



STRAHLEN FÜR DAS LEBEN

R. Baumann • S. Corradini • J. Hörner-Rieber • M. Krause • D. Krug

Im Auftrag der

DEGR  DEUTSCHE GESELLSCHAFT
FÜR RADIOONKOLOGIE E.V.

Inhalt

Was ist Krebs?	6
Therapieziele in der Krebsbehandlung	8
Krebs - Was kann ich tun?	9
Die drei Standbeine der Krebsbehandlung	10
Operation	11
Medikamentöse Tumorthherapie	12
Strahlentherapie	14
Bestrahlung vor einer Operation → präoperativ/neoadjuvant	15
Bestrahlung nach einer Operation → postoperativ/adjuvant	15
Bestrahlung anstelle einer Operation	15
Wie wirkt Strahlentherapie?	17
Dosis und Wirkung	18
Strahlentherapie-Ziele	19
Kurative Strahlentherapie	19
Palliative Strahlentherapie	19
Welche Arten von Strahlentherapie gibt es?	21
Externe Strahlentherapie	21
Formen der externen Strahlentherapie	22
3-D-konformale Strahlentherapie	22
Intensitätsmodulierte Strahlentherapie	22
Intensitätsmodulierte Bewegungsbestrahlung	23
Bildgestützte Strahlentherapie	23
Atemgetriggerte Bestrahlung	24
Stereotaktische Strahlentherapie und - Radiochirurgie	24
Für technisch Interessierte: Der Linearbeschleuniger	26
Partikeltherapie: Protonen und Schwerionen	27
Brachytherapie (Afterloading)	29
Kombination aus Bestrahlung & anderen Therapieverfahren	29
Radio-Chemotherapie	29
Hyperthermie	30
Nebenwirkungen der Strahlentherapie	31
Ablauf der Bestrahlung	32
Einführungsgespräch	32
Bestrahlungsplanung	34
Terminplanung und Bestrahlung	36
Wie verhält man sich in der Zeit der Bestrahlung	38
Sport und Krebs?	38
Hautpflege	39
Ernährung	39
Wartezimmergespräche	40
Hilfestellung durch psychosoziale Betreuung	41
Weitere Informationen	42
Nach der Strahlentherapie: Wie geht es weiter?	43
Glossar	44



Liebe Leserin, lieber Leser,

wir wenden uns mit dieser Broschüre hauptsächlich an Strahlentherapie-Patienten/innen und deren Angehörige. Diese Einführung soll jedoch auch interessierten Laien als Information dienen. Sie beschreibt die Grundprinzipien und Abläufe einer Strahlentherapie und soll diese verständlich machen. Die Situation, sich mit einer potentiell lebensbedrohlichen Erkrankung auseinandersetzen zu müssen, verursacht immer Ängste. Häufig können jedoch psychische Belastungen durch verbesserte Kenntnis der Abläufe vermindert werden. Die Strahlentherapie hat sich in den letzten Jahren zu einer hochpräzisen Behandlungsform entwickelt. Sie verfolgt entweder das Ziel, Patienten dauerhaft zu heilen oder, falls dies bei fortgeschrittener Erkrankung nicht möglich ist, Beschwerden zu lindern.

Die technischen Abläufe der Strahlentherapie lassen sich so effektiv kontrollieren wie bei keiner anderen onkologischen Therapie. Zwar kann man Strahlen nicht sehen, man kann sie aber mit geeigneten Instrumenten exakt messen. Im Gegensatz zu manchen anderen Therapieformen ist die Strahlentherapie eine Behandlung, die mit physikalischen Methoden genau geplant, berechnet und überprüft werden kann, um bei größtmöglicher Chance auf eine Tumorheilung das Risiko von Nebenwirkungen zu minimieren.

Unser Ziel ist es, mit der Broschüre ein grundsätzliches Verständnis für die Abläufe und die Wirkungen der Strahlentherapie zu schaffen. Dabei kann natürlich nicht auf alle Einzelheiten – auch nicht auf alle Tumorerkrankungen – eingegangen werden. Sie können jedoch alle darüberhinausgehenden Fragen mit Ihren Ärzten im persönlichen Gespräch klären.

R. Baumann, S. Corradini, J. Hörner-Rieber, M. Krause und D. Krug
für die Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie

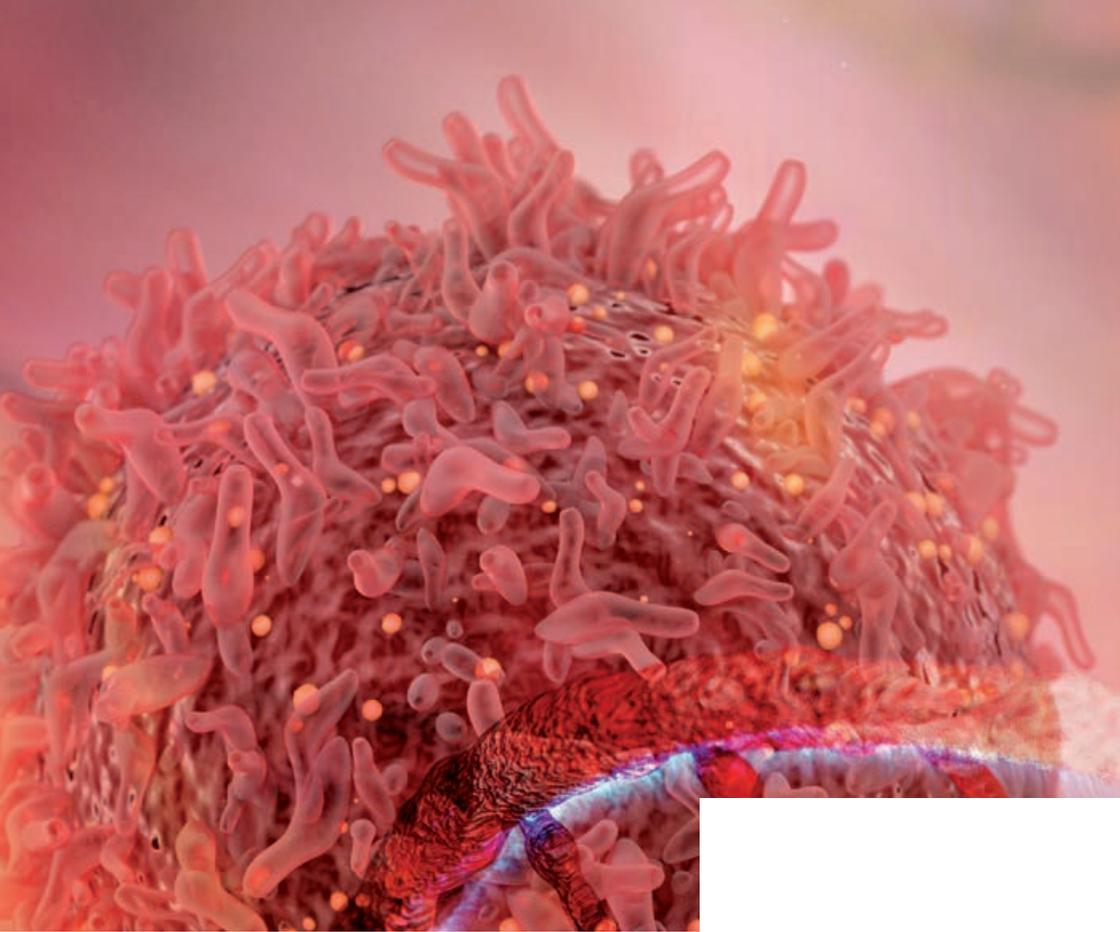
Was ist Krebs?

Das Wort „Krebs“ ist ein ebenso vieldeutiger Begriff wie das Wort „bösartig“. Gemeint ist eine Vielzahl unterschiedlicher Erkrankungen, die allerdings eines gemeinsam haben: Unbehandelt schreiten sie voran und führen meist irgendwann zum Tode. Das Wort „Krebs“ ist jedoch nur ein Oberbegriff, da sich die Heilungschancen und auch die Behandlung verschiedener Krebserkrankungen oft erheblich voneinander unterscheiden. Das lateinische Wort „Tumor“ bedeutet „Schwellung“ und ist ebenfalls ein unspezifischer Begriff.

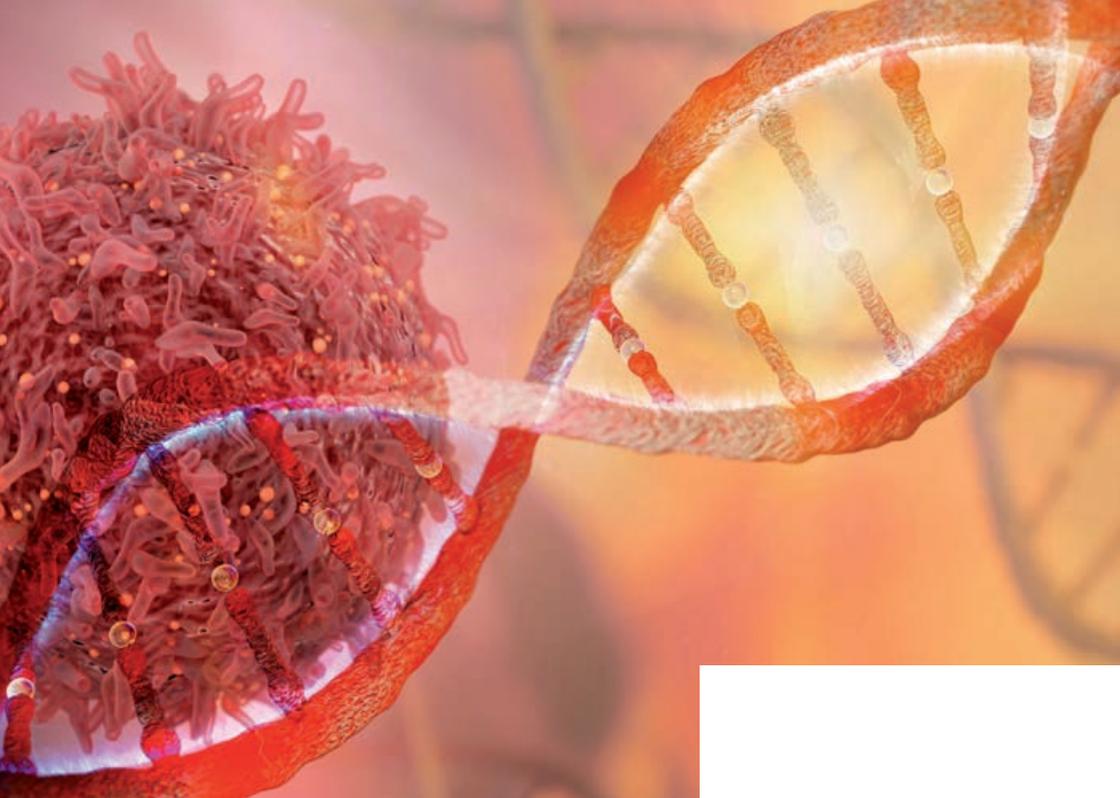
Einige statistische Angaben:

- Statistisch betrachtet muss jeder zweite Bürger damit rechnen, im Laufe seines Lebens an Krebs zu erkranken.
- Ungefähr die Hälfte aller Krebspatienten kann geheilt werden, wobei die Heilungsraten je nach Art und Stadium der Erkrankung deutlich variieren können.
- 50–60 % aller Krebspatienten werden im Laufe ihrer Krebsbehandlung bestrahlt.
- Bei ca. 50 % aller dauerhaften Tumorheilungen ist die Strahlentherapie entweder als einer von mehreren Therapiebausteinen oder sogar als alleinige Therapieform beteiligt.

Wurde die Krebserkrankung durch eine Gewebeprobe (Biopsie) gesichert, wird durch eine Ausbreitungsdiagnostik (z. B. *Computertomographie* (CT), *Magnetresonanztomographie* (MRT), *Knochenszintigraphie*, *Positronen-emissionstomographie* (PET)) die Ausdehnung der Krebserkrankung bestimmt. Heutzutage wird die Entscheidung über die zu empfehlende Therapie oftmals in Konferenzen getroffen, an denen alle Fachabteilungen, die an der Diagnose und der Therapie der jeweiligen Krebserkrankung beteiligt sind, teilnehmen.



Der sogenannte Ursprungstumor (auch *Primärtumor* genannt) entwickelt sich durch verschiedene Umwelteinflüsse oder auch genetische Faktoren, meist jedoch durch noch völlig unbekannte Ursachen, in einem oft viele Jahre dauernden Prozess der Entartung aus ursprünglich gesunden Zellen des Körpers. Krebserkrankungen können sich einerseits durch ein Wachstum des Primärtumors, andererseits über Lymph- und Blutgefäße ausbreiten. Absiedlungen von Tumorzellen in Lymphknoten oder in Organen außerhalb des ursprünglichen Organs, von welchem die Krebserkrankung ausgeht, bezeichnet man als *Metastasen* („Tochtergeschwülste“).



Therapieziele in der Krebsbehandlung

Viele Krebserkrankungen sind heute heilbar. Das bedeutet, dass die Lebenserwartung durch die Krebserkrankung nicht beeinträchtigt wird. Eine Behandlung mit dem Ziel einer langfristigen Heilung bezeichnet man als *kurative Therapie* (lat. *curare* = pflegen, sich sorgen um).

Manche Erkrankungen sind aber selbst mit den modernen medizinischen Methoden aufgrund ihrer Aggressivität nicht heilbar oder werden erst in einem weit fortgeschrittenen Stadium diagnostiziert. Wenn eine Heilung nicht mehr realistisch erreichbar ist, bezeichnet man die Behandlung als *palliative Therapie* (lat. *palliare* = mit einem Mantel bedecken). Hier steht die Verbesserung der Lebensqualität durch eine Linderung der durch die Krebserkrankung verursachten Beschwerden im Mittelpunkt. Auch durch palliative Therapien kann häufig die Lebenszeit verlängert werden.

Krebs – Was kann ich tun?

Wird man mit der Diagnose „Krebs“ konfrontiert, so bricht häufig von einem Augenblick auf den anderen die Welt vollkommen zusammen; man hat das Gefühl, nichts werde mehr so sein, wie es war. Verständlich ist, sich dann zu fragen: „Warum gerade ich?“ Hilfreich ist es jedoch nicht!

An Krebs zu erkranken ist für viele Menschen eine existentielle Krise. Krebserkrankungen sind in der Bevölkerung oftmals mit weitaus mehr Ängsten verbunden als beispielsweise Herz-Kreislauf-Erkrankungen – obwohl viele Krebserkrankungen heute eine wesentlich bessere Heilungschance haben als eine fortgeschrittene Herzmuskelschwäche.

Noch immer kennen wir die Ursachen der meisten Tumorerkrankungen nicht genau; in jedem Fall sind sie sehr komplizierter Natur. Viele Betroffene fragen sich, ob man die Erkrankung durch Vermeidung bestimmter Verhaltensweisen hätte verhindern können. Teils wird die Tumorerkrankung als unverdienter Schicksalsschlag empfunden. Diese Betrachtungsweisen sind menschlich, bringen aber oft ein Gefühl von Hilflosigkeit mit sich. Wichtig ist es, die Gegenwart zu nutzen und den Blick nach vorne zu wenden, um die Zukunft aktiv zu gestalten. Angehörige stellen sich oft ähnliche Fragen wie der Patient selbst. Vielen fällt es schwer, über die Erkrankung zu sprechen. Oft kann eine offene Kommunikation aber hilfreich zur Bewältigung von Ängsten und Sorgen sein.

Sich mit einer Tumorerkrankung auseinanderzusetzen, kann auch eine Chance sein, das eigene Leben und die Lebensführung zu hinterfragen und gesünder zu leben. Wissenschaftliche Ergebnisse deuten darauf hin, dass gesunde Ernährung und körperliche Bewegung Krebserkrankungen nicht nur vorbeugen, sondern auch den Heilungsprozess unterstützen können. Viele Tumorerkrankungen sind heute heilbar, und es kann für den Gesundheitsprozess vorteilhaft sein, mit Optimismus in die Zukunft zu sehen.

Sollten Sie das Gefühl haben, die Krankheitsbewältigung nicht alleine leisten zu können, so stehen an vielen Institutionen neben speziell ausgebildeten Ärzten auch Psychoonkologen, Ernährungsberater, Sportwissenschaftler und Sozialarbeiter zu Verfügung, um Sie bei Ihrer individuellen Bewältigung der Erkrankung und den damit verbundenen Problemen zu unterstützen.

Die drei Standbeine der Krebsbehandlung



Die drei Standbeine der Krebsbehandlung sind die [Operation](#), die [medikamentöse Tumorthherapie](#) und die [Strahlentherapie](#). Grundsätzlich kann man diese Therapieformen anhand ihrer Wirkweise unterscheiden.

Operation und Strahlentherapie sind „lokale“ Behandlungsformen, die nur am Ort ihrer Anwendung wirksam werden. Die medikamentöse Tumorthherapie ist eine „systemische“ Therapie, die im ganzen Körper wirkt. In der Krebsbehandlung werden diese Therapieformen oft miteinander kombiniert. Während manche Krebserkrankungen mit einer einzigen Behandlungsform geheilt werden können, ist oft eine Kombination der Verfahren wirksamer und verbessert die Heilungschancen. Im Folgenden werden die verschiedenen Therapieformen Operation, medikamentöse Therapie und Strahlentherapie kurz vorgestellt.

Operation

Bei vielen Krebserkrankungen ist die Operation die erste (manchmal auch die einzige) Maßnahme. Wenn möglich, wird der sichtbare Primärtumor zusammen mit einem umgebenden Saum von gesundem Gewebe entfernt, um auch mikroskopische Tumorausläufer mit zu entfernen, die mit dem menschlichen Auge nicht zu erkennen sind. Sind benachbarte Lymphknoten auffällig vergrößert, werden diese ebenfalls mit entfernt. Je nach Erkrankung werden ggf. auch nicht-vergrößerte Lymphknoten in der Umgebung des Tumors mit entfernt, um einen möglichen Befall festzustellen.

Operationen im Bauch-, Becken- und Brustkorbbereich können häufig in *Schlüssellochtechnik* (Laparoskopie bzw. Thorakoskopie) durchgeführt werden, was die Erholungszeit nach der Operation verkürzen kann. Der Einsatz von roboter-assistierten Operationssystemen wird in Studien untersucht.

Auch bei Patienten mit metastasierten Krebserkrankungen wird die Operation mitunter eingesetzt, insbesondere wenn die Metastasen Probleme verursachen (z.B. Bedrängung des Rückenmarks durch Wirbelsäulenmetastasen).



Medikamentöse Tumortherapie

An erster Stelle ist hier die *Chemotherapie* zu nennen. Es gibt eine große Anzahl verschiedener Chemotherapie-Medikamente und -Kombinationen, die in ihrer Wirkweise, Verabreichung und auch in ihrer Verträglichkeit sehr unterschiedlich sind. Es handelt sich um Medikamente (Zytostatika), die Zellen abtöten oder am Wachstum hindern, indem sie die Zellteilung hemmen. Die Chemotherapie wirkt daher besonders auf schnell wachsende Tumore. Nebenwirkungen können jedoch dadurch entstehen, dass auch manche Gewebe im Körper im gesunden Zustand eine hohe Zellteilungsrate aufweisen und dementsprechend empfindlich auf die Chemotherapie reagieren (z. B. blutbildende Zellen im Knochenmark, Haarwurzeln, Schleimhaut im Magen-Darm-Bereich).

Die Chemotherapie-Medikamente werden meist über eine Vene gegeben und verteilen sich über den Blutstrom im Körper. Ist eine Verabreichung über einen längeren Zeitraum erforderlich, wird für die sichere Verabreichung der Chemotherapie die Implantation eines Portkathetersystems empfohlen. Hierbei handelt es sich um eine Metallkapsel mit einem Schlauchsystem, das auf dem Brustmuskel unter die Haut platziert wird und durch die Haut punktiert werden kann. Einige Chemotherapien sind auch in Tablettenform verfügbar.

Manche Tumorerkrankungen, beispielsweise bestimmte Brustkrebsarten oder Prostatakrebs, können hormonabhängig wachsen. In diesen Fällen kann eine *antihormonelle Therapie* zur Krebsbehandlung eingesetzt werden.

Ein zunehmendes Verständnis der Biologie von Krebserkrankungen und -entstehung hat dazu beigetragen, dass mittlerweile für einige Tumorerkrankungen Medikamente verfügbar sind, die gezielt in den Tumorstoffwechsel oder an bestimmten Oberflächenmerkmalen von Tumorzellen angreifen. Voraussetzung für den Einsatz dieser Medikamente ist oft eine aufwändige Untersuchung des Tumorgewebes, um bestimmte Zielstrukturen der Medikamente oder Veränderungen in der Erbsubstanz der Tumorzellen (sog. Mutationen) nachzuweisen. Manche dieser Veränderungen sind jedoch nur bei 5–10% der Patienten mit einer bestimmten Krebserkrankung nachweisbar, viele dieser Medikamente kommen also nur für einen Bruchteil der Krebspatienten in Frage.

Im letzten Jahrzehnt hat die *Immuntherapie* eine zunehmende Rolle in der Behandlung von Krebserkrankungen eingenommen. Grundsätzlich



handelt es sich hier um Behandlungsansätze, die das körpereigene Immunsystem zur Bekämpfung der Krebserkrankung einsetzen. Tumoren können zwar prinzipiell vom Immunsystem erkannt und attackiert werden, viele Tumoren entwickeln aber raffinierte Mechanismen, sich dem Immunsystem zu entziehen oder dessen Aktivität zu bremsen. Die meisten aktuell zugelassenen Immuntherapie-Medikamente sind sog. *Checkpoint-Inhibitoren*. Diese Medikamente greifen in die Schnittstelle zwischen Tumor und Immunsystem ein und lösen die sprichwörtliche Bremse des Immunsystems. Das ermöglicht eine effektivere Bekämpfung des Tumors durch das körpereigene Immunsystem. Auch die Checkpoint-Inhibitoren kommen nicht für alle Tumorpatienten in Betracht. Der Therapieerfolg ist häufig abhängig von der Anwesenheit von Immunzellen im Tumor und dessen Umgebung. In Studien wird aktuell untersucht, ob der Erfolg einer Immuntherapie durch eine zusätzliche Bestrahlung verbessert werden kann.

Ein anderer Immuntherapie-Ansatz ist die Entnahme und Veränderung von körpereigenen Immunzellen im Labor. Diese Immunzellen können so bearbeitet werden, dass sie nach Rückübertragung in den Körper bestimmte Tumorzellbestandteile erkennen und attackieren. Diese sog. *CAR-T-Zell-Therapie* ist bislang nur bei Unterformen von Lymphomen und Leukämien im Einsatz.

Impfungen gegen Tumorzellbestandteile werden in Studien untersucht, haben sich aber für bereits bestehende Krebserkrankungen bislang nicht als ausreichend wirksam erwiesen.

Strahlentherapie

In den letzten Jahrzehnten erfuhr die Strahlentherapie eine rasante Weiterentwicklung durch technische Innovationen. Durch moderne Bestrahlungsgeräte (sog. Linearbeschleuniger) wurde die Voraussetzung geschaffen, auch in der Tiefe des Körpers gelegene Tumoren so zu bestrahlen, dass Nachbarorgane und auch die Hautoberfläche weitgehend geschont werden. Unabdingbar ist hierfür die dreidimensionale, computergestützte Bestrahlungsplanung, die mit Hilfe bildgebender Verfahren wie der *Computertomografie* (CT), der *Magnetresonanztomografie* (MRT) und der *Positronen-Emissionstomografie* (PET) eine exakte Darstellung von Tumor und Organsystemen ermöglicht. Mit hoher Zielgenauigkeit kann so der Tumor von der Bestrahlung erfasst und das gesunde Gewebe geschont werden. Dadurch wurde die Wirksamkeit der Strahlentherapie entscheidend verbessert und ihre Nebenwirkungen gleichzeitig reduziert.

Im Gegensatz zu der oben beschriebenen „systemischen“ (medikamentösen) Therapie ist die Strahlentherapie eine lokale Therapie, d. h. sie entfaltet ihre Wirkung im Bereich des Bestrahlungsfeldes. Dies gilt sowohl für die (erwünschte) tumorzerstörende Wirkung als auch für die (unerwünschten) Nebenwirkungen.

Daten aus Laborexperimenten und ersten klinischen Studien legen nahe, dass die Strahlentherapie unter bestimmten Umständen auch systemische, immunvermittelte Effekte erzielen könnte, sodass viele Studien aktuell eine Kombination von Strahlen- und Immuntherapie untersuchen.



Bestrahlung vor einer Operation

→ präoperativ/neoadjuvant

Eine Gabe von Strahlen- und/oder medikamentöser Tumorthherapie vor einer geplanten Operation bezeichnet man als *neoadjuvante Therapie*. Häufig dient diese Therapie dazu, den Tumor vor der Operation zu verkleinern, um eine Operation zu erleichtern oder diese bei fortgeschrittenen Tumoren überhaupt möglich zu machen. Weiterhin kann eine Vorbehandlung die Gefahr einer Tumorzellverstreung bei der Operation senken und so das Rückfallrisiko senken. Eine neoadjuvante Strahlentherapie – häufig in Kombination mit einer Chemotherapie – wird beispielsweise bei Enddarm- oder Speiseröhren-Krebs standardmäßig angewendet und kann die Heilungschancen verbessern.

Bestrahlung nach einer Operation

→ postoperativ/adjuvant

Wird eine Strahlen- und/oder medikamentöse Tumorthherapie nach einer Operation verabreicht, spricht man von einer *adjuvanten Therapie*. Diese Nachbehandlung dient dazu, das Rückfallrisiko durch eventuell im Körper verbliebene Tumorzellen zu senken. So ist die Nachbestrahlung der operierten Brust nach brusterhaltender Operation ein fester Bestandteil der Behandlung von Brustkrebs, unabhängig vom Tumorstadium. Bei anderen Tumoren erfolgt eine Nachbestrahlung nur bei bestimmten Risikofaktoren, z. B. wenn diese eine bestimmte Größe überschritten hatten oder die Entfernung des Tumors nur mit knappen oder keinem Sicherheitsabstand zum Schnittrand erfolgte.

Bestrahlung anstelle einer Operation

Eine Reihe von bösartigen Erkrankungen kann durch eine alleinige Strahlentherapie geheilt werden, die für diese Erkrankungen daher die empfohlene Standardtherapie darstellt. Für andere Tumoren kann die Bestrahlung eine gleichwertige Therapiealternative zur Operation darstellen. Dazu zählt zum Beispiel Prostatakrebs in frühen bis mittleren Stadien. Hier sind die Heilungsraten nach Operation oder nach Bestrahlung vergleichbar. Die Radikal-

operation ist meist mit einem Verlust der Potenz und nicht selten auch mit einer dauerhaften Harninkontinenz verbunden. Durch eine Strahlentherapie kann die Potenz hingegen – ohne Einbuße der Heilungschancen – oft über längere Zeit erhalten werden und auch eine Harninkontinenz tritt erheblich seltener als nach Operation auf. Auf der anderen Seite kann die Strahlentherapie entzündliche oder narbige Nebenwirkungen an Enddarm oder Blase verursachen.

In anderen Fällen wäre zwar eine Operation die Therapie der ersten Wahl, jedoch ist diese nicht immer möglich und sinnvoll. Ein Grund gegen eine Operation können Begleiterkrankungen sein, die einen großen Eingriff mit Narkose zu risikoreich erscheinen lassen. Ein weiterer Grund kann die Größe oder die Lage des Tumors sein, die eine chirurgische Entfernung des Tumors manchmal unmöglich machen. Natürlich kann auch der Patientenwunsch gegen eine Operation und für eine Strahlentherapie den Ausschlag geben. Auch in solchen Fällen kann je nach Erkrankung durch eine alleinige Strahlentherapie oder Radiochemotherapie eine Heilung erzielt werden. Ein Beispiel hierfür wären Lungenkrebserkrankungen im Frühstadium. Ist hier durch Begleiterkrankungen eine Operation in Vollnarkose nicht möglich, so kann der Tumor durch eine *Hochpräzisionsbestrahlung* (sog. Stereotaktische Bestrahlung) mit hoher Wahrscheinlichkeit erfolgreich behandelt werden.

Bei vielen Tumoren kann durch die Bestrahlung eine mit Organverlust verbundene Operation vermieden werden. Ein Beispiel hierfür ist Kehlkopfkrebs. In frühen Stadien kann die operative Behandlung durch eine Laserresektion mit Erhalt des Kehlkopfes erfolgen. Im fortgeschrittenen Stadium erfordert die Operation hingegen eine Entfernung des Kehlkopfes, womit die Stimme unwiederbringlich verloren geht. Mit einer Strahlentherapie oder Radiochemotherapie ist in bestimmten Stadien eine Tumorheilung möglich, ohne dass die Stimmfunktion verloren geht.



Wie wirkt Strahlentherapie?

Die kleinste funktionsfähige Einheit jedes lebenden Organismus – und auch jedes Tumors – ist die Zelle. Im gesunden Organismus haben die Zellen vieler Organe (Haut, Schleimhäute, blutbildende Zellen im Knochenmark) meistens nur eine begrenzte Lebensdauer und müssen fortlaufend ersetzt werden. Dies geschieht durch Zellteilung, einer Basisfunktion des Lebens. Nur wenn sie ungestört abläuft, können Organe ihre „Arbeit“ leisten. Auch das Wachstum eines Tumors wird über Zellteilung geregelt. Eine der Hauptwirkungen von Strahlen besteht in der Störung oder sogar Verhinderung der Zellteilung. Im Inneren jeder Zelle befindet sich der Zellkern als „Kommandozentrale“. An diesem Ort entscheidet sich, ob und wann sich eine Zelle teilt. Der Zellkern enthält u. a. auch die Schlüsselsubstanz für die Vererbung, die sog. *Desoxyribonukleinsäure* (DNS). Vor der Zellteilung muss die DNS eine „Kopie ihrer selbst“ anfertigen. Sie wird in zwei gleiche Portionen aufgeteilt, die bei der Zellteilung an die beiden neu entstandenen „Tochterzellen“ weitergegeben werden.

Hier greift die Strahlung ein: Sie setzt Schäden in der DNS. Daher wirkt die Strahlung vor allem auch auf wachsende, sich teilende Zellen wie etwa im Tumorgewebe. Zellen verfügen jedoch für den Fall einer Schädigung der DNS über ein eigenes „Reparatursystem“, das – wie eine Schere – defekte Stellen aus der DNS ausschneidet und ersetzt oder DNS-Brüche wieder

neu verknüpfen und so die Zellfunktion wiederherstellen kann. Diese Fähigkeit zur Reparatur ist im gesunden Gewebe meist wesentlich ausgeprägter als bei vielen Tumoren, so dass die schädigende Wirkung der Strahlung meistens auf den Tumor weit mehr Einfluss nimmt als auf die umgebenden gesunden Organe. Diesen Unterschied im Reparaturvermögen macht man sich in der Strahlentherapie zunutze.

Dosis und Wirkung

Die oben geschilderte biologische Wirkung der Strahlung – sowohl am Tumor, als auch am gesunden Gewebe – ist abhängig von der Dosis. Die Dosis-einheit in der Strahlentherapie heißt *Gray* (Abkürzung Gy) nach dem Physiker L. H. Gray. Die Gesamtdosis, die für die Behandlung notwendig ist, hängt von der Strahlenempfindlichkeit des jeweiligen Tumors ab. Hier gibt es große Unterschiede. Dies gilt auch für die *Fraktionierung*, d. h. die Aufteilung der Gesamtdosis in „Einzeldosen“. Als Standardfraktionierung gilt eine Einzeldosis von 1,8–2,0 Gy, 5 × pro Woche. Diese hat sich als besonders verträglich erwiesen, vor allem auch im Hinblick auf mögliche Spätfolgen.

In den letzten Jahren haben große Studien allerdings gezeigt, dass bei einigen Tumorerkrankungen wie etwa bei Brustkrebs durch eine Bestrahlung mit höheren Einzeldosen (*Hypofraktionierung*) eine mindestens ebenso gute Tumorstückung bei tendenziell besserer Schonung der umgebenden Organe und gleichzeitiger Verkürzung der Behandlungszeit erreicht werden kann. Ähnliche Daten liegen für bestimmte Stadien des Prostatakrebses vor.

Weiterhin wird die noch stärkere Hypofraktionierung (Einzeldosen bis 5–20 Gy) hauptsächlich bei der *stereotaktischen Bestrahlung* (siehe Seite 24) zur präzisen, radiochirurgischen Behandlung von einzelnen, kleinen Tumoren oder Metastasen eingesetzt.

Bei anderen Erkrankungen kann man die Erfolge verbessern, indem mehrfach am Tage (meist 2 ×) bestrahlt wird – in diesem Fall spricht man von *Hyperfraktionierung*; oder indem die Behandlungszeit verkürzt wird, indem pro Woche eine höhere Dosis appliziert wird, z. B. durch mehr als 5 Fraktionen pro Woche – dies bezeichnet man als *Akzelerierung*.

Strahlentherapie-Ziele

Grundsätzlich unterscheidet man auch bei der Strahlentherapie die **kurative** von der **palliativen**, symptomlindernden Bestrahlung, wobei heutzutage die Übergänge zwischen diesen beiden Formen fließend sind.

Kurative Strahlentherapie

Wenn das primäre Ziel der Bestrahlung die Heilung ist, spricht man von einer *kurativen Strahlentherapie*. Sie kann sowohl bei einem sichtbaren Tumor zum Einsatz kommen, als auch zum Beispiel nach einer Operation, wenn man zwar keinen Tumor mehr sieht, aber annimmt, dass z. B. im Operationsgebiet noch vereinzelte Tumorzellen zurückgeblieben sind. Diese sollen dann durch die Bestrahlung zerstört werden. Man spricht hier von *adjuvanter* oder *postoperativer Strahlentherapie*.

Einige Beispiele für die Heilung von sichtbaren Tumoren durch eine alleinige Strahlentherapie: Lymphdrüsenkrebs, Stimmbandkrebs und Prostatakrebs. Beispiele für die postoperative Bestrahlung: Nachbestrahlung nach brusterhaltender Operation bei Brustkrebs sowie bei Tumoren des Hals-Nasen- und Ohrenbereichs.

Weiterhin ist beim Auftreten von einzelnen kleinen Metastasen (Oligometastasierung) oder dem Wachstum einzelner Metastasen (Oligoprogression) ebenfalls eine lokale Bestrahlung dieser einzelnen Tumoren möglich.

Palliative Strahlentherapie

Ist eine Heilung der Tumorerkrankung nicht das primäre Behandlungsziel, so kann durch eine Strahlentherapie eine Linderung tumorbedingter Symptome und Beschwerden sowie manchmal auch eine Lebensverlängerung erreicht werden.

Vor allem Schmerzen sprechen häufig besonders gut auf eine Bestrahlung an. Beispielsweise kann bei Knochenschmerzen, die durch Metastasen bedingt sind, in ca. 80 Prozent eine Linderung durch Bestrahlung erzielt werden.

In vielen Fällen baut sich der Knochen wieder auf und tumorbedingte Knochenbrüche können verhindert werden. Auch Atemnot, Schluckbeschwerden, Lähmungen, Lymphstau oder Blutungen können häufig günstig durch Bestrahlung beeinflusst werden. Damit ist die symptomorientierte Strahlentherapie bei vielen Tumorpatienten eine sehr effektive Maßnahme zur Verbesserung der Lebensqualität.



Welche Arten von Strahlentherapie

gibt es?

Die beiden wesentlichen Formen der Strahlentherapie sind die Bestrahlung *von außen* und die Bestrahlung *von innen*.

Externe Strahlentherapie (Bestrahlung von außen)

Sie ist die häufigste Form der Strahlentherapie. In der Regel kommen *Linearbeschleuniger* zum Einsatz, deren Photonenstrahlung über Felder einer definierten Größe und Form von außen in das Körperinnere zum „Zielort“ gelangt (Details siehe unten).

Bei modernen Bestrahlungsgeräten ist ein reibungsloses Zusammenspiel von Hardware, Software und komplexer elektronischer Steuerung erforderlich. Deshalb sind tägliche Überprüfungen und Messungen durch die Kolleg/innen der Medizinphysik vor Inbetriebnahme vorgeschrieben.

Zusätzlich erfolgt vor jeder einzelnen Bestrahlung durch die Software des Beschleunigers ein interner „Sicherheitscheck“: So gibt das Gerät die Bestrahlung nur dann frei, wenn sämtliche Einstellungen genau mit den geplanten und im Computer gespeicherten Daten übereinstimmen. Bereits bei kleinsten Abweichungen „verweigert“ das Gerät die Bestrahlung.

Zusätzlich wird jede Bestrahlung durch medizinisch-technische Radiologieassistenten/innen (MTRAs) oder entsprechend der neuen Berufsbezeichnung durch Radiologietechnologen/innen unter ärztlicher Aufsicht kontrolliert. Somit ist es mit den modernen Geräten nahezu ausgeschlossen, „versehentlich falsch“ zu bestrahlen. Jede einzelne Bestrahlung wird dokumentiert, so dass sich auch Jahre später alle Details genau nachvollziehen lassen.

Formen der externen Strahlentherapie

Rasante technische Fortschritte haben es in den letzten Jahren ermöglicht, die Strahlentherapie einerseits schonender, andererseits aber auch effektiver werden zu lassen, sodass man heute höhere Bestrahlungsdosen ohne erhöhte Nebenwirkungen verabreichen kann. Der Sie behandelnde Radioonkologe wird zusammen mit Ihnen die für Sie und Ihre Erkrankung optimale Form der Strahlentherapie auswählen.

3-D-konformale Strahlentherapie

Bei der dreidimensional-(3D) geplanten konformalen Radiotherapie erfolgt eine präzise, auf einer modernen Bildgebung basierte computergestützte Bestrahlungsplanung, welche eine fokussierte Bestrahlung des Tumors bei gleichzeitig optimierter Schonung der umgebenden Organe ermöglicht (Konformalität). Der behandelnde Radioonkologe definiert individuell für jeden Patienten auf jeder Schichtebene der Bildgebung das Bestrahlungsvolumen und die umliegenden Gewebe. Verschiedene Bestrahlungsfelder aus unterschiedlichen Richtungen erlauben eine bestmögliche Schonung des umliegenden Gewebes. Diese Art der Strahlentherapie wird beispielsweise standardmäßig zur tangentialen Bestrahlung der operierten Brust bei Brustkrebs angewandt.

Intensitätsmodulierte Strahlentherapie

IMRT = intensity modulated radiotherapy

Die IMRT stellt eine Weiterentwicklung der 3-D-konformalen Bestrahlung dar. Mithilfe von schmalen Metallblenden (sog. Multileaf-Kollimatoren, MLCs) im Beschleunigerkopf kann jedes Bestrahlungsfeld aus vielen kleineren Segmenten zusammengesetzt werden. Dazu werden die Lamellen computergesteuert exakt in gewünschte Position gefahren. Jedes Feld-Segment trägt seinen Teil zur Bestrahlungsdosis bei, so dass im gesamten Bestrahlungsfeld an manchen Stellen mehr Dosis verabreicht wird als an anderen (die Intensität der Strahlung wird „moduliert“). Wenn das aus verschiedenen Einstrahlrichtungen wiederholt geschieht, kann die Dosisverteilung an den Tumor angepasst und die umgebenden Risikoorgane optimal geschont werden.

Intensitätsmodulierte Bewegungsbestrahlung

IMAT = intensity modulated arc therapy

(von verschiedenen Herstellern auch Rapid-Arc oder VMAT genannt)

Diese ist eine Weiterentwicklung der IMRT, die für den Patienten den Vorteil bietet, die Dauer einer Bestrahlungssitzung noch weiter zu verkürzen. Das Bestrahlungsgerät rotiert um den Patienten, strahlt dabei kontinuierlich und passt die Feldform dem Zielgebiet mithilfe der Multileaf-Kollimatoren fortlaufend an und variiert die Dosisleistung („Strahlungsmenge pro Zeit“). Damit kann die Dosis noch optimaler an den zu bestrahlenden Tumor und die umgebenden Risikoorgane angepasst werden.

Bildgestützte Strahlentherapie

IGRT = Image-guided radiotherapy

Moderne Linearbeschleuniger weisen heutzutage meistens eine integrierte Bildgebungseinheit auf oder es befindet sich im Bestrahlungsraum eine zusätzliche Bildgebungseinheit (z. B. ein CT, das in den Beschleuniger integriert oder im Bestrahlungsraum installiert ist), um vor jeder Behandlung das Zielgebiet abzubilden. Weicht dessen aktuelle Lage von der geplanten Position ab, so kann dies durch eine Korrektur der Patientenposition angepasst werden. Wichtig ist dies vorrangig bei beweglichen Organen, z. B. bei Bestrahlung der Prostata, die sich durch veränderte Füllung der Harnblase verschiebt oder bei Tumoren der Lunge, die sich mit der Atmung bewegen.

Eine der neuesten Entwicklungen der bildgeführten Strahlentherapie stellen *MR-Linearbeschleuniger* (auch MR-Linacs genannt) dar, welche einen Magnet-Resonanz-Tomographen (MRT) direkt im Bestrahlungsgerät integriert haben. Das integrierte MRT ermöglicht im Vergleich zur CT-geführten Strahlentherapie einen deutlich besseren Weichgewebekontrast, um zwischen den einzelnen Bestrahlungstagen aber auch während der Bestrahlungen Veränderungen im Tumorgewebe (Tumorschrumpfung) oder in den umgebenden Risikoorganen (Änderungen im Füllungszustand von Magen-, Darm- oder Blase) schneller und präziser feststellen zu können. Vor- und Nachteile der MR-geführten Strahlentherapie sind derzeit noch Gegenstand der klinischen Erprobung vor allem im Rahmen von Studien.

Atemgetriggerte Bestrahlung

Bei atembeweglichen Tumoren wie etwa Tumoren in der Brust, der Lunge oder dem Bauchraum kann die Bestrahlung zusätzlich in Atemanhalt erfolgen, um eine bessere Schonung der umliegenden Risikoorgane zu ermöglichen. So kann beispielsweise bei der Brustbestrahlung durch Bestrahlung in Atemanhalt der Abstand zwischen Brust und Herz deutlich vergrößert werden, um die Strahlendosis am Herz weiter zu reduzieren. Die korrekte Reproduzierbarkeit des Atemanhalts wird millimetergenau beispielsweise durch Hautoberflächenmessung oder durch Überwachung des Lungenvolumens gewährleistet.

Weiterhin kann auch die Bildgebung während der Bestrahlung dazu genutzt werden, dass der Strahl nur dann freigegeben wird, wenn sich der Tumor in der korrekten, vorberechneten Position befindet. Hierdurch können Risiken für therapiebedingte Nebenwirkungen weiter reduziert werden.

Stereotaktische Strahlentherapie und - Radiochirurgie

Die stereotaktische Bestrahlung ist eine technisch besonders komplexe Sonderform der *hypofraktionierten Strahlentherapie*, bei der wenige Fraktionen (üblicherweise 3-10) mit hohen Einzeldosen (bis zu über 20 Gy) bei verringerter Gesamtdosis verabreicht werden. Von „Radiochirurgie“ spricht man, wenn die Behandlung in nur einer einzigen Sitzung erfolgt. Es handelt sich hier um eine Hochpräzisionsbestrahlung, bei der das Gewebe außerhalb der Tumorregion bestmöglich geschont wird.

Die stereotaktische Technik kann mit Linearbeschleunigern oder mit speziell dafür entwickelten Geräten (z. B. *Cyberknife*, *Gammaknife*) durchgeführt werden. Hierfür können Navigationssysteme eingesetzt werden, mit denen bestimmte Fixpunkte im Körper angesteuert und genaue Koordinaten des Zielgebietes dreidimensional ermittelt werden. Um eine präzise Übertragung der geplanten Bestrahlungsdaten zu ermöglichen, wird der Kopf oder Körperabschnitt des Patienten üblicherweise mit einer Maske oder einem speziellen Lagerungssystem fixiert. Solche Masken können in einem starren Rahmen



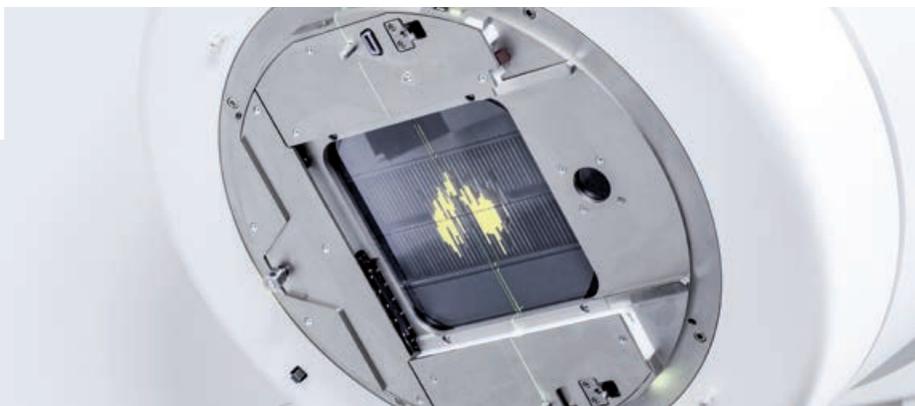
festgeschraubt werden, um möglichst auch kleinste Bewegungen zu verhindern. Bei Einsatz der bildgesteuerten Bestrahlung kann auf solche starren Systeme weitgehend verzichtet werden, da eine Echtzeit-Überprüfung der Position des Zielgebietes möglich ist. Diese Technik kommt beispielsweise bei der robotergestützten Strahlentherapie des *Cyberknife*® zum Einsatz. Aus physikalischen und strahlenbiologischen Gründen kann diese Technik nur bei kleinen Tumoren oder Metastasen (z. B. in Gehirn, Lunge, Leber, Knochen) angewandt werden.

Für technisch Interessierte: Der Linearbeschleuniger

In einem Linearbeschleuniger werden *Elektronen* (winzige, negativ geladene Teilchen), welche von einem Glühdraht ausgesandt werden, in einer Hochvakuumröhre nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Am Ende des Rohres werden die Elektronen mit Hilfe starker Magnete in die gewünschte Richtung umgelenkt. Diese Elektronen können direkt zur Bestrahlung oberflächennaher Tumoren (z. B. der Haut) eingesetzt werden.

Häufiger wird jedoch Photonenstrahlung (hochenergetische Röntgenstrahlung) mit höherer Eindringtiefe benötigt; sie kann erzeugt werden, indem man die Elektronen auf ein wassergekühltes Metall (Wolframtarget) aufprallen lässt. Hier werden sie abrupt abgebremst, dabei entstehen durch Energieumwandlungsprozesse Photonen. Photonen können aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften – im Vergleich zu Elektronen – tiefer in den Körper eindringen. Je energiereicher die Photonenstrahlung ist, umso größer ist auch ihre Eindringtiefe.

In der klinischen Routine kommen Strahlungsenergien mit Beschleunigungsspannungen von 4–18 Megavolt (MV) zum Einsatz. Je nach Lage der Zielregion wird die notwendige Energie bei der Bestrahlungsplanung berechnet und am Beschleuniger eingestellt. Für die Begrenzung des Bestrahlungsfeldes und zur Ausblockung gesunden Gewebes werden Blenden (Kollimatoren) verwendet, die im Beschleunigerkopf sitzen. Beim MLC Kollimator handelt es sich um parallel angeordnete 2.5 bis 10 mm breite Wolframlamellen, mit denen das Bestrahlungsfeld asymmetrisch und individuell an das Zielgebiet angepasst wird. Jede dieser Lamellen wird durch einen kleinen Motor computergesteuert für jede Bestrahlung in die richtige Position gebracht.



Partikeltherapie: Protonen und Schwerionen

Protonen und *Schwerionen* sind positiv geladene Teilchen (Partikel), die nicht mit einem herkömmlichen Linearbeschleuniger produziert werden können. Die Geräte, die man zu ihrer Erzeugung benötigt, sind technisch erheblich aufwändiger und in der Herstellung um ein vielfaches teurer als ein Linearbeschleuniger. Ein wesentlicher Vorteil von Protonen liegt darin, dass ihre Dosis überwiegend auf den Tumor konzentriert bleibt und außerhalb des Zielgebietes schnell abfällt. Dadurch wird die Strahlendosis im umliegenden gesunden Gewebe meist deutlich verringert.

Ausgewählte Tumoren in kritischen Teilen des Gehirns, z. B. an der Schädelbasis, können mit Protonen schonender mit reduzierten Nebenwirkungen am umliegenden Gewebe behandelt werden. Auch schwer beherrschbare Tumoren im Beckenbereich können durch die Partikeltherapie mittlerweile verbessert behandelt werden. Für bestimmte Tumoren bei Kindern, hier insbesondere Hirntumoren, ist die Protonentherapie eine etablierte Behandlung. Ebenso ist die Protonentherapie für Tumorarten im hinteren Augenbereich eine etablierte Therapie, mit der Patienten ihre Sehfähigkeit oft erhalten können. Für Tumore der Speiseröhre hat eine randomisierte Studie eine Verringerung von Nebenwirkungen durch die Protonentherapie gegenüber IMRT gezeigt. Für viele andere Tumore liegen derzeit noch nicht ausreichend Daten vor. Für ausgewählte Indikationen gibt es jedoch Vereinbarungen zur Kostenübernahme zwischen den behandelnden Zentren und den Krankenkassen. Diese Patienten werden vielfach in klinischen Studien behandelt, damit die Behandlungsergebnisse systematisch erfasst und ausgewertet werden können.

Während die biologische Wirksamkeit von Protonen ähnlich der von Photonen ist, weisen Schwerionen (z. B. Kohlenstoff-Ionen) hingegen eine erhöhte biologische Wirksamkeit auf: Die Wahrscheinlichkeit, dass das Erbgut der Zelle aufgrund von Doppelstrangbrüchen in der DNS geschädigt wird, ist daher erheblich größer bei der Bestrahlung mit Schwerionen. Genau dies ist die zentrale Voraussetzung für Schädigung der Krebszellen, die zum Tod der bösartigen Zellen führen kann.

Schwerionen können möglicherweise auch solche Tumoren besser abtöten, die unter anderem durch eine geringe Sauerstoffversorgung weniger gut auf eine klassische Strahlentherapie ansprechen. Daher werden die Schwerionen unter anderem auch bei einer erneuten Bestrahlung von Tumorrezidiven, die bereits initial mittels Strahlentherapie behandelt worden waren,

eingesetzt. Allerdings gibt es bislang nur wenige wissenschaftliche Daten, die einen Vorteil der Schwerionen- gegenüber einer herkömmlichen Photonentherapie oder im Vergleich zu Protonen nachweisen. Die Schwerionentherapie kommt deshalb vor allem in klinischen Studien zur Anwendung.

Nach Einschätzung der Forscher werden langfristig etwa zehn (bis zwanzig) Prozent der Krebspatienten von einer Protonen- oder Schwerionen-Bestrahlung profitieren. Zu erwarten ist dies vor allem bei Tumoren, bei denen es technisch unmöglich ist, eine ausreichend hohe Strahlendosis (mit Photonen) bei einer vertretbaren Nebenwirkungsrate zu verabreichen.



Brachytherapie (Afterloading) (Bestrahlung von innen)

Die Brachytherapie (brachys = griechisch *kurz*) ist ein zweites wichtiges Instrument der Strahlentherapie und wird häufig in Kombination mit der Bestrahlung von außen eingesetzt. Dabei wird die Strahlenquelle in einer speziellen Hülse (Applikator) in eine Körperhöhle (z. B. Speiseröhre, Luft-röhre, Enddarm, Scheide, Gebärmutter) eingebracht und gibt dort in genau berechneter Weise Strahlung ab; diese hat – im Gegensatz zur äußerlichen Bestrahlung – eine deutlich geringere Reichweite, d. h. sie dringt nur wenige Zentimeter ins Gewebe ein. Damit wird eine hohe Dosis im gewünschten Gebiet erzielt, während die umliegenden Organe weitgehend geschont werden.

Eine weitere Form der Brachytherapie besteht darin, dass spezielle Nadeln oder Schläuche (unter Betäubung) direkt in das Tumorgewebe eingebracht werden und die radioaktive Quelle dann in diese Nadeln ferngesteuert eingefahren wird. Auch hier erfolgt vorab eine sorgfältige Bestrahlungsplanung anhand von CT-, Ultraschall- oder MR-Bildern. Nach der Bestrahlung werden die Applikatoren oder Nadeln wieder entfernt. Bei einer definierten Gruppe von Prostatakarzinomen in frühen Stadien kann eine Brachytherapie auch mit so genannten „Seeds“ erfolgen. Dabei handelt es sich um kleine radioaktive Stifte, die unter Narkose in die Prostata eingebracht werden und dort ihre Strahlung dauerhaft abgeben. Diese Seeds verbleiben lebenslänglich im Körper.

Kombination aus Bestrahlung & anderen Therapieverfahren

Die Wirksamkeit einer Strahlentherapie kann bei einigen Erkrankungen durch die Kombination mit anderen Maßnahmen noch gesteigert werden.

Radio-Chemotherapie

Bei einigen Tumoren (z. B. der Kopf-Halsregion, der Lunge, der Speiseröhre oder des Enddarms) hat es sich bewährt, die Bestrahlung mit einer gleichzeitigen oder nacheinanderfolgenden Chemotherapie zu kombinieren. Die Wirkung der Strahlentherapie wird dadurch noch verstärkt und die

Heilungschancen werden damit verbessert. Bei einer gleichzeitigen Radio- und Chemotherapie muss allerdings mit einem Anstieg der Nebenwirkungen gerechnet werden. Die Behandlung muss daher besonders engmaschig überwacht werden.

Hyperthermie

Bei einigen Tumoren macht man sich die Tatsache zunutze, dass durch Wärme Tumorzellen vernichtet werden. Was sich einfach anhört, erfordert jedoch eine höchst komplizierte Technologie. Im Unterschied zur klassischen externen Strahlentherapie kommen hierbei keine Röntgenstrahlen, sondern *Radio-Frequenz-* oder *Ultraschall-Wellen* zur Anwendung, mit denen im behandelten Gewebe eine Temperatur von ca. 42–43 Grad Celsius erzeugt wird. Schwierig dabei ist, die erhöhte Temperatur gleichmäßig über eine längere Zeitdauer auf das Zielvolumen zu verteilen, da die eingestrahlte Wärme in nicht immer vorhersehbarer Weise durch den Blutstrom wieder abtransportiert werden kann. Durch die Hitze sterben vor allem die Zellen mit schlechter Sauerstoffversorgung ab, genau diese sind am wenigsten strahlenempfindlich.

Hyperthermie und Strahlentherapie können sich also sinnvoll ergänzen. Eine Anwendung besteht zum Beispiel bei der postoperativen Strahlentherapie bestimmter Tumoren der Weichgewebe (Sarkome). Die Effektivität einer alleinigen Überwärmungstherapie ist hingegen nicht gesichert. Die Hyperthermie ist kein Routineverfahren; sie wird nur bei ausgewählten Tumorarten in Kombination mit einer Strahlen- bzw. Chemotherapie durchgeführt und erfolgt in ausgewiesenen Zentren.

Nebenwirkungen der Strahlentherapie

Die Strahlentherapie ist eine lokale Maßnahme, deren Wirkung sich in der Regel auf die Region des Bestrahlungsfeldes beschränkt. So entsteht beispielsweise Haarausfall des Kopfes nur bei einer Bestrahlung der Kopfhaut.

Prinzipiell unterscheidet man *akute Nebenwirkungen* (d. h. solche, die bereits in den Wochen während und kurz nach der Strahlentherapie auftreten) von *Spätreaktionen*, die Monate bis Jahre nach der Therapie eintreten können.

Beispiele für *akute Nebenwirkungen* sind Schleimhautentzündungen im Mund oder in der Speiseröhre bei Bestrahlung in der Kopf- Hals- Region, Übelkeit oder Durchfälle bei Bestrahlung im Bauchbereich oder Hautrötungen bei Bestrahlung der Brust. Diese akuten Nebenwirkungen klingen in aller Regel vollständig wieder ab.

Beispiele für *Spätreaktionen* sind Hautverfärbungen oder Verhärtungen des Unterhautbindegewebes sowie narbige Veränderungen in mitbestrahlten Organen. Solche Spätreaktionen bleiben chronisch. Eine verbesserte Bestrahlungsplanung und -technik sowie kleinere und damit verträglichere Einzeldosen lassen heute Nebenwirkungen seltener werden.

Insbesondere das Risiko für die chronische Form der Nebenwirkungen stellt auch eine Begrenzung für die Strahlentherapie-Dosis dar, die bei den verschiedenen Erkrankungen appliziert wird. Ein gewisses Maß an unerwünschten Nebenwirkungen muss allerdings in Kauf genommen werden, um eine Krebserkrankung effektiv zu bekämpfen. Beschwerden, die durch Nebenwirkungen der Strahlentherapie auftreten, können in der Regel durch unterstützende Maßnahmen bzw. Medikamente gelindert werden.

Ablauf der Bestrahlung

Durch die modernen Weiterentwicklungen aller Therapieformen sind Krebsbehandlungen durch die am Anfang der Broschüre genannten Therapien gegen den Krebs (*Operation, Strahlentherapie und medikamentöse Tumortherapie*) deutlich verträglicher und wirksamer geworden.

Alle in Ihrer Therapie beteiligten Ärzte/Ärztinnen und Kolleg/innen stimmen Ihren Therapieplan eng untereinander ab und erstellen für Sie einen individuellen Therapieplan. Dieser wurde in einer Konferenz mit Beteiligung aller verschiedenen Fachärzte („Tumorkonferenz“ genannt) festgelegt und diskutiert, so dass die Patienten immer die aktuellste und wirksamste Therapie erhalten. Es wird auch festgelegt, welche der „drei“ Säulen für Ihre Therapie benötigt werden und welches die beste Reihenfolge der einzelnen Therapien für Ihre Erkrankung ist. Der Kontakt zur Strahlentherapie kann dabei ganz am Anfang, in der Mitte oder erst am Ende Ihres individuellen Behandlungsplans stehen.

Einführungsgespräch

Der erste Kontakt zu den Radioonkologen erfolgt nach der Diagnose Ihrer Erkrankung oder nach einer bereits begonnenen oder durchgeführten ersten Therapie. In der Regel erfolgt die Erstvorstellung in der Strahlentherapie nach der Tumorkonferenz durch einen Ihrer behandelnden Ärzte.

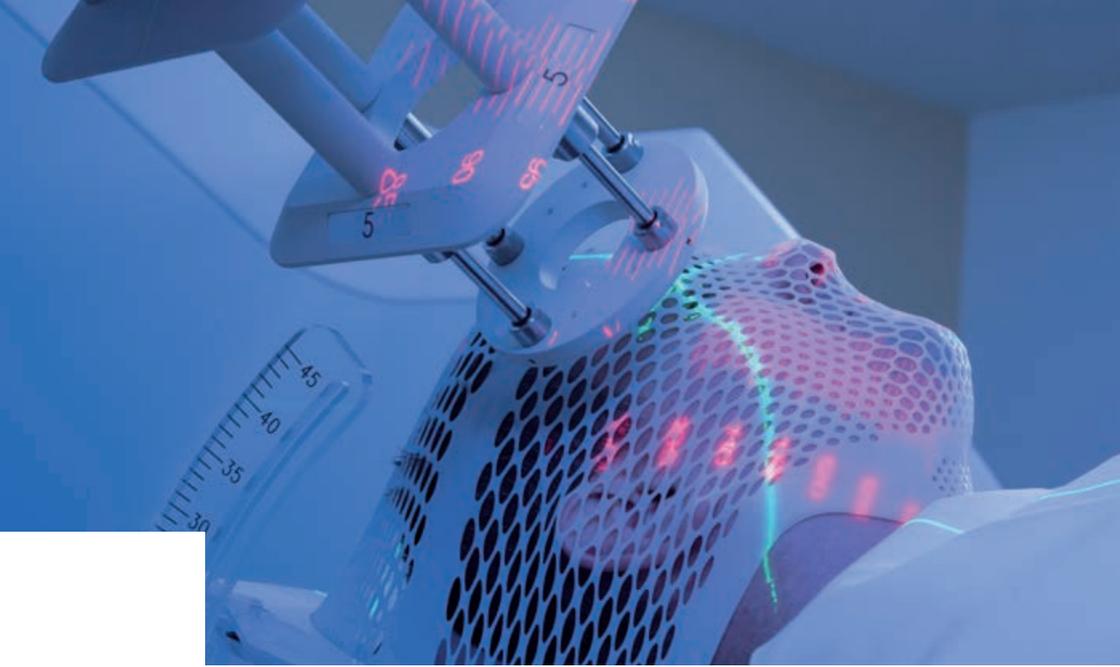
Wir als Radioonkologen nehmen uns beim ersten Gespräch Zeit, um mit Ihnen Ihre wesentlichen Befunde und offenen Fragen zu Ihrer Erkrankung zu besprechen. Der Radioonkologe benötigt dazu vor dem ersten Gespräch mit Ihnen bzw. spätestens zum Zeitpunkt des ersten Gespräches alle Unterlagen zu Ihrer Erkrankung (Operationsbericht, Pathologiebericht über die mikroskopische Beurteilung der Erkrankung, Röntgenbilder, Berichte und originale Bilder als CD/DVD, Arztbriefe usw.). Häufig haben Ihre behandelnden Ärzte uns bereits viele Unterlagen zukommen lassen. Dennoch ist es für Sie sinnvoll, sich selbst von allen Befunden, Briefen und CDs eine Kopie erstellen zu lassen und diese in einem eigenen Aktenordner zu sammeln. Damit unterstützen Sie alle Ihre behandelnden Ärzte dabei, alle wesentlichen Befunde für Ihre Therapie rechtzeitig gesehen zu haben. Zukünftige Therapien für Sie können damit auch unter dem aktuell verschärften Datenschutzgesetz („DSGVO“) schneller begonnen werden. Sie verkürzen

mit vollständigen Unterlagen zu Ihrer Erkrankung in der Regel Ihre Wartezeiten bis zum Therapiebeginn.

Im *Aufklärungsgespräch* zur Strahlentherapie werden Ihnen anhand eines für Ihre Behandlung ausgewählten Aufklärungsbogens die Behandlungsziele, der Ablauf Ihrer Strahlentherapie, die Anzahl der benötigten Bestrahlungen/Therapiedauer sowie mögliche Nebenwirkungen erläutert. Wichtig für Sie zu wissen ist, dass sämtliche Nebenwirkungen im Aufklärungsbogen aufgeführt werden, auch wenn diese nur sehr selten (weniger als 1 : 10 000) und äußerst selten (nur Einzelfälle) auftreten. Generell ist anzumerken, dass die Strahlentherapie innerhalb Ihrer gesamten Krebsbehandlung zu einer der risikoärmsten Therapien zählt. Der Aufklärungsbogen gilt am Ende mit Ihrer Einwilligung als Dokumentation des Gesprächs. Lassen Sie sich am Ende des Gespräches eine Kopie der Aufklärung mitgeben, worüber Sie Ihr/e Arzt/Ärztin auch informieren wird. Um Nebenwirkungen zu reduzieren, werden Ihnen Verhaltenshinweise während der Therapiedauer im Rahmen des Aufklärungsgespräches erläutert. Im letzten Kapitel dieser Broschüre werden wir auf diesen Punkt nochmals eingehen.

Insgesamt nimmt das erste Gespräch mit Ihnen meist 30–45 Minuten in Anspruch. Planen Sie folglich bitte ausreichend Zeit hierfür ein. Da sich viele Patienten häufig bei der Diagnose „Krebs“ noch in der Verarbeitung dieser Erkrankung befinden, kann es vorkommen, dass Sie sich in diesem ersten Gespräch nicht alle Informationen merken können. Ein guter Tipp ist, sich vorab Notizen zu machen und einen nahestehenden Angehörigen mitzubringen. Dieser kann Ihnen helfen, für Sie wichtige Fragen zu stellen und zu Hause die erhaltenen Informationen nochmals zu besprechen und mitunter gemeinsam auch besser zu verarbeiten. Es gilt dabei aber immer: Sie entscheiden, ob Ihre Angehörigen mithören dürfen.





Bestrahlungsplanung

Nach dem Aufklärungsgespräch werden Sie die weiterführenden Termine zur Vorbereitung auf Ihre Strahlentherapie erhalten. Da jeder Mensch und jede Erkrankung unterschiedlich sind, wird für Ihre Strahlentherapie ein maßgefertigter Bestrahlungsplan erstellt. Die neuen Techniken in der Strahlentherapie erlauben es, immer nebenwirkungsärmer behandeln zu können.

Heutzutage bekommen fast alle Patienten zur Planung der Strahlentherapie eine speziell für die Strahlentherapie ausgerichtete *Bestrahlungs-Planungs-Computertomografie* (BPL-CT) des zu bestrahlenden Körperabschnittes. Dieses BPL-CT ist daher nicht mit einem Ihrer vorherigen CTs durch den diagnostisch tätigen Radiologen vergleichbar. Es muss immer mit einer speziellen Lagerung vor einer geplanten Strahlentherapie erfolgen. Dieses BPL-CT wird abhängig von der bei Ihnen zu behandelnden Körperregion mit speziell abgestimmten Lagerungshilfen durchgeführt, damit Sie für die nachfolgenden Bestrahlungen immer in der exakt gleichen Position liegen können. Zur besseren Reproduzierbarkeit dieser Lagerung werden Hautmarkierungen in Form von mehreren „Kreuzen“, üblicherweise mit

einem wasserfesten Stift, auf Ihrer Haut eingezeichnet. So wird sichergestellt, dass Sie sich bei den späteren Bestrahlungen immer in der Position des BPL-CTs befinden und sicher bestrahlt werden können. Alternativ sind punktförmige Tätowierungen oder Markierungen mit Henna möglich. Sie halten während der Behandlung, verblassen mit der Zeit aber wieder. Welche Markierungsart für Sie am besten geeignet ist, entscheidet der Sie behandelnde Arzt.

Wichtig: Die Markierungen darf man nicht abwaschen – ansonsten könnte sich Ihre Therapiezeit verzögern!

!

Für Bestrahlungen am Kopf oder Hals werden neben den üblichen Lagerungshilfen auch speziell angepasste Kunststoffmasken für Sie erstellt. Mit Hilfe dieser wird in Körperregionen mit besonders zu schützenden Bereichen eine noch präzisere Lagerung während der Bestrahlung ermöglicht. Je präziser bestrahlt werden muss, desto fester ist der Kunststoff dieser Masken. Aber keine Sorge, die meisten Bestrahlungen dauern nur wenige Minuten und die Liegezeit unter diesen Masken beträgt meist nur 10–15 Minuten pro Tag. Sollte bei Ihnen eine Platzangst bekannt sein, sprechen Sie mit ihrem behandelnden Arzt darüber, um eine passende Lösung für die Lagerung zu finden.

Nachdem das BPL-CT des entsprechenden Körperabschnitts in dünnen Schichten erstellt wurde, wird Ihr behandelnder Radioonkologe alle zu schützenden Körperregionen in jeder einzelnen Schicht einzeichnen und die zu behandelnden unterschiedlichen Regionen (Tumorregion oder das OP-Gebiet) gleichermaßen festlegen.

In der nun folgenden *Therapieplanerstellung* an leistungsstarken Computern wird die Grundlage für die weitere Bearbeitung durch den/die Medizinphysiker/in geschaffen, der/die für Ihre Behandlung den optimalen Bestrahlungsplan erstellen wird. Oft benötigen Medizinphysiker und Ärzte mehrere Arbeitsgänge, bis Ihr individuell erstellter Bestrahlungsplan alle Qualitätsansprüche optimal erfüllt. Diese Abläufe sind durch die heutigen umfangreichen Planungs- und Therapietechniken durch viele einzelne qualitätsgesicherte Prozesse immer umfangreicher geworden und sichern Ihnen eine noch schonendere Bestrahlung.

Terminplanung und Bestrahlung

Je nach Art der Erkrankung können unterschiedliche Anzahlen an Bestrahlungen notwendig sein. Üblicherweise wird einmal täglich und fünfmal pro Woche bestrahlt (die Wochenenden sind frei). Es gibt jedoch auch Erkrankungen, bei denen es sinnvoll ist, zweimal täglich zu therapieren (sog. *Hyperfraktionierung*). Dies kommt zum Beispiel beim kleinzelligen Lungenkrebs oder bei manchen Kopf-Hals-Tumorerkrankungen vor. Beim Brustkrebs hingegen kann es unter dem Begriff der „*Hypofraktionierung*“ zu einer geringeren Anzahl von Sitzungen mit dafür höherer Intensität (höherer Einzeldosis) pro Tag kommen. Die Dauer der Bestrahlung und die notwendige Dosis sind bei den verschiedenen Erkrankungen unterschiedlich. Den genauen Zeitplan wird der Radioonkologe vor Behandlungsbeginn mit Ihnen besprechen.

Die erste Bestrahlungssitzung dauert meist etwas länger als die folgenden, da ein/e Facharzt/-ärztin für Strahlentherapie und ein/e Medizinphysiker/in vor Beginn nochmals alle Einzelheiten überprüfen; insbesondere wird das bei der Ersteinstellung angefertigte Bestrahlungsprotokoll von den Medizinphysikern nochmals kontrolliert. Außerdem erfolgen am ersten Tag die Bildkontrollen auf dem Bestrahlungstisch. Damit wird sichergestellt, dass sich während Ihrer Bestrahlung das Bestrahlungsgebiet in gleicher Weise wie bei dem BPL-CT reproduzieren lässt. Erst, wenn alles in Ordnung ist, wird die Bestrahlung vom verantwortlichen Arzt/Ärztin freigegeben. Die erste Bestrahlung ist für manche Patienten mit noch einer gewissen Aufregung verbunden. Sie werden jedoch sehr schnell merken, dass nichts Schmerzhaftes oder Bedrohliches geschieht, und Sie können die weiteren Sitzungen ganz entspannt absolvieren.

Im Verlauf der weiteren Bestrahlungen werden Sie regelmäßig von einem/r Arzt/Ärztin betreut und zu Visiten einbestellt. Sie sollten darüber hinaus auch selbst um ein Gespräch bitten, falls Sie Fragen haben oder Beschwerden auftreten.

Nach der letzten Bestrahlung erfolgt üblicherweise eine Abschlussuntersuchung und ein ausführliches Gespräch mit Ihrem/r Arzt/Ärztin. Die weitere Hautpflege und sonstige Verhaltensmaßnahmen werden dabei besprochen. Oft wird ein kurzfristiger Termin zu einer Kontrolluntersuchung vereinbart, da sich auch Nebenwirkungen (insbesondere bei der Hypofraktionierung) nicht selten in den Tagen nach Behandlungsende noch etwas verstärken können.

Die unterschiedlichen Behandlungskonzepte in der Strahlentherapie:

- A — **Konventionelle** Bestrahlungskonzepte kommen mit 1,8 Gy–2 Gy noch am häufigsten vor. Bestrahlungen dauern in der Regel 5–7 Wochen.



- B — **Hyperfraktionierte** Behandlungskonzepte werden beispielsweise unter anderem beim kleinzelligen Lungenkrebs angewendet. Sie reduzieren die Behandlungsdauer, jedoch muss 2 × am Tag mit mindestens 6 Stunden Abstand bestrahlt werden, was bei langen Anfahrtswegen zur Strahlentherapieeinrichtung oft schwerer umzusetzen ist.



- C — Die **Hypofraktionierung** findet immer häufiger Eingang (Brustkrebs und Prostatakrebs) und verkürzt mit höheren Einzeldosen pro Tag die Behandlung, ohne das Ergebnis zu verschlechtern.



↓ = Bestrahlung

Wie verhält man sich

in der Zeit der Bestrahlung

Bei kleineren Bestrahlungsvolumina in unkritischen Körperregionen ist es durchaus möglich, dass Sie während der Behandlungszeit Ihren gewohnten Tätigkeiten oder Arbeit nachgehen, falls Sie dies selbst wünschen. Andernfalls erhalten Sie eine Krankschreibung für den Zeitraum der Bestrahlungen. Fördern Sie Ihr seelisches Wohlbefinden – Tun Sie Dinge, die Ihnen Spaß machen und Freude bereiten! Alle Aktivitäten, die Sie gerne ausführen, sollten Sie beibehalten, da dies der einfachste Weg ist, in Ihren gewohnten Lebensrhythmus zurückzufinden. Kurzum: Erlaubt sind alle Aktivitäten, die Ihnen guttun, während solche, die eine psychische oder überfordernde körperliche Belastung darstellen, eher vermieden werden sollten.

Sport und Krebs?

Während Krebspatienten in der Vergangenheit oft geraten wurde, sich zu schonen, lautet das Motto heute: Bleiben Sie in Bewegung! Körperliche Aktivität verbessert das Wohlbefinden, kann die Heilung fördern und scheint nach neuesten Studien sogar lebensverlängernd zu wirken. Sport sollte daher also durchaus Teil Ihres Behandlungskonzeptes sein und später zum Alltag gehören. Sport kann Ihre Leistungsfähigkeit und Ihr Selbstbewusstsein stärken – was auch Ihre Lebensqualität deutlich verbessern kann. Je nach Krankheitsbild kann dies durch eine symptomorientierte Krankengymnastik oder durch die Teilnahme an einer Sportgruppe erfolgen. Auch ein gut ausgestattetes Fitnessstudio mit geschulten Betreuern ist geeignet, wenn keine schwerwiegenden Beeinträchtigungen vorliegen. Häufig gibt es auch spezielle Sportgruppen für Krebspatienten.



Hautpflege

Hautreaktionen können die Lebensqualität während der Strahlentherapie beeinträchtigen. Besonders wenn die Bestrahlungsregion oberflächlich liegt, kann es auch zu stärkeren Hautreaktionen kommen. Bitte führen Sie keine eigenen Experimente durch – sondern besprechen Sie die Hautpflege mit ihrem/r behandelnden Arzt/Ärztin. Prinzipiell gilt, dass Sie zusätzliche Belastungen für Ihre bestrahlte Haut vermeiden sollten, wie beispielsweise mechanischen Stress (Reiben, Kratzen), Schmutz oder ein feuchtes Milieu (Haut-auf-Haut Kontakt in Hautfalten vermeiden). Meiden Sie direkte Sonneneinstrahlung, indem Sie sich nicht der direkten Sonne aussetzen, UV-Schutz verwenden, die bestrahlte Haut mit Kleidung schützen und starkes Schwitzen und Hitzestau vermeiden. Bevorzugen Sie Kleidung aus Baumwolle oder Naturfaser und vermeiden Sie zu enge oder kratzige Kleidung. Bezüglich der Körperpflege ist Duschen sowie die Reinigung mit klarem Wasser im Bestrahlungsbereich erlaubt. Verzichten Sie auf Vollbäder und achten Sie bitte auf die Haut-Markierungen der Bestrahlung, damit diese nicht entfernt werden. Es sollten keine parfümierten Pflegeprodukte oder Seifen im Bestrahlungsfeld benutzt werden, auf eine Nassrasur sollte verzichtet werden. Für die Hautpflege im Bestrahlungsfeld verwenden Sie bitte ausschließlich die von Ihrem Radioonkologen empfohlenen Pflegeprodukte. Bei Hautveränderungen wenden Sie sich bitte umgehend an Ihr Strahlentherapie-Team, da eine Anpassung der Pflegeprodukte erforderlich sein kann.

Ernährung

Es gibt keine spezielle Krebsdiät! Bisher konnte durch keine wissenschaftliche Studie belegt werden, dass eine Krebserkrankung durch eine spezielle Diät direkt beeinflusst oder geheilt werden kann. Ernährung kann aber dazu beitragen, die Gesamtsituation Ihres Körpers und damit die Wirkung Ihrer medizinischen Therapie zu verbessern. Hauptziel ist es, Ihren Körper mit ausreichend Energie und Nährstoffen zu versorgen, damit Sie sich wohl fühlen und mehr Energie haben. Die konkreten Ernährungsempfehlungen richten sich hierbei nach Ihrer ganz individuellen Situation: Danach, ob Sie ungewollt Gewicht verlieren oder zunehmen und nach Ihren momentanen Beschwerden. Auch hinsichtlich der Verträglichkeit einer Strahlenbehandlung gibt es keine allgemeingültigen Diättempfehlungen. Prinzipiell gilt: Essen Sie, was Ihr Körper gerade braucht und verträgt. Das kann auch mal das genaue Gegenteil davon sein, was allgemein als „gesund“ gilt. Lassen Sie



sich davon nicht verunsichern! Wenden Sie sich für eine ausführliche Beratung an Ihre/n behandelnden Arzt/Ärztin oder nutzen Sie Online Angebote (z. B. <https://www.was-essen-bei-krebs.de>). Sollten Sie sich weiterhin unsicher fühlen, können Sie sich auch von geschulten Ernährungsberatern (manche von Ihnen sind auf Krebskranke spezialisiert) beraten lassen.

Wartezimmergespräche

Immer wieder hören wir von Patienten, das Schlimmste an der Bestrahlung seien die Wartezimmergespräche gewesen. Oftmals kursieren hier „Schauer-geschichten“, die sich an Schrecklichkeiten zu überbieten suchen. In dieser Situation besteht die Gefahr, dass „geteilte Angst“ zu „doppelter Angst“ wird.

Auch werden Sie dort die verschiedensten Ratschläge erhalten. Diese beziehen sich oft auf die Ernährung und die allgemeine Lebensführung. Einiges davon mag sinnvoll und nützlich sein, aber wir empfehlen Ihnen dringend, solche Gespräche nicht als Hauptinformationsquelle zu sehen, und im Zweifelsfall immer den Rat des/r Arztes/Ärztin Ihres Vertrauens einzuholen. Wenn Sie von anderen Patienten oder deren Angehörigen zu Ihrer Erkrankung befragt werden und kein Bedürfnis verspüren sich auszutauschen, zögern Sie nicht zu erklären, dass Sie nicht über Ihre Erkrankung sprechen möchten. Sie werden selbst herausfinden, welche Art von Gesprächen und Gesprächspartnern zu Ihrem Wohlbefinden beitragen.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Mit diesen Aussagen soll keinesfalls der Sinn von Gruppengesprächen in Zweifel gezogen werden. Selbsthilfe- oder Patientenorganisationen können sehr hilfreich sein und den Prozess der Krankheitsbewältigung unterstützen (siehe nächster Absatz).

Hilfestellung durch psychosoziale Betreuung

Auch nach erfolgreichem Abschluss der Behandlung bestehen Sorgen und Ängste mitunter weiter. Oft müssen Fragen zur persönlichen, familiären und beruflichen Situation und Zukunft im Zusammenhang mit der Erkrankung neu überdacht werden. Dabei kann es hilfreich sein, schon während der Behandlung mit der *Sozialberatung* oder dem *Psychoonkologischen Dienst* der Klinik Kontakt aufzunehmen. In Zusammenarbeit mit Ärzten und Pflegepersonal unterstützen die psychologischen Fachkräfte die Patienten sowie auch deren Angehörige mit Informationen und begleiten die Patienten dabei, diese spannungsreiche Zeit zu meistern. In einem Beratungsgespräch können die individuelle Situation besprochen werden, sozialrechtliche Ansprüche (z. B. Rehabilitation, Schwerbehindertenausweis) und andere praktische Hilfsangebote, wie Adressen von Krebsberatungsstellen, Selbsthilfegruppen etc. vermittelt werden.

Manche Patienten haben auch nach Abschluss der Therapie noch psychische Belastungen, die alleine oder im Familien- und Freundeskreis nicht ausreichend zu bewältigen sind. Hier kann es hilfreich sein, einer *Selbsthilfegruppe* beizutreten, in der Probleme und Ängste mit gleichermaßen Betroffenen offen diskutiert und ausgetauscht werden können. Wichtig ist, dass solche Gruppensitzungen unter psychologischer Leitung stattfinden, die mit der entsprechenden Erfahrung und Sensibilität die Gruppenprozesse soweit steuert, dass keine zusätzlichen Ängste entstehen. In Einzelfällen kann auch eine *Psychotherapie* sinnvoll sein.



Weitere Informationen

Manche Patienten möchten eine Zweitmeinung oder sind in einer neuen Situation ganz generell auf der Suche nach Informationen. Sollten Sie zu einer geplanten Therapie eine Zweitmeinung wünschen, können Sie sich in einem weiteren Zentrum dafür vorstellen. Achten Sie dabei darauf, dass dieses Zentrum viel Erfahrung mit der Behandlung Ihrer Erkrankung hat. Ein vertrauensvolles Verhältnis zu Ihrem/r behandelnden Arzt/Ärztin ermöglicht normalerweise auch die offene Kommunikation über das Einholen von Zweitmeinungen. Generelle und seriöse Informationen für Krebspatienten, Angehörige, Freunde oder Interessierte zu Krebserkrankungen, Behandlungsmöglichkeiten, -zentren, aber auch zu alternativen Therapien, klinischen Studien oder Selbsthilfegruppen können Sie kostenfrei bei folgenden Beratungsstellen erhalten:

Krebsinformationsdienst des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ)

Telefon: [0800/4203040](tel:08004203040) (kostenfrei), täglich 8–20 Uhr
Internet: www.krebsinformationsdienst.de
E-Mail: krebsinformationsdienst@dkfz.de

Infonetz Krebs der Deutschen Krebshilfe

Telefon: [0800/80708877](tel:080080708877) (kostenfrei), Montag–Freitag 8–17 Uhr
Internet: www.infonetz-krebs.de
E-Mail: krebshilfe@infonetz-krebs.de

Beratungsstellen der Deutschen Krebsgesellschaft in allen Bundesländern

Betroffene, Angehörige oder Interessierte finden bei den Landeskrebsgesellschaften Hilfe, Rat und Antworten auf ihre Fragen sowie Adressen von Beratungsstellen in ihrer Nähe.

Internet: www.krebsgesellschaft.de/landeskrebsgesellschaften.html

Nach der Strahlentherapie:

Wie geht es weiter?

Die weitere Nachsorge erfolgt „interdisziplinär“, d. h. in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit allen Ihren behandelnden Ärzten (z. B. Hausarzt, Facharzt, Radioonkologe). Die Zeitabstände sind im ersten Jahr relativ kurz und werden mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur Therapie länger. Bei Auftreten von neuen Symptomen sollten Sie selbstverständlich auch jederzeit „außer der Reihe“ Ihre/n Arzt/Ärztin aufsuchen.

Wichtig: Mindestens einmal im Jahr sollte eine Nachsorge jedes bestrahlten Patienten beim Radioonkologen erfolgen. Nebenwirkungen nach Bestrahlung können auch noch Jahre nach Ende der Behandlung auftreten und werden nicht selten falsch interpretiert. Nur der Radioonkologe hat die Ausbildung und Erfahrung, solche Nebenwirkungen richtig zu erkennen und zu behandeln. Leider kommt es auch immer wieder vor, dass andere Erkrankungen oder ein Tumorrückfall bei bestrahlten Patienten fälschlich als „Strahlenfolgen“ missdeutet werden. Dies ist für den Betroffenen besonders dann von großem Nachteil, wenn durch solche Fehldiagnosen eine wirksame Behandlung verzögert oder verhindert wird.

Zur Nachsorge können auch apparative Untersuchungen wie Röntgenaufnahmen, Ultraschall, Computertomografie u. ä. durchgeführt werden. Ihr/e onkologisch fachkundige/r Arzt/Ärztin wird Sie beraten, wie häufig diese Untersuchungen durchgeführt werden sollten.

Glossar

CT

(Computertomografie)

Röntgenschichtaufnahmen, die den Körper und die inneren Organe im Querschnitt darstellen. Diese Schnittbilder können digital rekonstruiert und zu einem 3-dimensionalen Bild zusammengesetzt werden.

Dosisverteilung/Isodosen

Prinzipiell besteht das Ziel bei jeder Strahlentherapie darin, eine angemessen hohe Dosis im Tumor (oder Zielvolumen) und eine möglichst niedrige Dosis im gesunden Gewebe zu erzielen. Es wird also ein steiler Dosisabfall angestrebt. Dies kann bereits bei der Bestrahlungsplanung in Form von Isodosen dargestellt werden, dabei umschließt jeweils eine Linie das Volumen, das mit gleicher Dosis bestrahlt wird.

Hyperfraktionierung

Bestrahlung mit Einzeldosen unter 1,8 Gy. Dies führt zu einer höheren Anzahl an Bestrahlungsfractionen, die dann z. B. mehrmals täglich appliziert werden. Bei manchen Tumoren kann durch Hyperfraktionierung das umliegende gesunde Gewebe im Verhältnis zum Tumor geschont werden.

Hypofraktionierung

Bestrahlung mit Einzeldosen über 2 Gy. Bei manchen Tumoren sind erhöhte Einzeldosen wirksamer in der Tumorzellvernichtung, wobei höhere Dosen

auch in vielen Normalgewebe zu einem höheren Risiko für Nebenwirkungen führen können. Daher ist die Hypofraktionierung nur für bestimmte Tumoren sinnvoll.

IGRT

(Bildgestützte Strahlentherapie, Image Guided Radiotherapy)

Integrierte Bildgebung in oder neben einem Linearbeschleuniger. So wird es ermöglicht, unmittelbar vor jeder Behandlung das Zielgebiet bildlich zu erfassen. Weicht die aktuelle Lage des Zielgebiets von der geplanten Position ab, so wird dies durch eine softwaregesteuerte Verschiebung der Tischpositionierung automatisch korrigiert.

IMAT

(Intensitätsmodulierte Bewegungsbestrahlung, Intensity Modulated Arc Therapy)

Sonderform der IMRT, bei der das Bestrahlungsgerät mit variabler Geschwindigkeit um den Patienten rotiert, wobei sich die Lamellen (MLCs) kontinuierlich bewegen und so die Strahlenintensität verändert werden kann. Dadurch verkürzt sich die Bestrahlungszeit auf wenige Minuten, und unterschiedliche Regionen können mit verschiedener Dosis behandelt werden. Gerade bei Tumoren, die in der Nachbarschaft von Risikoorganen (z. B. Rückenmark) liegen, kann so eine bessere Schonung erzielt werden.

IMRT

(Intensitätsmodulierte Strahlentherapie)

Zahlreiche Bestrahlungsfeld-Segmente werden aus verschiedensten Richtungen überlagert. Dadurch können unterschiedliche Regionen mit verschiedener Dosis bestrahlt werden. Gerade bei Tumoren, die in der Nachbarschaft von Risikoorganen (z. B. Rückenmark) liegen, kann so eine bessere Schonung erzielt werden.

MLC

(Multi-Leaf-Kollimator, multi-leaf-collimator)

Die maximale Größe eines Bestrahlungsfeldes beträgt meist 40×40 cm. Zur Begrenzung des Strahlenfeldes werden spezielle Kollimatoren verwendet – entweder als massive Blockblenden oder in Form von parallel angeordneten, nur wenige (2,5–10) mm breite Wolframlamellen, die einzeln elektronisch angesteuert das Bestrahlungsfeld für den Patienten individuell formen.

MRT

(Magnetresonanztomographie)

Modernes nicht-invasives Schnittbildverfahren zur diagnostischen Darstellung von Strukturen und Funktionen des Gewebes und der Organe unter Verwendung von magnetischen Feldern und Ultrakurzwellen anstelle von Röntgenstrahlen, dadurch besteht keine Strahlenexposition für den Patienten.

PET

(Positronen-Emissions-Tomographie), PET/CT, PET/MRT

Diagnostische Methode, um Stoffwechselprozesse im Körper sichtbar zu machen unter Nutzung von radioaktiv markierten Substanzen, sogenannten „Tracern“, die dem Patienten vor der Untersuchung gespritzt werden und sich an Körperstellen mit hoher Stoffwechselaktivität (z. B. im Tumor) anreichern.

Radiochirurgie

Hochdosierte einzeitige Strahlentherapie als Variante der stereotaktischen Strahlentherapie.

Stereotaktische Strahlentherapie

Variante der externen Bestrahlung, bei der mit hoher Präzision eine hohe Strahlendosis in einer oder wenigen (meist 3–10) Sitzungen am Zielgebiet deponiert wird. Hierfür sind aufwändige technische Zusatzausrüstungen notwendig. Die Fachgesellschaften haben hier umfängliche Anforderungen an die Qualitätssicherung definiert.

Impressum

Copyright:

Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e. V.

Gestaltung:

Ketchum GmbH, Dresden

Druck:

Haase Druck GmbH, Buttelstedt
7. überarbeitete Auflage 2021

Bilder:

Charité Berlin (Wiebke Peitz), Uniklinikum Dresden (Martin Förster),
stock.adobe.com (© catalin, Chinnapong, DANLIN Media GmbH, Mark Kostich,
megaflopp, millefloreimages, Nusara, peterschreiber.media, REDPIXEL,
Thomas Hecker, zlikovec)

Bezugsadresse:

Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e. V.
DEGRO Geschäftsstelle
Reinhardtstraße 47
10117 Berlin



