuclear interactions and emerge from the thick water target in forward direction. The results are compared with a calculation by the PHITS code[1], a general-use Monte Carlo transport calculation for particles/heavy ions. [1] K. Niita et al., JAERI-Conf2004-005, 33, 2004

**Fachvortrag**

ST 5.4 Di 12:00 TU HL1

**Multiple field optimization of biologically effective dose** — ●ALEXANDER SCHMIDT — GSI-Biophysik, Darmstadt

The GSI pilot project for cancer treatment uses a raster scan system which provides three-dimensional active dose shaping with ions. The scanner is controlled by a software (TRiP) which is capable to generate intensity modulated fields with several ten thousand raster points, each point corresponding to a specific beam position, energy and particle fluence. So far, it allows single-field optimization of physical and biological dose taking advantage of the local effect model (LEM). Optimization can be done using either the Newton algorithm or the method of conjugated gradients and requires calculation of the gradient of dose with respect to particle fluence of each raster point. Using a numerical method to obtain the total gradient we found out that the biological contribution is not negligible. It turned out that the calculation of biological dose and its gradient is vastly facilitated by a newly developed approximation of the LEM for low doses used in therapeutic fractions. Therefore multiple field optimization of biologically effective dose will soon be available for clinical usage.

**Fachvortrag**

ST 5.5 Di 14:00 TU HL1

**Synchrotron Stereotactic Radiotherapy for the treatment of brain tumors: dosimetric aspects for clinical trials** — ●CAROLINE BOUDOU<sup>1</sup>, MARIE-CLAUDE BISTON<sup>1</sup>, AURÉLIE JOUBERT<sup>1</sup>, JEAN-FRANÇOIS ADAM<sup>1</sup>, ANNE-MARIE CHARVET<sup>1</sup>, CLAUDIO FERRERO<sup>2</sup>, FRANÇOIS ESTÈVE<sup>1,3</sup>, and HÉLÈNE ELLEAUME<sup>1</sup> — <sup>1</sup>INSERM-U647 "Rayonnement synchrotron et recherche médicale", Grenoble, France — <sup>2</sup>European Synchrotron Radiation Facility ESRF, Grenoble, France — <sup>3</sup>Unité IRM, Centre Hospitalier Universitaire, Grenoble, France

In synchrotron stereotactic radiotherapy (SSR) the tumor is loaded with atoms of high atomic number (Z), prior to a sliced irradiation performed with a fitted monochromatic low energy x-ray beam from a synchrotron source. This method is under investigation at the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) for the treatment of brain tumors. Very encouraging results obtained on a rat's model disclose new perspectives for clinical trials.

Commercial treatment planning systems are not suitable for this new technique since the beam energy, the irradiation geometry and the potential presence of high Z elements differ from conventional systems. We designed an interface for dose computation based on a Monte Carlo code (MCNPX); and studied the use of various radiosensitive gels for experimental dosimetry using the synchrotron radiation. The communication will describe these dosimetry methods.

**Fachvortrag**

ST 5.6 Di 14:15 TU HL1

**Ein Verfahren zur automatischen Optimierung der Lagerung in der Protonentherapie von Aderhautmelanomen** — ●DINO CORDINI<sup>1</sup>, MICHAEL FROMME<sup>2</sup>, JENS HEUFELDER<sup>1</sup>, IOANNIS SIMIANTONAKIS<sup>1</sup>, ROLAND STARK<sup>1</sup>, ANDREAS WEBER<sup>1</sup> und HEINZ KLUGE<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Hahn-Meitner-Institut Berlin, Augentumorthérapie — <sup>2</sup>Hahn-Meitner-Institut Berlin, DV-Systeme und Netze

In der Protonentherapie von Aderhautmelanomen ist eine exakte Lagerung des Auges im Submillimeterbereich erforderlich. Als Lagerungshilfen dienen vier bis fünf Tantalplättchen (Clips), die dem Patienten operativ auf die Lederhaut des Auges genäht werden. Mit Hilfe eines orthogonalen Zweistrahl-Röntgensystems, das in den Behandlungsplatz integriert ist, können die Clippositionen und somit die Lage des Auges mit einer Genauigkeit von bis zu 0,1 mm bestimmt werden.

Bei der Bestrahlungsplanung werden die Sollpositionen der Clips festgelegt, so dass bei der Patientenlagerung die Röntgenprojektionen der Tantalplättchen im Auge durch Überlagerung mit der Sollanordnung angepasst werden können. Die Anpassung hat sechs Freiheitsgrade: drei Translationen (Koordinaten des Behandlungsstuhls) und drei Rotationen (Drehung des Auges).

Es wird ein Verfahren präsentiert, das innerhalb der Bildverarbeitungssoftware eine automatische Korrektur der Lagerung vornimmt.

**Fachvortrag**

ST 5.7 Di 14:30 TU HL1

**Einfluss von Tantalclips auf die Dosisverteilung eines 68 MeV Protonenstrahls** — ●JENS HEUFELDER, DINO CORDINI, IOANNIS SIMIANTONAKIS, ROLAND STARK, ANDREAS WEBER und HEINZ KLUGE — Hahn-Meitner-Institut Berlin, Augentumorthérapie

Für die Markierung von Augentumoren in der Protonentherapie werden Tantalclips (Durchmesser 2,5 mm, Dicke 0,25 mm, Dichte 8,3 g/cm<sup>3</sup>)

operativ auf der Lederhaut des Auges befestigt. Durch orthogonale Röntgenaufnahmen (axiales und laterales Bild) kann mit Hilfe der Clips eine genaue Lagerung bei der Bestrahlung vorgenommen werden.

Bei großen Tumoren ist es gegebenenfalls unvermeidbar, dass einer der Clips sich im Strahlenfeld vor dem Tumor befindet. Dies führt zu einer lokalen Aufstreuung des Protonenstrahls und zur Verminderung der Reichweite im Clipschatten.

Für experimentelle Messungen wurde ein spezielles Plexiglasphantom mit integrierten Modellclips gefertigt. Mit einem zweidimensionalen Dosimetriesystem, bestehend aus Röntgenkonverterfolie und CCD-Kamera, wurden Lateralprofile eines 68-MeV-Protonenstrahls in verschiedenen Tiefen erstellt.

Es wurde eine Dosisverminderung um bis zu 15 % im Clipschatten gemessen. Die Messergebnisse werden vorgestellt, und der Einfluss auf die Therapie wird diskutiert.

### Fachvortrag

ST 5.8 Di 14:45 TU HLI

**Polymergeldosimetrie in der Protonentherapie von Augentumoren** — ●JENS HEUFELDER<sup>1</sup>, ISABELL NAUMANN<sup>1,2</sup>, CHRISTIAN BAYEREDER<sup>3</sup>, ANDREAS BERG<sup>3</sup>, GERHARD GREBE<sup>4</sup>, LUTZ LÜDEMANN<sup>5</sup> und MATHIAS PFAENDER<sup>5</sup> — <sup>1</sup>Hahn-Meitner-Institut Berlin, Augentumorthherapie (HMI) — <sup>2</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fachbereich Physik — <sup>3</sup>Universität Wien, Zentrum für Biomedizinische Technik und Physik — <sup>4</sup>Technische Fachhochschule Berlin, Medizinphysik — <sup>5</sup>Charité, Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Strahlenheilkunde

In der intensitätsmodulierten Strahlentherapie ist die Polymergeldosimetrie ein geeignetes Verfahren zur Messung dreidimensionaler Dosisverteilungen. Dieses Verfahren wurde von uns auf die Protonentherapie unter Verwendung von BANG-Gelen erfolgreich ausgeweitet.

## ST 6 Strahlenphysik: Retrospektive Strahlendosimetrie I

Zeit: Dienstag 16:30–18:00

Raum: TU HLI

### Hauptvortrag

ST 6.1 Di 16:30 TU HLI

**39Ar in Granitproben aus Hiroshima - eine neue Sonde für schnelle Neutronen** — ●WERNER RÜHM<sup>1</sup>, ECKEHART NOLTE<sup>2</sup>, THOMAS HUBER<sup>2</sup>, KAZUO KATO<sup>3</sup>, HORST KLEIN<sup>4</sup>, HUGO LOOSLI<sup>5</sup>, WOLF MANNHART<sup>4</sup> und IGOR TOLSTIKHIN<sup>6</sup> — <sup>1</sup>Strahlenbiologisches Institut, LMU München — <sup>2</sup>Physikdepartment, TU München — <sup>3</sup>Hiroshima Prefectural College of Health Science, Japan — <sup>4</sup>PTB Braunschweig — <sup>5</sup>Universität Bern — <sup>6</sup>Universität Apatiti

Die Messung langlebiger Radionuklide, die bei den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki durch Neutroneneinfang in Umweltproben entstanden waren, ermöglicht es auch heutzutage noch, die damals vorhandenen Neutronenfluenzen zu rekonstruieren. Ein Isotop, das bis jetzt nicht verwendet wurde, ist <sup>39</sup>Ar ( $T_{1/2} = 269$  a). Da dieses Radionuklid in Granitproben durch schnelle Neutronen über die Reaktion  $^{39}\text{K}(n,p)^{39}\text{Ar}$  entstanden war, lässt es sich zur retrospektiven Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen nutzen, die für die Neutronendosen der Überlebenden verantwortlich sind. Die Vorteile von <sup>39</sup>Ar werden diskutiert. Ein Experiment zur Bestimmung des Produktionsquerschnittes wurde bereits durchgeführt. Schließlich werden erste an Granitproben aus Hiroshima durchgeführte Messungen beschrieben und die noch vorläufigen Messergebnisse mit Modellrechnungen verglichen.

### Fachvortrag

ST 6.2 Di 17:00 TU HLI

**<sup>41</sup>Ca in Zahnschmelz - ein biologisches „Dosimeter“ für Neutronen** — ●G. RUGEL<sup>1,2</sup>, S.D. EGBERT<sup>3</sup>, A.M. KELLERER<sup>2</sup>, T. FAESTERMANN<sup>1</sup>, K. KNIE<sup>1</sup>, G. KORSCHINEK<sup>1</sup>, H.-J. MAIER<sup>4</sup>, N. NAKAMURA<sup>5</sup>, W. RÜHM<sup>2</sup> und A. WALLNER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Technische Universität München, Fakultät für Physik — <sup>2</sup>LMU München, Strahlenbiologisches Institut — <sup>3</sup>SAIC, San Diego, USA — <sup>4</sup>Sektion Physik der LMU München — <sup>5</sup>Dep. of Genetics, RERF, Hiroshima, Japan

Die Messung langlebiger Radionuklide, die in Proben aus Hiroshima und Nagasaki durch Neutronen der Atombomben-Explosionen produziert wurden, ermöglicht es, die damaligen Neutronenfluenzen auch heute noch zu rekonstruieren. Dazu werden am Beschleunigerlabor in Garching derzeit u.a. Messungen durchgeführt, die zeigen sollen, inwieweit das Radioisotop <sup>41</sup>Ca ( $T_{1/2} = 103\,000$  a) zusätzliche Informationen liefern kann. Zusammen mit ESR Messungen an Zahnschmelz zur Bestimmung der Gammastrahlungsdosen erlaubt der zusätzliche Nachweis von <sup>41</sup>Ca darin erstmals eine Charakterisierung des zusätzlichen Neutronen- und Gammafeldes in Hiroshima im selben biologischen Material. <sup>41</sup>Ca wurde durch

Die Bestrahlungen wurden am 68-MeV-Protonenstrahl des HMI durchgeführt. Die Dosisverteilungen im Gel wurden an einem 1,5-T-Magnetresonanztomographen ausgelesen. Damit wurden Keilfilterneigung und irreguläre Feldformen verifiziert.

Da die BANG-Gele empfindlich auf Sauerstoff reagieren, verwenden wir neuerdings normoxische Gele. Wir haben ebenfalls seit kurzem die Möglichkeit, bestrahlte Gele an 3-T-Hochfeld-MR-Systemen mit höherer räumlicher Auflösung (ca. 0,2mm/Pixel) zu vermessen. Es werden Linearität der Dosisantwort und die LET-Abhängigkeit der Gele diskutiert.

### Fachvortrag

ST 5.9 Di 15:00 TU HLI

**Biophysikalische Bestrahlungsplanung für die FRM II Neutronenquelle** — ●SYLVIA STUDENY und HERWIG G. PARETZKE — GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, 85758 Neuherberg

Die Garching Neutronenquelle FRMII kann auch zur therapeutischen Bestrahlung von Tumoren benutzt werden. Zur Optimierung der Bestrahlungs-Planung mit dem dort vorhandenen Mischstrahlenfeld wurde mit Hilfe von J. Stepanek das bei CERN entwickelte Monte-Carlo Strahlentransportprogramm GEANT weiterentwickelt und an individuelle Voxelpantomdarstellung von Patienten adaptiert. Mit einer Ortsauflösung im Millimeterbereich können Dosis- und LET-Verteilungen für die unterschiedlichen Primär- und Sekundärstrahlenfelder berechnet werden und mit gleicher Auflösung auch die Wahrscheinlichkeiten für Tumorzell- Inaktivierung, Komplikationen im gesunden Gewebe und für Sekundärtumoren unter Berücksichtigung von RBW- und OER-Effekten. In diesem Beitrag werden beispielhafte Ergebnisse dieser Arbeiten gezeigt und diskutiert.

Einfang thermischer Neutronen an natürlichem <sup>40</sup>Ca erzeugt. Erste Messungen, die mit der Methode der Beschleuniger-Massenspektrometrie sowie die verwendete Nachweismethode werden diskutiert. Die Ergebnisse werden verglichen mit <sup>41</sup>Ca in Zahnproben von Überlebenden, die keiner wesentlichen Neutronenfluenz ausgesetzt gewesen waren. Zudem werden erste Neutronen-Transportrechnungen beschrieben, mit denen <sup>41</sup>Ca im Zahnschmelz einiger Überlebenden unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren abgeschätzt wurde. Berücksichtigung

### Fachvortrag

ST 6.3 Di 17:15 TU HLI

**<sup>129</sup>I Messungen zur Rekonstruktion der <sup>131</sup>I Freisetzungen in Mayak - Stand einer Machbarkeitsstudie** — ●HERBERT REITHMEIER<sup>1</sup>, VITALI LAZAREV<sup>1</sup>, WERNER RÜHM<sup>2</sup>, MARGIT SCHWIKOWSKI<sup>3</sup>, HEINZ GÄGGLER<sup>3</sup> und ECKEHART NOLTE<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Fakultät für Physik E15, Technische Universität München — <sup>2</sup>Radiobiologisches Institut, Universität München — <sup>3</sup>Paul Scherrer Institut, CH-Villigen

Die Bewohner der Region um Tscheljabinsk weisen infolge von Freisetzungen aus Mayak ein erhöhtes Krebsrisiko auf, das nicht mit dem der Atombombenüberlebenden in Hiroshima und Nagasaki in Einklang zu bringen ist. Ein zusätzlicher Beitrag zur Dosis durch kurzlebige Spaltprodukte kann diese Diskrepanz möglicherweise schließen. <sup>131</sup>I wird als Kandidat für eine wesentliche Teildosis angesehen.

Der <sup>129</sup>I Untergrund aus anderen Quellen wird vorgestellt. Am Maier-Leibnitz-Laboratorium in Garching wurden <sup>129</sup>I Messungen in verschiedenen Umweltproben mit Beschleunigermassenspektrometrie durchgeführt. <sup>129</sup>I Messungen in Seewasserproben geben Aufschluß über das Ausbreitungsverhalten von Radioiod und die in Mayak abgegebene Gesamtaktivität an <sup>129</sup>I. <sup>129</sup>I Messungen an einem Eisbohrkern aus dem sibirischen Altai lassen den Anteil der radiologisch relevanten Jahre von der <sup>129</sup>I Fluenz abtrennen. Eine Rekonstruktion der frühen <sup>131</sup>I Emissionen ist möglich.

### Fachvortrag

ST 6.4 Di 17:30 TU HLI

**Progress in Modeling the Input and the Vertical Distribution of Cs-137 in Lake Sediments** — ●VIKTORYA PUTYRSKAYA<sup>1,2</sup>, ECKEHARD KLEMT<sup>1</sup>, and GREGOR ZIBOLD<sup>1</sup> — <sup>1</sup>FH Ravensburg-Weingarten, Doggenriedstr., 88250 Weingarten — <sup>2</sup>International Sakharov Environmental University, Dolgobrodskaya str. 23, 220009 Minsk, Belarus

Our model consists of two coupled partial differential equations which describe the exchangeable and fixed parts of radioactivity in the sedi-

ment, respectively. It is based on sedimentation-diffusion equations and it also takes into account fixation and redissolution processes as well as radioactive decay. The input of activity is described by a distribution coefficient KD assuming that the activity concentration of the settling suspended matter is in equilibrium with the lake water. As a boundary condition it is required to know the activity concentration in the water for the integration period. The concentration of competing ions influences the distribution coefficient KD within the sediment where it is responsible for the retarded diffusion. Also the compaction of sediments with depth is taken into account via the measured distribution of bulk density. If larger turbidities are identified on photos of sediment cores and in the distributions of bulk density and of unsupported Pb-210, extra terms are incorporated in the differential equations for their descriptions. To solve this system a finite element method is used. Results for sediments of Lago Maggiore will be shown.

### Fachvortrag

ST 6.5 Di 17:45 TU HL1

**NEW RESULTS ON CS-137 IN WATER, SEDIMENTS, AND TRIBUTARIES OF LAGO MAGGIORE** — •VIKTORYA PUTYRSKAYA<sup>1,2</sup>, ECKEHARD KLEMT<sup>1</sup>, and GREGOR ZIBOLD<sup>1</sup> — <sup>1</sup>FH Ravensburg-Weingarten, Doggenriedstr., 88250 Weingarten — <sup>2</sup>International Sakharov Environmental University, Dolgobrodskaya str. 23, 220009 Minsk, Belarus

In order to balance Cs-137 fluxes within the lake system of Lago Maggiore and to get an idea on the present radiological situation sediment cores and lake water samples were taken in 2003 and 2004 at four different basins of Lago Maggiore. The vertical distribution of Cs-137, pH, temperature, as well as K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and oxygen content were determined in the water column while the vertical distribution of Cs-137, bulk density, and unsupported Pb-210, as well as K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in the pore water were measured in the sediment. Also water from main tributaries was collected and analysed with respect to its Cs-137 activity concentration. To get information on the association of radionuclides to the different geochemical fractions sequential extraction experiments were performed. The measurements from different basins will be compared and interpreted in this talk. Also, a comparison will be made to other lakes in the pre-alpine region. During 2005 the examination of Lago Maggiore will be continued by sampling in two more basins.

## ST 7 Strahlenphysik: Strahlenbiophysik I

Zeit: Mittwoch 10:15–11:45

Raum: TU HL1

### Hauptvortrag

ST 7.1 Mi 10:15 TU HL1

**Über die Rolle des Photoeffekts in der Strahlenbiophysik** — •HERWIG G. PARETZKE, WERNER FRIEDLAND and PHILIP BERNHARDT — GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, 85758 Neuherberg

Ionisierende Strahlen können mit biologischen Targets auch über den Photoeffekt wechselwirken, was u.U. zu Kaskaden von Auger-Elektronen führen kann, die lokal hohe Schädigungsdichten erzeugen können. Deshalb war es interessant, die Bedeutung dieses Effektes für verschiedene biologische Endpunkte wie Zellinaktivierung, Induktion von Chromosomenaberrationen und DNS-Schäden im Detail mechanistisch zu untersuchen. Mit Hilfe des von uns entwickelten Monte Carlo Spurstruktur-Simulationsprogrammes PARTRAC wurden entsprechende Rechnungen durchgeführt und die Ergebnisse mit Messdaten aus der Literatur verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die relative Bedeutung des Photoeffektes stark von der lokalen Umgebung des betrachteten Target-Volumens und von der Art des absorbierenden Atoms abhängen kann.

### Fachvortrag

ST 7.2 Mi 10:45 TU HL1

**Simulation stochastischer, räumlicher Schadensverteilungen mit Hilfe des Local-Effect-Modells** — •THILO ELSÄSSER und MICHAEL SCHOLZ — Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Biophysik, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt

Die genaue Modellierung der erhöhten biologischen Wirkung von Ionenstrahlen ist sowohl für Anwendungen in der Tumorthherapie als auch für den Strahlenschutz von großem Interesse.

Dafür hat sich das Local-Effect-Modell (LEM) bisher als äußerst zuverlässige Methode bewährt, die schon seit längerem in der Therapie eingesetzt wird. Es basiert auf der Berechnung der erhöhten Wirksamkeit aufgrund der Kenntnis der Dosiswirkungskurve nach Photonenbestrahlung sowie der mikroskopischen Verteilung der Energiedeposition der Ionenstrahlen.

In diesem Vortrag wird eine Erweiterung des LEM diskutiert, welche ausgehend vom radialen Dosisprofil die stochastische Verteilung von Schäden innerhalb einzelner Ionenspuren mittels eines Monte-Carlo-Verfahrens simuliert. Dies erlaubt die genauere Berücksichtigung korrelierter Schäden, die bislang bestehende Abweichungen zwischen Experiment und Modell erklären könnten. Zusätzlich wird der Vergleich mit detaillierten, mechanistischen Monte-Carlo-Verfahren erleichtert.

### Fachvortrag

ST 7.3 Mi 11:00 TU HL1

**The GSI heavy ion microbeam: a new tool for the investigation of cellular response to high LET radiations.** — •BARBERET P., FISCHER B.E., HEISS M., DU G., and TAUCHER-SCHOLZ G. — GSI Plankstr.1 64291 Darmstadt

Since the mid 90s, an increasing number of charged particle mi-

crobeams have been designed to deliver an exact number of ions on individual cells cultured in vitro with a lateral resolution of a few microns. This irradiation technique is of particular interest for the investigation of the cellular response to low doses of radiations. Since 1987, a single ion hit technique is in operation on the GSI heavy ion microbeam. During the last years, this facility has been upgraded for the irradiation of individual living cells in culture. This set-up presents two main peculiarities compared to the microbeams used up to now for cell irradiation. First, the beam micrometric size is obtained by focusing and not by a simple collimation. This allows to obtain a smaller beam spot, a better defined LET, and a high irradiation throughput. Then, the GSI microbeam is able to focus ions from carbon to uranium with energies between 1.4 MeV/u to 11.4 MeV/u. The range of accessible LET is thus considerably extended compared to light ions microbeam in operation today. The design of the GSI microbeam will be described, including the beam control, the online cell localization, the cell dish designed specifically for microbeam irradiation and the cell irradiation procedures. The different tests performed to check the reliability of the system will also be presented. At last, a brief overview of the possible applications of such a microbeam in radiation biology studies will be exposed.

### Fachvortrag

ST 7.4 Mi 11:15 TU HL1

**Entwicklung eines Mikroskops zur Untersuchung von frühen Zellantworten nach Teilchenbestrahlung** — •BURKHARD JAKOB<sup>1</sup>, JEANETTE RUDOLPH<sup>1</sup>, NURI GUEVEN<sup>2</sup>, MARTIN LAVIN<sup>2</sup> und GISELA TAUCHER-SCHOLZ<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Gesellschaft für Schwerionenforschung, Biophysik, Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt, Germany — <sup>2</sup>The Queensland Institute of Medical Research, Herston Qld 4029, Australia

Eine wichtige Grundlage der genetischen Stabilität ist das Erkennen von DNA Schäden. Bei Untersuchungen molekularer Abläufe in zellulären Systemen bieten Teilchenstrahlen den Vorteil einer extrem lokalisierten Dosisverteilung entlang der Trajektorien und damit eine definierte, räumlich begrenzte Anhäufung erzeugter DNA-Schäden auf mikroskopischer Ebene. Weite Bereiche des Zellkerns bleiben schadensfrei. Die Schadensverteilung kann mit Hilfe immunozytochemischer Nachweisverfahren in fixierten Präparaten oder mit Hilfe von fluoreszierenden Proteinkonstrukten auch in lebenden Zellen sichtbar gemacht werden. Zur Untersuchung schneller Protein- und Chromatinbewegungen wurde ein Mikroskop an der GSI aufgebaut, mit dem zum ersten mal Veränderungen im Zellkern lebender Zellen während der Ionenbestrahlung mit hoher Auflösung aufgenommen werden können. Kinetische Studien der Rekrutierung des Reparaturproteins Aprataxin ergaben eine Akkumulation des Proteins in wenigen Sekunden am Ort des Ionendurchgangs durch den Zellkern. Hingegen zeigten Zellkerne in den ersten Minuten nach der Ionenbestrahlung nur geringfügige Chromatinbewegungen. Großräumige Umlagerungen der DNA scheinen für die Schadenserkenntnis und Proteinrekrutierung nach Ionenbestrahlung keine Rolle zu spielen.



**Fachvortrag**

ST 7.5 Mi 11:30 TU HL1

**DNA-Schäden und Strahlenqualität: Dynamik von Reparatur-Proteinen an lokalisierten Schadensstellen** — ●GISELA TAUCHER-SCHOLZ — GSI Biophysik, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt

Strahlenschutz und Strahlentherapie haben die Erforschung der molekularen Mechanismen der biologischen Strahlenwirkung intensiviert. Die zelluläre Strahlenreaktion beruht auf der Erkennung kritischer DNA-Schäden und der Einleitung von Reparaturprozessen, verbunden mit einer zeitlichen Verzögerung der Zellproliferation. Die Effizienz

der Reparatur hängt von der Komplexität der DNA-Schädigung und damit von der Strahlenqualität ab. Wie bei der GSI erstmalig gezeigt, werden Reparatur-Proteine direkt nach Bestrahlung an lokalisierte, Ionen-induzierte DNA-Schäden rekrutiert. Diese lokalisierten Schäden eignen sich besonders zur detaillierten Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Abläufe von Reparaturprozessen. Der Einsatz von Ionen-Mikrosonden zur definierten Bestrahlung einzelner Zellen stellt dabei eine wesentliche Erweiterung der experimentellen Technik dar.

Bisherige Erkenntnisse und Perspektiven der DNA Reparaturforschung werden in diesem Zusammenhang vorgestellt.

**ST 8 Strahlenphysik: Strahlenbiophysik II**

Zeit: Mittwoch 14:00–15:30

Raum: TU HL1

**Fachvortrag**

ST 8.1 Mi 14:00 TU HL1

**Dynamik von DNA-Reparaturproteinen nach Ionen-Mikrobestrahlung** — ●VOLKER HABLE<sup>1</sup>, CHRISTOPH GREUBEL<sup>1</sup>, ANDREAS HAUPTNER<sup>1</sup>, REINER KRÜCKEN<sup>1</sup>, GÜNTHER DOLLINGER<sup>2</sup>, STEFFEN DIETZEL<sup>3</sup>, THOMAS CREMER<sup>3</sup>, ROBERT LÖWE<sup>4,5</sup>, GUIDO DREXLER<sup>4,5</sup> und ANNA FRIEDL<sup>4,5</sup> — <sup>1</sup>Physik Dep. E12, TU-München, Garching — <sup>2</sup>Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik LTR2, Uni-BW München, Neubiberg — <sup>3</sup>Dep. Biologie II, LMU-München — <sup>4</sup>Strahlenbiologisches Inst., LMU-München — <sup>5</sup>Inst. für Molekulare Strahlenbiologie, GSF, Neuherberg

Am Münchner 14 MV Tandembeschleuniger werden Experimente zur Untersuchung der Dynamik von Reparaturprozessen in Zellkernen nach Strahlenschädigung durchgeführt. Grundlage dieser Experimente ist das Rasterionemikroskop SNAKE (Supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente). Dieses ermöglicht die Bestrahlung lebender Zellen mit einer definierten Zahl von Ionen und somit einer definierten Dosis. Die Bestrahlungsgenauigkeit liegt dabei im Submikrometerbereich.

An durch 100 MeV Sauerstoff-Ionen erzeugte Schäden lagern sich Reparaturproteine an. Deren Dynamik wurde unter dem Fluoreszenzmikroskop untersucht und quantitativ ausgewertet. Neben der Beobachtung kleinskaliger Bewegungen der Reparaturproteine an einer Schadensstelle ist es mit dieser Methode möglich, Bereiche des Zellkerns mit gezielten Schäden zu markieren und deren Bewegung im Chromatin zu studieren. Solche grösserskaligen Bewegungen unterliegen einer Diffusion, während die kleinskaligen Bewegungen ein komplexeres Zeitverhalten zeigen.

**Fachvortrag**

ST 8.2 Mi 14:15 TU HL1

**Konkurrenzeffekte in der Verteilung von DNA-Reparaturproteinen** — ●CHRISTOPH GREUBEL<sup>1</sup>, VOLKER HABLE<sup>1</sup>, ANDREAS HAUPTNER<sup>1</sup>, REINER KRÜCKEN<sup>1</sup>, GÜNTHER DOLLINGER<sup>2</sup>, STEFFEN DIETZEL<sup>3</sup>, THOMAS CREMER<sup>3</sup>, ROBERT LÖWE<sup>4,5</sup>, GUIDO DREXLER<sup>4,5</sup> und ANNA FRIEDL<sup>4,5</sup> — <sup>1</sup>Physik Dep. E12, TU-München, Garching — <sup>2</sup>Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik LTR2, Uni-BW München, Neubiberg — <sup>3</sup>Dep. Biologie II, LMU-München — <sup>4</sup>Strahlenbiologisches Inst., LMU-München — <sup>5</sup>Inst. für Molekulare Strahlenbiologie, GSF, Neuherberg

Die Ionenmikrosonde SNAKE am Münchener 14 MV Tandem Beschleuniger des Maier Leibnitz Labors erlaubt die Fokussierung von hochenergetischen Ionenstrahlen in den Sub-Mikrometerbereich, was die gezielte Bestrahlung von Substrukturen lebender Zellen ermöglicht. Damit wurden in den vergangenen Monaten Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Dynamik von DNA-Reparaturprozessen durchgeführt.

Hierzu wurden HeLa-Zellen zweimal in unterschiedlichen zeitlichen Abständen mit einzelnen 100 MeV Sauerstoffionen und einer Dosis von 2 Gy bzw. 10 Gy bei der ersten und 10 Gy bei der zweiten Bestrahlung beschossen. Es zeigten sich teilweise sehr deutliche Konkurrenzeffekte in der Verteilung des Reparaturproteins 53BP1 auf die zu unterschiedlichen Zeiten induzierten DNA-Schädigungen. Die Proteinverteilung ist sowohl von der Zeit zwischen den beiden Bestrahlungen als auch der seit der ersten Bestrahlung vergangenen Zeit abhängig. Zur Beobachtung der Konkurrenz ist des weiteren eine Mindestdosis bei der ersten Bestrahlung notwendig, was auf einen begrenzten Vorrat an Reparaturprotein 53BP1 hinweist.

**Fachvortrag**

ST 8.3 Mi 14:30 TU HL1

**Proton RBE at low energies** — ●MAREIKE MUELLER — GSI, Darmstadt

In proton therapy, an average RBE of 1 to 1.2 is used for the calculation of treatment plans although the RBE changes along the penetration

depth. To verify this, CHO-K1 cells were irradiated in track segment experiments and experiments in which protons with a primary energy of 20 MeV were slowed down by thin degrader foils (polyethylene). The corresponding energy spectra were measured using a silicon detector. These show that in track segment irradiations, the energy spread is negligible. The energy spectra of the passively degraded protons are rather broad due to the energy straggling produced by the degrader foils which needs to be taken into consideration when calculating treatment plans. The RBE values of the track segment irradiations show a fairly sharp maximum at 2.50 MeV. In the passive energy degrading experiments, the RBE values of the Bragg peak region do not show a sharp maximum, but are spread around a value lower than that of the track segment peak. It is expected that at higher energies as they are used in therapy, the RBE values will decrease even further in the Bragg peak region due to the larger energy straggling, but from the up to now conducted experiments, an RBE significantly greater than 1 can be expected.

**Fachvortrag**

ST 8.4 Mi 14:45 TU HL1

**AFM studies of particle induced DNA damage.** — ●KATARZYNA PSONKA<sup>1,2</sup>, EWA GUDOWSKA-NOWAK<sup>1,2</sup>, GISELA TAUCHER-SCHOLZ<sup>2</sup>, and STEPHAN BRONS<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Marian Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Cracow, Poland — <sup>2</sup>Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, Germany

DNA double strand breaks (DSBs) are the critical lesions induced by ionizing radiation. Their production is determined by the spatial distribution of ionization events, which itself depends on the physical properties of energy deposition and the chemical environment of DNA. High linear energy transfer (LET) radiation produces more severe and less repairable lesions as compared to low LET radiation, most likely due to the induction of multiple DSBs in close proximity. DNA fragmentation resulting from such clustered lesions is difficult to be analyzed by conventional methods, even using DNA in solution. We used atomic force microscopy (AFM) to investigate the DSB production in plasmid DNA by analyzing the DNA fragments induced by Ni ions (E=3.5 MeV/u). Based on the selected step length, the uncertainty produced by this procedure was 20 nm (60 bp). Access to the fraction of the smallest fragments was restricted due to the limited resolution with the lower detection limit approx. 100 nm. Fragment distributions induced by high LET radiation were found to be shifted towards smaller fragment sizes compared to those obtained for X-rays. Our first results provide an experimental indication of the correlated production of DSBs after particle radiation (in terms of a compound Poisson process).

**Fachvortrag**

ST 8.5 Mi 15:00 TU HL1

**Spurstrukturrechnungen in der Strahlenbiophysik** — ●WERNER FRIEDLAND, PETER JACOB und HERWIG G. PARETZKE — GSF-Institut für Strahlenschutz, 85764 Neuherberg

Wirkungen von ionisierender Strahlung auf biologische Systeme haben ihren Ausgangspunkt in der räumlich-zeitlichen Struktur von Ionisationen und Anregungen auf Grund der Wechselwirkungen der primären und sekundären Teilchen. Im biophysikalischen Modell PARTRAC werden diese Spurstrukturen event-by-event im Monte Carlo Verfahren vor dem Hintergrund eines Modells rechnerisch erzeugt, welches wesentliche Eigenschaften des relevanten biologischen Targets abbildet. Nach Weiterentwicklung des PARTRAC-Modells können Spurstrukturen von Protonen und He-Ionen sowie auf der Basis von Skalierungsgesetzen auch von anderen Ionen leichter Elemente simuliert werden. Die für Spurstrukturen bis hin zu Ne-Ionen errechnete Häufigkeiten von Doppelstrangbrüchen und Verteilungen von Fragmenten der DNA nach Bestrahlung eines menschlichen Zellkerns werden präsentiert und mit Literaturdaten

verglichen. Der Grad an Übereinstimmung deutet darauf hin, dass diese primären Schäden am Genom adäquat modelliert werden und die Modellergebnisse als Ausgangspunkt für die weitere Simulation biologischer Prozesse (Reparatur, Signale) als Folge der Strahleneinwirkung dienen können.

### Fachvortrag

ST 8.6 Mi 15:15 TU HL1

**Wirkung von Strahlung mit hohem und niedrigem LET in Krebsentstehungsmodellen** — •WOLFGANG F. HEIDENREICH und HERWIG G. PARETZKE — GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, Neuherberg

Die wichtigste gesundheitliche Folge von Strahlung mittlerer Dosen ist die Entstehung von Tumoren lange Zeit nach der Bestrahlung. Die

quantitative Abschätzung der Gesundheitsrisiken auch bei Expositionen die keine epidemiologisch direkt messbaren Effekte zeigen, ist für den Strahlenschutz eine wichtige Aufgabe. Obwohl die Prozesse der Krebsentstehung nicht im Detail bekannt sind, wurden mathematische Modelle entwickelt, welche die wesentlichen Komponenten des stochastischen Prozesses beschreiben und erlauben, Hypothesen über Teil-Prozesse an epidemiologischen und experimentellen Daten zu testen. Ein solches Krebsentstehungsmodell mit zwei Raten-limitierenden Stufen und klonaler Expansion wird als Arbeitshypothese benützt, um die Wirkung von Strahlung mit hohem und niedrigem LET auf die Initiation und die Promotion von Krebs zu studieren. Die Annahmen werden an geeigneten Daten überprüft.