**Im Dialog** 20/2/2011

Ein Interview von Prof. Michael K. Hohl

# Weshalb revolutionieren Protonenstrahlen die Krebstherapie, Herr Prof. Herbst?



**Prof. Manfred Herbst** Ärztlicher Direktor RPTC, München

Prof. Manfred Herbst, gebürtig in Siedenbollentin/ Mecklenburg.

Medizinstudium in Bonn und Düsseldorf. 1966 Staatsexamen, 1967 Promotion, 1968 Approbation, Bundeswehr.

1974 Facharzt für Innere Medizin am Lehrkrankenhaus Düsseldorf-Benrath.

1978 Facharzt für Radiologie am Universitätsinstitut für Medizinische Radiologie des Kantonspitals Basel.

1978–1990 Strahlenklinik (Friedrich-Alexander-Universität) Erlangen, 1983 Habilitation, 1986 C3-Professur.

1991 C4-Professur am Universitätsklinikum Regensburg.

Schwerpunkte Virtuelle Therapiesimulation, Radiochirurgie, kindliche Weichteil-Sarkom-Studie: Referenzstrahlentherapeut. Einführung der Hyperfraktionierung, IMRT, Med. Physik: seit 1994 Protonentherapieplanung,

Hyperthermie, simultane Radio-Chemotherapie.

Seit 2004 Medizinischer Direktor am Rinecker-Protonen-Therapie-Center (RPTC) München. Frauenheilkunde aktuell: Herr Prof. Herbst, Sie sind der ärztliche Leiter des grössten und modernsten Protonentherapiezentrums in Europa. Wie viele Protonenzentren gibt es eigentlich weltweit?

**Prof. Manfred Herbst:** Weltweit sind heute über 20 Protonentherapiezentren mit unterschiedlichen Therapiekonzeptionen in Betrieb. Es stehen aber nur 2/3 für den regulären Patientenbetrieb zur Verfügung. In Europa ist dies unser Zentrum in München, eines in Paris, eines in Heidelberg und das Paul Scherrer Institut in der Schweiz.

Frauenheilkunde aktuell: Was unterscheidet Ihr Zentrum von den anderen?

**Prof. Manfred Herbst:** Das Münchner Protonenzentrum hat ein Alleinstellungsmerkmal in Europa und Afrika bis

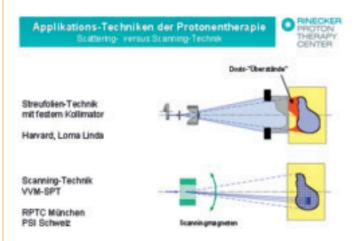
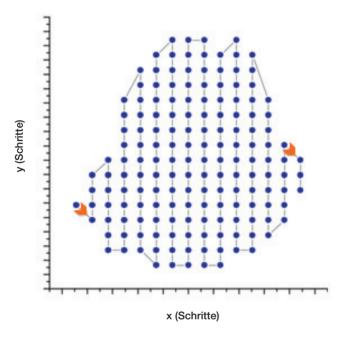


Abb. 1a. Protonenbestrahlung nach dem Scanningprinzip. Damit ist eine bisher unerreichte Präzision mit maximaler Schonung des umgebenden Gewebes möglich geworden.

Der Protonenstrahl wird punktförmig zu den im Therapieplan berechneten Positionen bewegt. Dies erfolgt nacheinander für jede Schichttiefe (im Bild mehrere dargestellt), wodurch der Tumor dreidimensional bestrahlt wird. 20/2/2011 Im Dialog



*Abb. 1b.* Der Protonenstrahl wird beim Scanning Mäander-förmig zu den im Therapieplan berechneten Positionen bewegt – gescannt. Dies erfolgt für jede Tiefenschicht, wodurch der Tumor dreidimensional abgetastet wird.

(Blaue Punkte entsprechen den Spotmittelpunkten, die Verbindungslinien den Bewegungen)

nach Japan und den USA, da es als einziges Zentrum das modernste Scanningverfahren anbietet (das Paul Scherrer Institut in der Schweiz wendet ebenfalls das Scanningprinzip an. Dieses Zentrum behandelt jedoch nur ein eingeschränktes Spektrum von klinischen Tumoren, vor allem wegen Kapazitätsproblemen). In den USA arbeiten 6 Zentren im regulären Patientenbetrieb wie auch die Münchner Protonenanlage. Die älteren Protonenanlagen arbeiten nach dem Scattering-Prinzip, d.h. der mit Filtern aufgeweitete Protonenstrahl wird gleichsam über den Tumor geduscht. Diese Methode war zwar um Dimensionen besser als die herkömmliche Röntgenstrahlung, führte aber dennoch zu vermehrten Gewebeschäden beim Patienten im Gegensatz zur Scanning Technologie.

Ausserdem konnte mit der dabei verwendeten Schablonentechnik noch keine gestaltliche Anpassung des Strahls an das Zielgebiet des Tumors erfolgen.

Das bei uns verwendete neuartige Scanningssystem (Abb. 1a). erlaubt die Bestrahlung in dosiskontrollierten Einzelpunkten. Jeder Teil des Tumors wird exakt entsprechend der Form punktdefiniert, dreidimensional erfasst. So können wir die Dosis in allen Dimensionen auf das Zielgebiet konzentrieren (Abb. 1b).

Frauenheilkunde aktuell: Gibt es noch andere Protonenzentren, die nach diesem Prinzip arbeiten?

**Prof. Manfred Herbst:** Das PSI in der Schweiz arbeitet ebenfalls mit der Scanningtechnik. Es werden allerdings nur ausgewählte Tumoren behandelt. Ein Routineangebot für alle Tumoren wird noch nicht praktiziert.

Frauenheilkunde aktuell: Was sind die direkten Vorteile für die Patienten/-Innen im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie?

Prof. Manfred Herbst: Dies sind im Wesentlichen drei Mechanismen. Erstens schädigt das Protonenscanning den Patienten und die Umgebungsgewebe um den Tumor herum weniger. Nur 1/6 der Tumordosis gelangt ins gesunde Gewebe. Ionisierende Strahlung wirkt ja auch immer immunsuppressiv. Je weniger Immunsuppression der Patient hat, umso grösser ist die Chance, dass er seinen Tumorrest immunologisch überwindet. Zweitens fällt die Begrenzung der Tumordosis durch das gesunde Gewebe wegen hoher Strahlenempfindlichkeit weg und wir können daher die Effektivdosis im Tumor erhöhen. Drittens gibt es das Problem der sogenannten Fraktionierung: Wegen der zu befürchtenden Kollateralschäden im Gesunden durch die Bestrahlungs-Dosiskonzentration muß die Gesamtdosis auf viele Röntgen-Einzeldosen verteilt werden an vielen aufeinander folgenden Tagen. In den Pausen regeneriert sich das gesunde Gewebe weitge**Im Dialog** 20/2/2011

hend und der Tumor nur bedingt. Eine Verringerung dieser Fraktionierung mit Erhöhung der täglichen Einzeldosis mit Erhöhung der Strahleneffektivität, wie sie aufgrund der Strahleigenschaft der Protonen möglich ist, führt automatisch zu einer effizienteren Dosis im Tumor mit höherer Heilungschance bei gleichzeitig geringer Belastung der Umgebungsstruktur des Tumors und damit des Patienten.

Nehmen wir beispielsweise das Prostatakarzinom. Bei der konventionellen Strahlentherapie wird während 40 bis 43 Tagen bestrahlt (8 Wochen inkl. Wochenenden). Wir hingegen bestrahlen nur noch über 21 Tage, d.h. vier Wochen. Etwas Anderes ist dabei ganz entscheidend: Unsere Patienten können nach der Strahlentherapie am nächsten Tag in den Job gehen, da praktisch keine Nebenwirkungen auftreten. Es gibt zwar geringe Nebenwirkungen, die aber innerhalb von drei bis vier Wochen nach Therapie verschwinden. Diese beeinträchtigen jedoch den Patienten in seinen Routine-Tagesabläufen nicht.

Frauenheilkunde aktuell: Sind das die gleichen Nebenwirkungen, wie man sie auch bei der konventionellen Strahlentherapie hat?

**Prof. Manfred Herbst:** Ja, aber natürlich weit weniger intensiv und eigentlich nicht vergleichbar. Beispielsweise bestrahlen wir beim Prostatakarzinom nur ein Viertel der Zirkumferenz des Rektums, während mit herkömmlichen Strahlen die ganze Zirkumferenz bestrahlt wird. Das heisst, bei der Protonentherapie haben wir die Repairkapazität sehr nahe am gesetzten Schaden, während sich herkömmlich die Repairkapazität auf ein großes bestrahltes Gebiet bezieht...

**Frauenheilkunde aktuell:** Wie sieht es überhaupt aus mit dem Ausmass der Nebenwirkungen während der Bestrahlung?

Prof. Manfred Herbst: Wir haben z.B. Grad III Neben-

wirkungen nur noch in ca. 1–2%, mit konventioneller Strahlentherapie würde man etwa im Minimum mit 40% rechnen.

Frauenheilkunde aktuell: Kann man auch auf den Tumor eine höhere Dosis geben als mit konventioneller Strahlentherapie?

**Prof. Manfred Herbst:** Dies lässt sich am Beispiel der Bioäquivalenz zeigen. Das heisst, eine äquivalente Dosis beim Vergleich zu konventioneller Strahlentherapie. Konventionell werden maximal 74–76 Gy appliziert. Wir können jedoch bis auf 82 Gy gehen. Damit erhöht sich automatisch die Heilungschance um 25–30 %, wie es in Loma Linda, USA (Rossi) bereits nachgewiesen wurde.

Frauenheilkunde aktuell: Dies führt uns zu einem ganz wichtigen Punkt: Nach herkömmlicher Bestrahlung gibt es typischerweise auch Rezidive im primären Strahlungsfeld. Kann man in dieser Situation mit Protonen nochmals rangehen?

**Prof. Manfred Herbst:** Auf jeden Fall und zwar mit der vollen Dosis!

Frauenheilkunde aktuell: Obwohl das umgebende "gesunde" Gewebe, wenn auch in geringerer Form, mitbestrahlt wird?

**Prof. Manfred Herbst:** Ja, interessanterweise ist die Repairkapazität dieses gesunden Gewebes sehr hoch, auch im Zustand nach konventioneller Vorbestrahlung.

Frauenheilkunde aktuell: Haben Sie eigene Erfahrungen z.B. bei Rezidiven von gynäkologischen Karzinomen, die vorbestrahlt waren?

**Prof. Manfred Herbst:** Ja, wir haben in diesen Fällen nochmals mit derselben Dosis, sogar etwas höher, bestrahlt, z.B. beim Zervixkarzinomrezidiv, das in den

### Wie unterscheiden sich die Eigenschaften der Protonenstrahlung von der konventionellen Strahlentherapie (Linearbeschleuniger)?

### Biologische Wirkung am Gewebe

Röntgen- und Protonenstrahlen wirken im Gewebe biologisch gleich: In beiden Fällen führen sie zu einer Ionisierung und damit Bildung von Radikalen im Zytoplasma, die DNA und damit die gesamte Zelle schädigen. Der Protonenstrahl hat jedoch eine 10%ige höhere Wirkungseffektivität (Abb. 1).

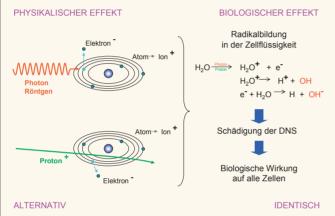


Abb. 1. Physik und Biochemie ionisierender Strahlung. Identische biologische Wirkung von Röntgen und Protonenstrahlung im Gewebe

## Strahlenverträglichkeit, Tumorgewebe vs. gesundes Gewebe

Es gibt einen prinzipiellen Unterschied bei der Strahlentoleranz zwischen gesundem und Tumorgewebe. Die Strahlentoleranz der verschiedenen gesunden Gewebestrukturen ist abhängig von der Organfunktion (wie z.B. Ovar, Hoden Leber, Lunge und Darm mit hoher Strahlenempfindlichkeit im Gegensatz zu Stützgeweben wie z.B. Knochen und Bindegewebe mit geringerer Strahlenempfindlichkeit).

Tumoren können somit nur durch eine hohe Ortsdosis zerstört werden, die in der Praxis immer von der Toleranz-Dosis im gesunden Umgebungsgewebe begrenzt wird. Mit der herkömmlichen Röntgentherapie kann aufgrund der Strahleneigenschaft der Durchschußtechnik (elektromagnetische Wellenstrahlung) das gesunde Gewebe oft nicht geschont und damit eine Effektivdosis im Tumor nicht erreicht werden. Daraus folgt,

dass der Tumor rezidiviert. Die neuen Röntgentechniken wie IMRT (Intensitätsmodulierte Radiotherapie), Tomotherapie und Rapid Arc stellen eine Verbesserung dar, aber arbeiten immer noch mit der herkömmlichen Röntgenstrahlung.

Der wesentliche Unterschied zwischen Protonen- und konventionellen Röntgenstraheln besteht in der Dosisverteilung im lebenden Körper.

### Eigenschaften von Röntgenstrahlen

Diese werden bei der Interaktion von den Molekülen des Körpers absorbiert und verlieren damit stetig an Intensität – ähnlich wie ein Lichtstrahl im Nebel. Das Dosismaximum liegt dabei unter der Haut. Auf dem Weg in Richtung Tumor fällt die Strahlendosis exponentiell ab. Der meist in der Körpertiefe liegende Tumor erhält somit weniger Dosis als das Gewebe "up stream" vor ihm. Hinter dem Tumor liegende Organe (z.B. Rückenmark, Sehnerven, Hirnteile, Darm) erhalten aber immer noch die Dosisschleppe "down stream" (Abb. 3).

#### Eigenschaften von Protonenstrahlen

Protonen werden mit Hilfe von Zyklo- oder Synchrotronen auf 60% der Lichtgeschwindigkeit (180>000 km/s entsprechen 250 MeV kinetischer Energie) beschleunigt. Diese Protonen dringen bis ca. 28 cm in den Körper ein. Dabei geben sie zunächst nur relativ wenig Energie ab.. Je langsamer die Partikel werden, desto höher die Abbremsung und die abgegebende Energie . Dies führt zu einer "Energieexplosion" am Ende der Teilchenbahn über einer Strecke von 1-4 mm Gewebetiefe, genannt Bragg-Peak. Im Gegensatz zur Röntgenstrahlung ist bei Protonen die Dosis vor dem Tumor niedriger als im Tumor selbst. Das Entscheidende ist nun, dass hinter dem Tumor der Patient völlig strahlungsfrei bleibt! Dieses physikalische Phänomen erlaubt durch Einstellung der Tiefe des Bragg-Peaks (durch Beeinflussung der erzeugten Partikelgeschwindigkeit) die Tiefendosis millimetergenau "dreidimensional" in den Tumor zu zielen und das Nutzschaden-Strahlungsverhältnis vorteilhaft umzukehren.

Abb. 4 zeigt den Vergleich der Therapiepläne von Röntgen- und Protonentherapie mit klinischem Verlauf:

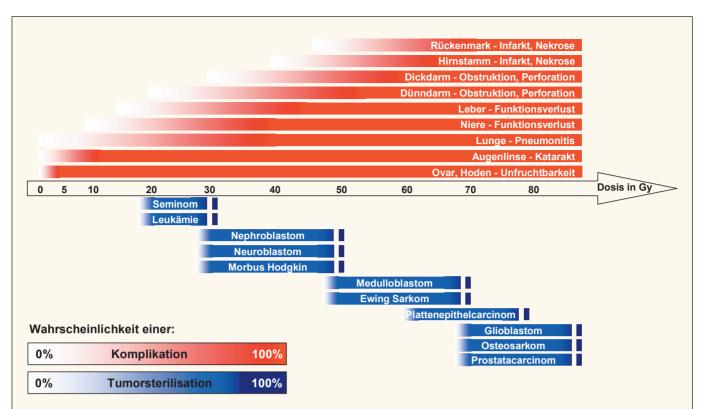
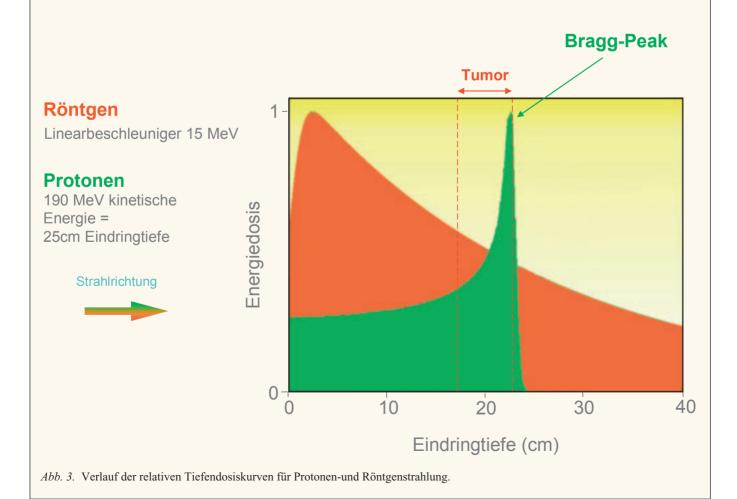


Abb. 2. Strahlentoleranz von gesunden Geweben und erforderliche Strahlendosis zur Tumorvernichtung



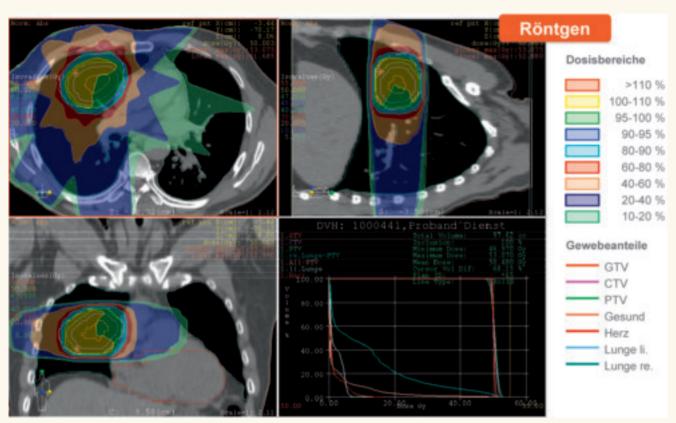


Abb. 4a. (Röntgen): Abgebildet sind drei verschiedene Perspektiven eines Röntgentherapieplans für einen Patienten mit einem Lungentumor. Die Strahlung erfolgt aus mehreren Richtungen. Beide Lungenflügel werden mit der Röntgentherapie stark belastet.

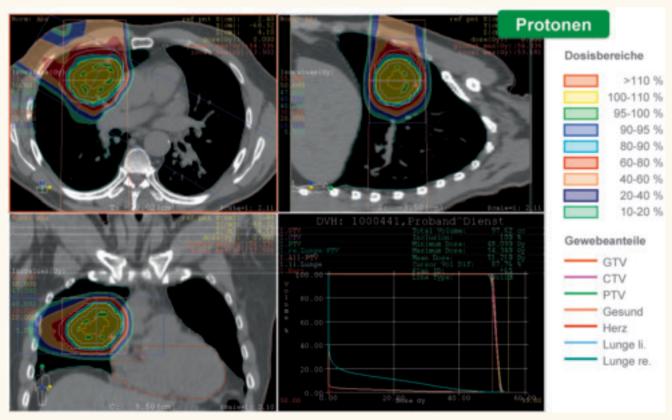
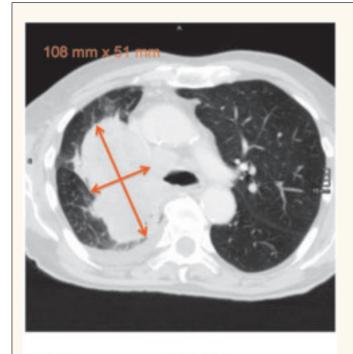
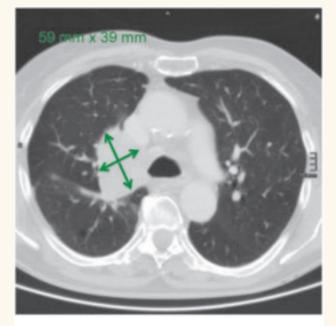


Abb. 4b. (Protonen): Im Vergleich zum Röntgenplan demonstriert der dargestellte Protonentherapieplan die Überlegenheit der dreidimensionalen Zielbarkeit bei Scanning-Protonentherapie. Die justierbare Eindringtiefe der Protonenstrahlen erlaubt die hohe Schonung des Herzens und der gesunden Lunge sowie des Rücken- und Knochenmarks.



CT-Diagnose am RPTC vor Therapie



CT-Diagnose am RPTC 3 Monate nach Protonentherapie

Abb. 4c. Verlauf des Bronchialkarzinoms vor und nach 3 Monaten nach abgeschlossener Protonentherapie. Keine Radio-Pneumonitis.

Beckenboden infiltriert war. Das Resultat war eine vollständige lokale Heilung.

Frauenheilkunde aktuell: Das ist eine sensationelle Änderung des Dogmas, "einmal bestrahlt, heißt nie mehr bestrahlt"

**Prof. Manfred Herbst:** Ja, vor allen Dingen können wir eben mit der Dosis auch beim zweiten Mal höher gehen als beim ersten Mal.

**Frauenheilkunde aktuell:** Welches sind die häufigsten Diagnosegruppen seit das Protonenzentrum in Betrieb ist?

**Prof. Manfred Herbst:** Prostatakarzinom ist die Nummer 1, Lunge Nummer 2.

Beim Prostatakarzinom spielt sicher eine wichtige Rolle, dass wir mit der Protonentherapie die Inzidenz der gefürchteten Nebenwirkungen (Inkontinenz und Impotenz) drastisch reduzieren können, im Vergleich zur radikalen Prostatektomie. Bei uns leidet kein einziger von 170 bisher bestrahlten Patienten mit Prostatakarzinom an Inkontinenz. Die Potenz vor der Therapie entscheidet über die posttherapeutische Impotenz. Das heisst, sie verschlechtert sich durch die Therapie kaum.

Frauenheilkunde aktuell: Was spricht denn überhaupt noch für eine Operation? Gibt es noch Argumente?

Prof. Manfred Herbst: Keine. Im Gegensatz zum chirurgischen Eingriff mit seinen typischen Nebenwirkungsmöglichkeiten (Inkontinenz, Impotenz) fällt auch der stationäre Krankenhausaufenthalt weg und es gibt keinerlei Notwendigkeit einer Rehabilitation nach der Protonentherapie! Der Ausfall im Berufsleben wird mindestens auf ein Drittel reduziert. Das sind natürlich auch wichtige Fragen für die Kosten. Die Patienten, welche wir therapiert haben, können unmittelbar nach Abschluss der Therapie wieder in ihren Job gehen.

Frauenheilkunde aktuell: Führt das nicht dazu, dass Krankenkassen Sie bedrängen, alle Prostatakarzinome so zu behandeln?

Prof. Manfred Herbst: Die Kassen haben ein Problem, das sind die medizinischen Dienste, d.h die Ärzte, die praktisch für die Krankenkassen tätig sind. Wir müssen nun leider sagen, diese haben relativ wenig Ahnung von Strahlentherapie. Derzeit weigern sie sich, die Vorteile der Protonentherapie anzuerkennen. Dies wird sich mit der Zeit sicher ändern. Das Gleiche gilt übrigens auch für viele Ärzte, die aufgrund von Unkenntnis und persön-

20/2/2011 Im Dialog

lichen Gründen, praktisch keine Überweisungen tätigen. Viele Urologen stehen dieser neuen Therapie skeptisch gegenüber.

Frauenheilkunde aktuell: Wenn diese neue Therapie derzeit von vielen Ärzten torpediert wird, woher kommen denn Ihre Patienten?

**Prof. Manfred Herbst:** Die meisten aus dem Internet. Die gleiche Erfahrung machte übrigens eines der erfahrensten Zentren, an welchem ich gearbeitet habe, in Loma Linda in Kalifornien. Die direkte Akquisition von Patienten wird in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen.

Frauenheilkunde aktuell: Nochmals zum Gebiet der Gynäkologie. Hier steht sicher das Zervixkarzinom an erster Stelle, wo man herkömmlich entweder operiert ev. auch mit Nervenschäden verbunden. Die zweite Option, die konventionelle Strahlentherapie (Kombination von Brachy- und Perkutan- ev. zusammen mit Chemotherapie) hat auch typische lokale Nebenwirkungen, beispielsweise die Schrumpfung der Scheide. Wie sieht das aus bei der Protonentherapie?

**Prof. Manfred Herbst:** Wir können dadurch, dass wir aufgrund der Strahleigenschaft der Protonen nicht die ganze Scheide bestrahlen müssen, mit Konzentration des Strahls auf die Region des Tumors, mindestens die Hälfte der Scheide aussparen. Aus diesem gesunden Teil regeneriert sich auch das mitbestrahlte proximale Drittel teilweise.

**Frauenheilkunde aktuell:** Mit der Protonbestrahlung fällt auch die Brachytherapie weg?

Prof. Manfred Herbst: Genau.

Frauenheilkunde aktuell: Wie steht es mit den Lymphabflussgebieten?

**Prof. Manfred Herbst:** Lymphabflussgebiete werden bestrahlt. Es wird der Beckenlymphabfluss inkl. des Sakralbereichs mitbestrahlt mit maximaler Schonung des Darmes.

Frauenheilkunde aktuell: Wenn wir das Endometriumkarzinom ansehen, ergäbe sich relativ häufig die Indikation zur erweiterten Bestrahlung (paraaortal), allerdings ist dies mit erheblichen Nebenwirkungen verbunden. Wie sieht die paraaortale Bestrahlung mit Protonen aus?

**Prof. Manfred Herbst:** Dies ist völlig unproblematisch, da wir nicht nur den Dünndarm schonen, sondern eben auch das Knochenmark. Das Knochenmark kann bei dieser Art von Strahlentherapie vollständig geschont werden, wie schon bei der Mitbestrahlung des Beckenlymphabflusses.

Frauenheilkunde aktuell: Sprechen wir einmal von den Spätschäden, vor allem bei Kindern, die wichtig sind. Gibt es überhaupt noch eine Berechtigung, Kinder konventionell zu bestrahlen?

**Prof. Manfred Herbst:** Dazu haben die deutschen Fachgesellschaften Stellung genommen. Ihre Empfehlung ist, dass Kinder bevorzugt mit Protonen behandelt werden, bei allen Indikationen wegen der geringen Nebenwirkung mit der Möglichkeit das Knochenmark und die Wachstumszonen zu schonen. Und das bei gleichzeitiger Reduktion der Inzidenz strahleninduzierter Tumore.

Frauenheilkunde aktuell: Nun noch zu anderen Tumoren: Wie sieht es beim sehr häufigen Bronchuskarzinom aus?

**Prof. Manfred Herbst:** Das kleine Bronchuskarzinom kann durch die Protontherapie geheilt werden.

Frauenheilkunde aktuell: Lebertumoren?

**Prof. Manfred Herbst:** Bei der Leber gibt es nichts

**Im Dialog** 20/2/2011

anderes mehr, denn wir können z.B. das hepatozelluläre Karzinom heilen, ohne die Leber zu schädigen. Das heisst, die Funktionalität der Leber kann erhalten werden, weil ich mich auf den Tumor konzentrieren kann. Ich kann eine sehr hohe Dosis an den Tumor hinbringen, was die gesunde Leber mit Röntgentherapie nie tolerieren würde.

Frauenheilkunde aktuell: Wie sieht es bei Lebermetastasen aus, einer relativ häufigen Problematik?

**Prof. Manfred Herbst:** Nehmen wir mal an, es sind vier Metastasen in verschiedenen Segmenten der Leber vorhanden. Die Bestrahlung kann derart präzise eingerichtet werden, dass alle vier Metastasen mit sehr hohen Dosis bestrahlt werden, während das gesunde Gewebe dazwischen weitgehendst geschont wird.

Frauenheilkunde aktuell: Und beim Pankreaskarzinom?

Prof. Manfred Herbst: Bei konventioneller Strahlentherapie waren die Nebenwirkungen am Dünndarm zu hoch, als dass diese Therapie noch eine Rolle spielt. Mit der Protonentherapie wird die Radiotherapie wieder Bestandteil der Therapiekonzepte des Pankreas- und Gallengangskarzinoms, weil der Strahl hoch konformal auf den Tumor konzentriert werden kann und am Zielort eine sehr hohe Dosis appliziert werden kann. Dies ist natürlich weniger invasiv als eine Whipple-Operation.

Frauenheilkunde aktuell: Ein weiteres heikles Thema sind ja auch Sarkome, die zum Teil auch nicht sehr strahlensensibel sind und oft chirurgisch zu heroischen Massnahmen greifen lassen, inkl. Amputationen etc. Wie sieht dort der Stellenwert der Protonentherapie aus?

**Prof. Manfred Herbst:** Sarkome sind eine sehr gute Indikation für die Protonentherapie, wobei auch die Kombination, zuerst Operieren, nachher Bestrahlen, sehr wirksam ist. Mit der Protonentherapie sind Sarkome aufgrund der hoher Tumordosis heilbar geworden.

Frauenheilkunde aktuell: Wie sieht es mit Hirntumoren aus?

**Prof. Manfred Herbst:** Auch bei den Hirntumoren eröffnen sich neue Möglichkeiten der Kuration. Insbesondere Rezidive auch nach vorausgegangener Bestrahlung sind erneut und geht gut therapierbar.

**Frauenheilkunde aktuell:** Wie viele Patienten haben Sie in den ersten zwei Jahren seit der Inbetriebnahme behandelt?

Prof. Manfred Herbst: Etwa 800 Patienten.

Frauenheilkunde aktuell: Und wie viele können Sie pro Jahr maximal behandeln?

**Prof. Manfred Herbst:** Pro Jahr können wir sicherlich 3–4000 Patienten behandeln.

Frauenheilkunde aktuell: Braucht es in der Schweiz neben der bereits bestehenden Protonenanlage im Paul Scherrer-Institut in Villigen ein zusätzliches Protonenzentrum?

Prof. Manfred Herbst: Das Paul Scherrer-Institut in Villigen war bei der Protonentherapie weltweit führend. Allerdings haben sie diese Führungsposition nicht für die reguläre Patientenversorgung umgesetzt, da die entsprechenden Kapazitäten nicht ausgebaut wurden. Würde man das PSI erweitern, könnte man relativ rasch zwei Therapieplätze zusätzlich einrichten. Allerdings müsste die Organisationsstruktur geändert werden. Bei einem vollständigen neuen Protonenzentrum "auf der grünen Wiese" braucht es bis zur Inbetriebnahme etwa vier Jahre.

**Frauenheilkunde aktuell:** Herr Prof. Herbst wir danken Ihnen sehr für dieses interessante Gespräch.