

Aus der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. M. Flentje

Reproduzierbarkeit
der Risikoorgandosis
bei der stereotaktischen Bestrahlung
in Thorax, Abdomen und Becken

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Wibke Thiele
aus
Dissen

Würzburg, Oktober 2003

Referent: Prof. Dr. med. M. Flentje
Korreferent: Prof. Dr. med. P. Schneider
Dekan: Prof. Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 23.12.2003

Die Promovendin ist Ärztin.

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	4
2.1 Extracranielle stereotaktische Radiotherapie in Form der Body-Frame– Bestrahlung. Ablauf von Planung und Bestrahlung.....	4
2.2 Übertragung des Targets und der Risikoorgane in die Planungs-CT.....	7
2.3 Datenauswertung.....	8
2.4 Patienten-Charakteristika.....	10
2.4.1 Körperstereotaxie im Becken.....	11
2.4.2 Körperstereotaxie im Bereich der Leber.....	12
2.4.3 Körperstereotaxie im Bereich der Lunge.....	13
3. Ergebnisse	15
3.1 Becken.....	15
3.1.1 Dosisänderungen an Blase, Dünndarm und Rektum.....	15
3.1.1.1 Blase	15
3.1.1.2 Dünndarm.....	18
3.1.1.3 Rektum	21
3.2 Leber	24
3.2.1 Dosisänderungen an Magen, Leber, Ösophagus und Niere.....	24
3.2.1.1 Magen	24
3.2.1.2 Ösophagus	27
3.2.1.3 Leber	30
3.3 Lunge.....	36
3.3.1 Dosisänderungen der Lunge, Herz, Trachea, Ösophagus und Spinalkanal.....	36
3.3.1.1 Linke Lunge	36
3.3.1.2 Rechte Lunge	39
3.3.1.3 Herz.....	42
3.3.1.4 Ösophagus	45
3.3.1.5 Trachea	48
3.3.1.6 Spinalkanal.....	51
4. Diskussion	54
5. Zusammenfassung	65
6. Literaturverzeichnis	68

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABC	Active Breath Control
bzw.	beziehungsweise
BF	Bodyframe
Ca	Carcinom
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
CTV	Clinical Target Volume
d.h.	das heißt
DRR	Digitale Radiographie
DVH	Dosisvolumenhistogramm
et al.	und andere
Gy	Gray
Max.	Maximum
Med.	Median
Min.	Minimum
mm	Millimeter
Pat.	Patienten
PTV	Planning Target Volume
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
Target	Zielvolumen
x	mal
Z	Zielpunkt
z.B.	zum Beispiel
ZV	Zielvolumen
/	pro

1. Einleitung

Die stereotaktische Bestrahlung stellt ein effektives Therapiemodell bei Hirntumoren sowie bei Hirnmetastasen dar. Hohe Einzeldosen mit damit verbundener hoher Wahrscheinlichkeit der Tumorkontrolle können dabei auf ein kleines und umschriebenes Zielvolumen unter maximaler Schonung umgebender Risikostrukturen appliziert werden.

In Anlehnung an die Erfahrungen der Kopfstereotaxie und durch die Entwicklung der dreidimensionalen konformalen Bestrahlungstechnik wurde die stereotaktische Bestrahlung auch für den Körperstammbereich entwickelt und eingesetzt, um eine bessere lokale Tumorkontrolle im Vergleich zur normofraktionierten Bestrahlung zu erreichen. Dieses nicht-invasive Therapiekonzept ermöglicht eine optimale Behandlungsmöglichkeit bei Patienten, die für ein operatives Vorgehen nicht qualifiziert sind.

Das stereotaktische Behandlungskonzept wurde zuerst von Blomgren et al. [1, 2] eingesetzt. Blomgren behandelte ein großes Spektrum umschriebener Läsionen in der Lunge, in der Leber, im Abdomen und im Knochen. Nakagawa et al. [3] und Uematsu et al. [4] bestrahlten mit Hilfe der Körperstereotaxie nur kleine Zielvolumina in der Lunge. Herfarth et al. [5, 6] behandelten Raumforderungen in der Lunge und der Leber nach dem Prinzip der Körperstereotaxie. Dabei reichte die Dosis und die Anzahl der Fraktionen von einer Einzeldosis zwischen 12 bis 24 Gy / Isocenter [3, 5, 6] bis zur hypofraktionierten Bestrahlung in zwei bis vier Fraktionen mit 10 bis 15 Gy / PTV-umschließende 65% -Isodose [1, 2, 7, 8, 9, 10] und fünf bis fünfzehn Fraktionen mit insgesamt 30 bis 75 Gy / Tumor auf die 80 % umschließende Isodose [4].

Zur Reduzierung einer möglichen Zielvolumenbeweglichkeit wurden spezielle Immobilisationstechniken entwickelt, so dass das bestrahlte Volumen so klein wie möglich gehalten werden konnte.

In der Klinik für Strahlentherapie an der Universität Würzburg wird diese Form der extracraniellen Körperstereotaxie seit 1997 durchgeführt. Hohe Einzeldosen können hierbei genau auf ein kleines umschriebenes Zielvolumen appliziert

werden, wobei die genaue und vor allem reproduzierbare Positionierung des Zielvolumens als auch der Risikoorgane bezogen auf das Isozentrum entscheidend ist.

Unter Verwendung eines Körperrahmens sowie der CT-Simulation ist es möglich, Bewegungen des Targets als auch der das Target umgebenden Risikoorgane einzuschränken und gegebenenfalls zu korrigieren.

Ein weiteres Charakteristikum der extracraniellen Körperstereotaxie ist die inhomogene Dosisverteilung, so dass ein steiler Dosisgradient zwischen Tumor- und Normalgewebe erreicht werden kann (bestmögliche Schonung des Normalgewebes und damit der Risikoorgane). Zudem ermöglicht die Körperstereotaxie mit einem nicht-invasivem Verfahren Patienten schnell und effektiv zu behandeln. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Patienten zur Planung und Bestrahlung nicht hospitalisiert werden müssen, da in den überwiegenden Fällen keine behandlungspflichtige Nebenwirkungen auftreten, welche nicht ambulant behandelt werden könnten (wie z.B. leichte Übelkeit oder geringer Husten). Ein weiteres entscheidendes Charakteristikum der stereotaktischen Bestrahlung ist, dass durch die Anwendung des Körperrahmens eine möglichst genaue Reproduzierbarkeit der Lage der Patienten erreicht wird, wobei zu beachten ist, dass das knöcherne System nicht genau den Weichteilen mit ihrer jeweiligen Lage- und Formveränderung entspricht.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit möglichen Lage- und Formveränderungen und den damit verbundenen Dosisänderungen in den das Target umgebenden Risikoorganen. Es soll die Frage beantwortet werden, ob die geplante Dosis an relevanten Risikoorganen der tatsächlichen Dosis bei der Bestrahlung mit der hypofraktionierten stereotaktischen Körperstereotaxie entspricht.

Wir untersuchten 56 Patienten, die stereotaktisch in 2 - 5 Fraktionen bei Einzeldosen von 5 - 10 Gy (bezogen auf 65%-Isodose) im Bereich des Beckens, der Leber und der Lunge behandelt wurden. Risikoorgane waren im Bereich des Beckens die Blase, das Rektum und der Dünndarm. Im Bereich der Leber waren die Risikoorgane der Magen, die Niere, der Ösophagus und die

Leber selbst und im Bereich der Lunge die Trachea, der Spinalkanal, die Lunge selbst sowie der Ösophagus und das Herz.

Die Patienten, welche stereotaktisch behandelt wurden, waren Patienten mit metastasierten oder rezidierten Mamma-Ca, Rektum / Sigma-Ca, Bronchial-Ca und Patienten mit Cervix- / Corpus-Ca. Ein Patient wurde stereotaktisch im Bereich der Leber bei hepatocellulärem Ca behandelt, ein Patient im Bereich der Lunge bei metastasiertem Thymom.

Einige Patienten waren zuvor bereits konventionell fraktioniert bestrahlt worden, so dass die Körperstereotaxie als Boost (in der Rezidivsituation) durchgeführt wurde.

2. Material und Methoden

2.1 Extracranielle stereotaktische Radiotherapie in Form der Body-Frame–Bestrahlung. Ablauf von Planung und Bestrahlung

Die Körperstereotaxie wurde erstmalig und umfassend von Blomgren und Lax et al. [1, 2, 7, 8, 9] vom Karolinska Hospital in Stockholm beschrieben. Seitdem



Bild 1: Körperstereotaxierahmen

liegen veröffentliche Ergebnisse von Nakagawa et al. [3], Uematsu et al. [4] und Herfarth et al. [5, 6] vor. Kernstück der stereotaktischen extracraniellen Stereotaxie ist der starre Körperrahmen aus Plastik (siehe Bild 1), in dem der Patient während der Bestrahlung zum Liegen kommt. Der Rahmen ist 111 cm lang und 51,2 cm breit sowie 36,3 cm hoch. In diesen Rahmen lässt sich eine Vakuummatte anbringen, die mit Styroporkügelchen gefüllt (25 bis 40 Liter) ist, so dass sich durch Abpumpen der Luft das Kissen an die individuelle

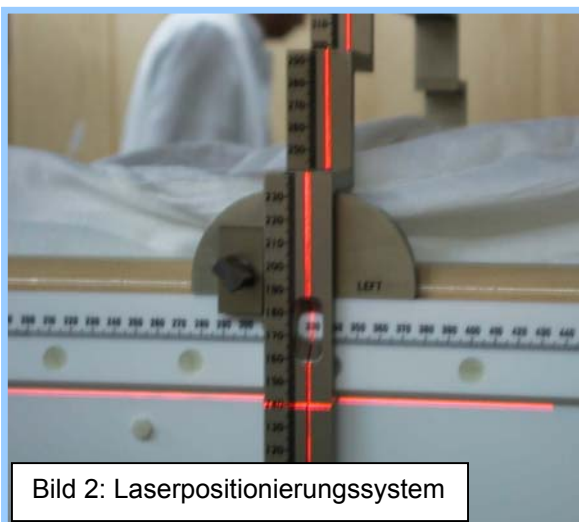


Bild 2: Laserpositionierungssystem

Kontur des Patienten anpassen lässt. Dadurch wird eine reproduzierbare Lagerung und gute Lagerungskonstanz des Patienten während der Bestrahlungen erreicht. Technische Details des Körperrahmens, der genaue Ablauf der Lagerung des Patienten in diesem Rahmen sowie Ergebnisse bezüglich der Zielvolumengenauigkeit wurden von Wulf

et al. aus der Klinik für Strahlentherapie der Universität Würzburg [10] veröffentlicht.

Unterstützt wird die genaue Lagerungsreproduzierbarkeit des Patienten durch ein Laser-System, das am Außenrand des Körperrahmens befestigt ist (siehe Bild 2).

Bei der Planungs-CT (siehe Bild 3) erfolgt die definitive Positionierung des Patienten innerhalb des Rahmens mit Hilfe kleiner Tätowierungen an Brustbein und beiden Schienbeinen. Diese Tätowierungen müssen mit den am Körperrahmen befestigten Laserpointern zur Deckung gebracht werden. Der Patient wird durch die Anpassung der Vakuummatte an dessen Körperkontur in Position gebracht. Falls notwendig, lässt sich die atmungsbedingte Tumorbewegung durch Anwendung mechanischen Druckes mittels einer Atempresse auf das Abdomen durch einen Zwerchfellstempel reduzieren.

In die Seitenwände eingelassene Kupferdrähte kommen auf den CT-Schichten zur Darstellung und erlauben die Festlegung eines Referenzpunktes mit eindeutig definierten stereotaktischen Koordinaten bezogen auf den Körperstereotaxierahmen.



Bild 3: Lagerung des Patienten im Bodyframe

Ist die Lagerung des Patient definiert und dokumentiert, erfolgt die Durchführung der Planungs-CT. Bei der Planungs-CT liegt der Patient in der

Bestrahlungsposition, es werden CT-Schichten in dieser Position gefahren, so dass eine Momentaufnahme des Targets, des knöchernen Systems und der Weichteile entsteht. In die Planungs-CT werden nach Überspielen der Bilddaten in ein 3-D-Bestrahlungsplanungssystem (Helax TMS, Nucletron) nacheinander das PTV und das CTV eingezeichnet. Das Clinical Target Volume (CTV) ist das Volumen, welches räumlich zusammenhängende onkologische Volumina umschließt, in denen ein radioonkologisches Behandlungsziel erreicht werden soll. Das Planning Target Volume (PTV), kurz Zielvolumen, beschreibt das klinische Zielvolumen mit Sicherheitssaum für Lage- oder Formveränderungen. Das PTV umschließt das CTV mit einem Sicherheitssaum von 5-10 mm. Zusätzlich werden alle das Target umgebenden Risikoorgane eingezeichnet.

Die Bestrahlungsplanung erfolgt unter Verwendung des Helax-TMS-Planungssystem, welches die 3-dimensionale Dosisverteilung errechnet und die Dosis-Volumen-Histogramme für das Target und die Risikoorgane ermittelt. Das PTV umfaßt den makroskopisch sichtbaren Tumor sowie einen von der Beweglichkeit des Tumors und den umliegenden Risikoorganen abhängigen Sicherheitsabstand. Dieser Sicherheitsabstand beträgt in unserem Modell 5 mm innerhalb der axialen Schnittebene und 5 - 10 mm in longitudinaler Richtung. Die Bestrahlungstechnik wird so gewählt, dass ein möglichst deutlicher Dosisgradient zwischen Tumorgewebe und den Risikoorganen entsteht. Nur so können bei Applikation hoher Einzeldosen im Tumor die umliegenden Risikoorgane optimal geschont und die Inhomogenität der Dosisverteilung in Kauf genommen werden. Es wird so keine Homogenität im Zielvolumen erreicht, aber eine hohe Dosis im Zentrum.

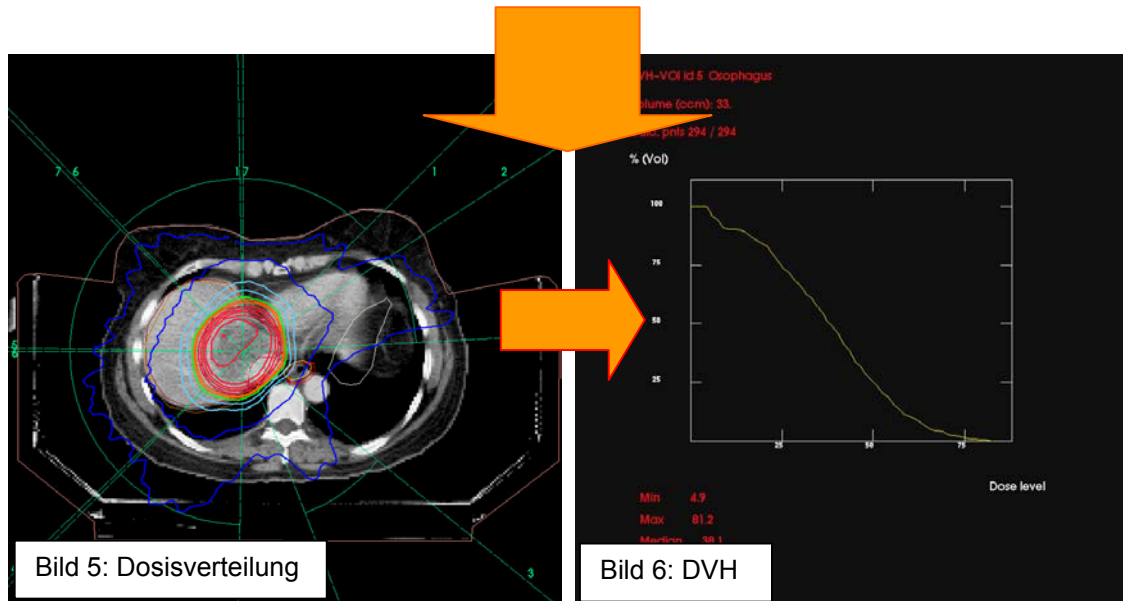
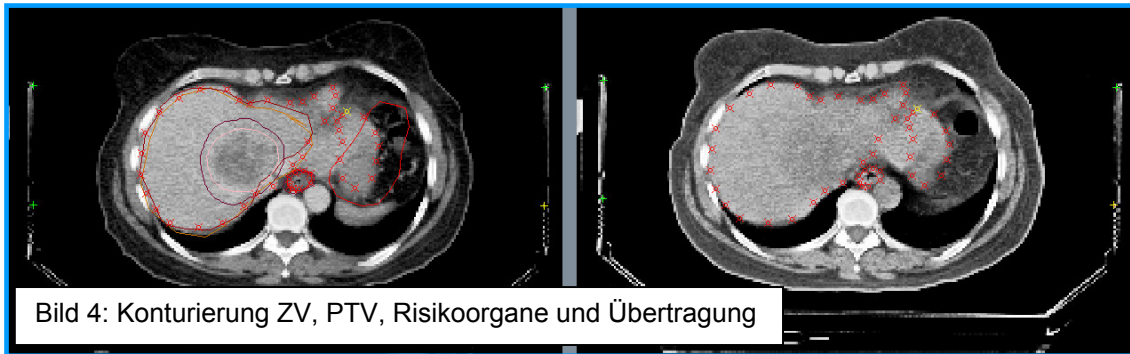
In dieser Arbeit wurden Einzeldosen zwischen 5 - 10 Gy auf die das PTV umschließende 65%-Isodose appliziert. Nach Fertigstellung des Bestrahlungsplanes werden aus der berechneten relativen Verlagerung zwischen Referenzpunkt und Zielpunkt (Z) die stereotaktischen Koordinaten des Zielpunktes bestimmt. Die Koordinaten können auf diese Weise bei jeder der nachfolgenden CT-Simulationen mit Hilfe des Raumlasersystems und am

Rahmen angebrachter Längenskalen eingestellt werden. Dies gilt in dieser Form auch für die Einstellung am Linearbeschleuniger.

Vor jeder Bestrahlung wird der Patient in der exakt definierten Lagerung positioniert und eine CT-Simulation zur genauen Kontrolle der Reproduzierbarkeit von Target und Risikoorganen durchgeführt. Die CT-Simulation ist eine unmittelbar vor der Bestrahlung durchgeführte Untersuchung zur Bestimmung der aktuellen Organposition. Bei Abweichungen müssen die Zielpunktskoordinaten und damit die Lagerung des Patienten korrigiert werden. Nach der CT-Simulation wird der Patient im Rahmen liegend zum Bestrahlungsgerät gefahren (speziell angefertigter mit Rollen versehener Transporttisch) und der Zielpunkt im Isozentrum positioniert. Seit 2002 führen wir das jeweilige Simulations-CT mit einem mobilen CT direkt am Bestrahlungsgerät durch; dies reduziert die Gefahr einer Lagerungsungenauigkeit durch Bewegungen des Patienten beim Transport zwischen Computertomograph und Linearbeschleuniger.

2.2 Übertragung des Targets und der Risikoorgane in die Planungs-CT

Bei dieser Untersuchung wurden Planungs und Simulations-CT im Helax TMS auf Höhe identischer Längskoordinaten gematcht, das heißt, korrespondierende Koordinaten von Planungs- und jeweiligem Simulations-CT wurden miteinander zur Deckung gebracht. Das CTV aller Simulations-CT's eines Patienten und die Zielvolumina der Risikoorgane wurden in die Planungs-CT übertragen (Bild 4), die Dosisverteilung errechnet (Bild 5), die Dosis-Volumen-Histogramme (Bild 6) erstellt und verglichen.



2.3 Datenauswertung

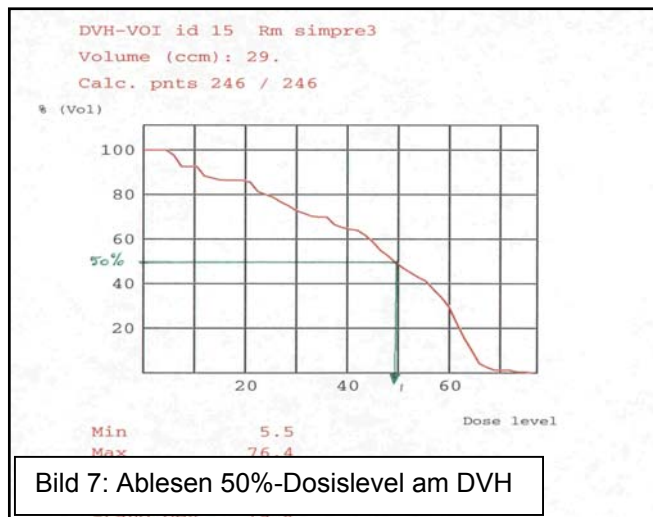
Von den im Planungssystem (Helax-TMS) errechneten Dosis-Volumen-Histogrammen aller untersuchten Risikoorgane zu den verschiedenen Zeitpunkten (Simulation / Bestrahlungen) wurden das Dosisminimum, das Dosismaximum, der Median, der Mittelwert und die Standardabweichung der applizierten Dosen tabellarisch in einer Excel-Datei dargestellt.

Der Median ist die minimale Dosis, die eine Hälfte des Organs erhalten hat. Der Mittelwert beschreibt die mittlere Organdosis. Die Standardabweichung ist die Streuung bezogen auf den Mittelwert und ist ein Maß für die Homogenität der Bestrahlung.

Anhand der Dosis-Volumen-Histogramme wurde zusätzlich für jede Planung und Bestrahlung des jeweiligen Risikoorgans die Dosis in Prozent bezogen auf ein 5 cm^3 -Volumen berechnet, das bedeutet, dass 5 cm^3 des Organs 0 Gy oder mehr erhalten haben. Das 5 cm^3 -Volumen wurde von uns gewählt, da im Hochdosisbereich ein kleines Volumen zur Aussage einer biologischen Wirkung besser geeignet ist als größere Volumina.

Betrug zum Beispiel bei der Simulation das Volumen des Risikoorgans 400 cm^3 , entsprach dieser Volumenwert im DVH 100 % auf der y-Achse. Der prozentuale y-Wert für 5 cm^3 wurde auf der Achse (entspricht 2 mm) abgetragen und die Dosis im Hochdosisbereich auf der x-Achse abgelesen.

Dies gilt für Hohlorgane oder sogenannte serielle Organe wie z.B. Magen, Blase oder Ösophagus.



Bei den seriellen Organen liegt eine zusammenhängende Funktionseinheit vor. Fehlt ein Funktionsstück eines Risikoorgans, kann der Rest des Organs den Verlust des fehlenden Funktionsstücks nur eingeschränkt oder gar nicht kompensieren. Im Bereich der Festorgane oder sogenannter

paralleler Organe, wie z.B. der Leber, der Lunge und der Niere bezieht sich die Dosis auf die 50%-Dosislevel (Ablesen siehe Bild 7, 50%-Dosislevel als grüne Funktion dargestellt). Parallele Organe bedeutet, dass bei Ausfall eines Funktionsstückes (z.B. linke Lunge), das Rest- oder Parallelorgan (rechte Lunge) diesen Ausfall kompensieren kann. Bei den seriellen Organen kommt es bei einer Einzeldosis von mehr als 7 Gy im 5 cm^3 -Volumen zu einem erhöhten Risiko von Nebenwirkungen wie zum Beispiel Nekrosen. Bei den parallelen Organen kann es bezogen auf den 50%-Dosislevel zu einer Pneumonitis kommen.

In der Arbeit wird sich auf das 5 cm³-Volumen bzw. auf den 50%-Dosislevel bezogen, um die Dosisänderungen sowohl im Zielvolumen als auch in den Risikoorganen besser darstellen und erkennen zu können. Bei großvolumigen Organen wie zum Beispiel der Leber sind die Dosisänderungen bezogen auf das Gesamtvolumen sonst zu klein, um als problematisch erkannt zu werden, trotzdem die beschriebenen Dosisveränderungen auf dem belasteten kleinen Volumen zu erheblichen Nebenwirkungen führen können. Zudem besteht zur Zeit kein System, die berichteten Dosisänderungen zu beschreiben, da es zu dieser Thematik noch keine weiteren Untersuchungen gibt.

Die ermittelten Dosisangaben werden in Prozent tabellarisch dargestellt und in Gy umgerechnet. Die Dosisänderung beschreibt in dieser Arbeit also die Differenz einer Risikoorgandosis in Gy zwischen Planung und Bestrahlung und zwar bezogen auf das 5 cm³-Volumen bzw. den 50%-Dosislevel.

Die Excel-Tabellen werden in ein Statistik-Programm (Statistika 6.0) übertragen. Mittels Statistica werden für alle Risikoorgane, Histogramme und Häufigkeitstabellen erstellt. Die Histogramme (siehe ab Seite 14) stellen die Dosisänderungen in Gy graphisch dar. Dabei beschreibt die Variable n die Anzahl der CT-Simulationen. Innerhalb der Histogramme erfolgt immer die Angabe des Mittelwerts, der Standardabweichung und des Median der Verteilung.

Zur genaueren Untersuchung der Abhängigkeit von Dosisänderungen legen wir Parameter wie z.B. die anatomische Lage, das Blasenvolumen oder die topographische Lage (siehe ab Seite 21) fest.

2.4 Patienten-Charakteristika

Insgesamt werden die Daten der Reproduzierbarkeit der Risikoorgane bei den jeweiligen CT-Simulationen im Vergleich zum Planungs-CT von 56 Patienten, die in der Klinik für Strahlentherapie der Uniklinik Würzburg stereotaktisch behandelt wurden, untersucht. Bei allen Patienten wurde vor jeder Bestrahlung

eine CT-Simulation durchgeführt und ausgewertet, um einen repräsentativen Vergleich zu erzielen.

Im Bereich des Beckens werteten wir bei 16 Patienten 43 CT-Simulationen in der Blase, 49 CT-Simulationen im Dünndarm und 16 CT-Simulationen im Rektum aus. In der Leber wurden bei 20 Patienten 51 CT-Simulationen im Magen, 25 CT-Simulationen im Ösophagus, 54 CT-Simulationen in der Leber und 12 CT-Simulationen in der Niere ausgewertet. In der Lunge wurden ebenfalls bei 20 Patienten 56 CT-Simulationen an der linken Lunge, 53 CT-Simulationen an der rechten Lunge, 13 CT-Simulationen am Herzen, 38 CT-Simulationen am Ösophagus, 34 CT-Simulationen an der Trachea und 37-CT-Simulationen am Spinalkanal ausgewertet.

2.4.1 Körperstereotaxie im Becken

16 Patienten wurden stereotaktisch im Bereich des Beckens behandelt, die Einzeldosis betrug dabei bei acht Patienten 3 x 5 Gy, bei drei Patienten 4 x 7 Gy, bei zwei Patienten 5 x 6 Gy und bei einem Patienten 3 x 10 Gy jeweils dosiert auf die das PTV umschließende 65%-Isodose.

Appliziert wurden zwischen 3 und 5 Fraktionen. In 6 Fällen wurde mit einer definierten Blasenfüllung gearbeitet, die Bauchpresse wurde dabei nicht eingesetzt. Bei 6 Patienten erfolgte die Bestrahlung primär, bei 10 Patienten als Boost, vorbestrahlt waren 6 Patienten. Die Entitäten waren Corpus-Ca, Cervix-Ca sowie Metastasen bei Corpus-, Cervix-, und Rektum-Ca.

Anatomisch fanden sich 8 Targets im Bereich des Scheidenstumpfes, 3 Targets fanden sich im Bereich der Beckenwand und 5 Targets fanden sich im Bereich des Sacrums/ Knochen.

Bei 3 Patienten betrug das CTV-Volumen $< 50 \text{ cm}^3$, bei 6 Patienten lag es zwischen $50 - 100 \text{ cm}^3$, bei 7 Patienten war es $> 100 \text{ cm}^3$. Bei keinem Patienten betrug das PTV-Volumen $< 50 \text{ cm}^3$, bei 4 Patienten lag es zwischen $50-100 \text{ cm}^3$, bei 12 Patienten war es $> 100 \text{ cm}^3$.

Als Risikoorgane bei der Körperstereotaxie im Bereich des Beckens waren definiert: das *Rektum*, die *Blase* und der *Dünndarm*.

Risikoorgan	Minimum	Maximum	Median
Blase	5,8	1693,0	162,5
Dünndarm	16,0	2317,0	409,3
Rektum	21,0	4702,0	172,5

Tab.1: Gesamtvolumina in cm³ untersuchter Hohlorane

2.4.2 Körperstereotaxie im Bereich der Leber

20 Patienten wurden stereotaktisch im Bereich der Leber behandelt. Die Einzeldosis betrug bei 19 Patienten 10 Gy dosiert auf die das PTV umschließende 65%-Isodose. Ein Patient wurde mit 7 Gy dosiert auf die das PTV umschließende 65%-Isodose behandelt. Appliziert wurden jeweils 3 Fraktionen, in einem Fall erfolgten 4 Fraktionen. Bei allen Patienten wurde die Bauchpresse zur Einschränkung der Atemmobilität eingesetzt.

Es wurden 19 Patienten mit Lebermetastasen bei Mamma-Ca, Rektum-Ca, Sigma-Ca und Bronchial-Ca therapiert, ein Patient hatte ein hepatocelluläres Carcinom.

Anatomisch fanden sich 8 Targets im cranialen Anteil des rechten Leberlappens, 6 Targets in der Mitte des rechten Leberlappens und 6 Targets im caudalen Anteil des rechten Leberlappens.

Bezogen auf die Lebersegmente fanden sich 2 Targets im Segment 1, 7 Targets in Segment 8, 7 Targets im Segment 6, 1 Target in Segment 7 und 2 Targets in Segment 4 der Leber.

Topographisch ließ sich eine Unterteilung in 13 Targets „*Darm nah*“ sowie 7 Targets „*zentral im Lebergewebe*“ vornehmen.

Bei 7 Patienten betrug das CTV-Volumen < 50 cm³, bei 4 Patienten lag es zwischen 50 - 100 cm³, bei 9 Patienten war es > 100 cm³. Bei 2 Patienten betrug das PTV-Volumen < 50 cm³, bei 5 Patienten lag es zwischen 50 - 100 cm³ und bei 13 Patienten war es > 100 cm³.

Die Risikoorgane bei der Körperstereotaxie im Bereich der Leber waren: die *Leber* selbst, der *Magen*, die *Niere* und der *Ösophagus*.

Risikoorgan	Minimum	Maximum	Median
Magen	35,0	1055,0	124,0
Ösophagus	3,0	301,0	12,0
Leber	466,0	2525,0	1097,5
Niere	15,0	164,0	76,5

Tab. 2: Gesamtvolumina in cm³ in Magen, Ösophagus, Leber und Niere.

2.4.3 Körperstereotaxie im Bereich der Lunge

20 Patienten wurden stereotaktisch im Bereich der rechten oder linken Lunge behandelt, die Einzeldosis betrug bei 16 Patienten 3 x 10 Gy, bei 2 Patienten 4 x 7 Gy und bei jeweils einem Patienten 3 x 12 bzw. 5 x 7 Gy dosiert auf die das PTV umschließende 65%-Isodose. Appliziert wurden jeweils 3 Fraktionen. Die Bauchpresse zur Einschränkung der Atemmobilität wurde bei nur einem Patienten eingesetzt.

Bei 19 Patienten erfolgte die stereotaktische Bestrahlung primär, bei einem Patienten als Boost. Vorbestrahlt waren 2 Patienten der Behandlungsgruppe. Die vertretenen Entitäten waren Bronchial-Ca und Rezidiv, metastasiertes Bronchial-Ca, metastasiertes Mundboden-Ca und eine Metastase bei Thymom. Anatomisch fanden sich 11 Targets im Oberlappen, 8 Targets im Unterlappen und 1 Target im Mittellappen.

Topographisch ließ sich eine Unterteilung in 4 Targets „*mediastinal nah*“, in 6 Targets „*peripher thoraxwandnah*“ und 10 Targets „*zentral im Lungengewebe*“ vornehmen.

Bei 8 Patienten betrug das CTV-Volumen < 50 cm³, bei 6 Patienten lag es zwischen 50 - 100 cm³, bei 6 Patienten war es > 100 cm³. Das PTV-Volumen betrug bei 4 Patienten < 50 cm³, bei 4 Patienten lag es zwischen 50 - 100 cm³ und bei 12 Patienten war es > 100 cm³.

Die Risikoorgane bei der Körperstereotaxie im Bereich der Lunge waren: die *Lunge* selbst, das *Herz*, die *Trachea*, der *Ösophagus* und der *Spinalkanal*.

Risikoorgane	Minimum	Maximum	Median
Lunge li	15,0	2190,0	796,5
Lunge re	44,0	2240,0	829,0
Herz	366,0	1069,0	700,0
Ösophagus	3,0	30,0	12,5
Trachea	8,0	98,0	25,0
Spinalkanal	9,0	32,0	32,0

Tab. 3: Gesamtvolumina in cm³ linke, rechte Lunge, Herz, Ösophagus, Trachea und Spinalkanal.

3. Ergebnisse

3.1 Becken

3.1.1 Dosisänderungen an Blase, Dünndarm und Rektum

3.1.1.1 Blase

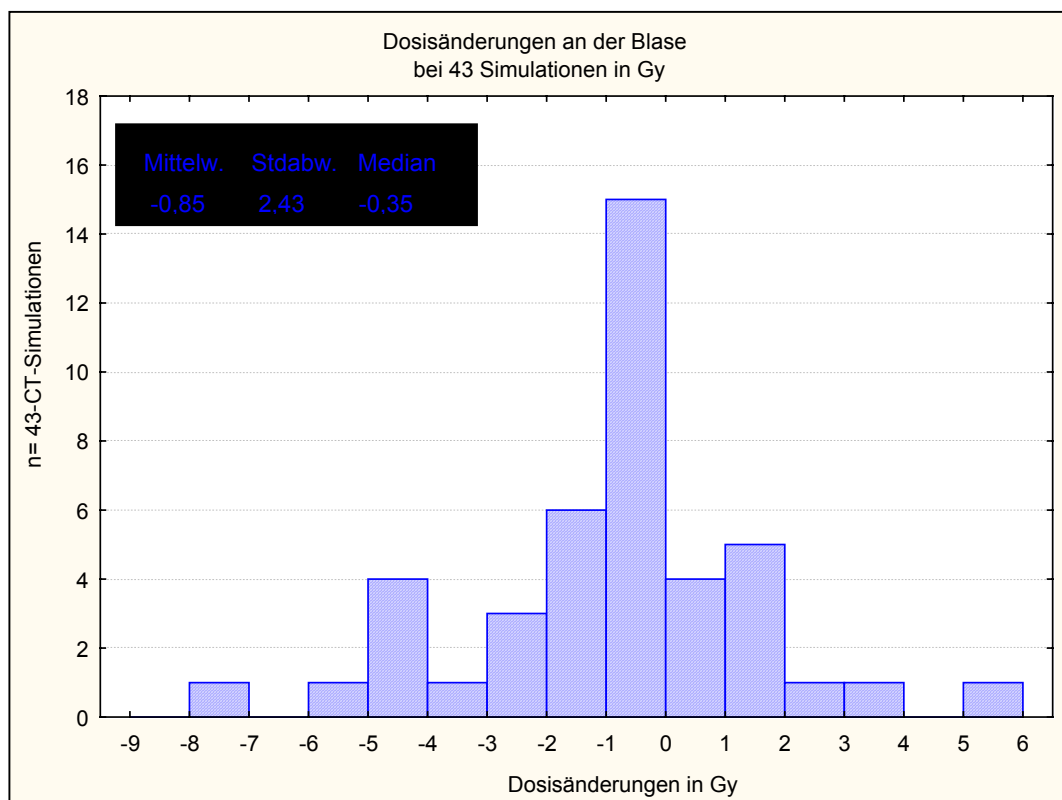


Abb. 1: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 43 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Blase. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 1 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Blase in insgesamt 43 Simulationen. Es wurde mit 5 Gy, 6 Gy oder 7 Gy in 3 bis 5 Fraktionen bestrahlt. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median der Verteilung angegeben. Die X-Achse beschreibt Dosisänderungen

zwischen Planung und CT-Simulationen in Gy, die Y-Achse die Anzahl der durchgeführten 43 CT-Simulationen.

Häufigkeitstabelle Blase				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-9.00<x<=-8.00	0	0	0,00	0,00
-8.00<x<=-7.00	1	1	2,33	2,33
-7.00<x<=-6.00	0	1	0,00	2,33
-6.00<x<=-5.00	1	2	2,33	4,65
-5.00<x<=-4.00	4	6	9,30	13,95
-4.00<x<=-3.00	1	7	2,33	16,28
-3.00<x<=-2.00	3	10	6,98	23,26
-2.00<x<=-1.00	6	16	13,96	37,21
-1.00<x<=0.00	15	31	34,88	72,09
0.00<x<=1.00	4	35	9,30	81,34
1.00<x<=2.00	5	40	11,63	93,02
2.00<x<=3.00	1	41	2,33	95,35
3.00<x<=4.00	1	42	2,33	97,67
4.00<x<=5.00	0	42	0,00	97,67
5.00<x<=6.00	1	43	2,33	100,00

Tab. 4: Häufigkeitstabelle aller Blase-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 4 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in sogenannten Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen. Die Dosisänderungen reichen in der Blase von - 8 Gy bis + 6 Gy, wobei in 31 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung. Das entspricht einem Anteil von 72 %. Bei dem größten Anteil der untersuchten CT-Simulationen ($n = 15$), 34,8 % entsprechend, lag die Dosisänderung zwischen -1 Gy und 0 Gy. Die größte Dosisänderung waren 6 Gy mit 2,3 %.

Risikoorgan Blase					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard-abweichung
Scheidenstumpf	19	-0,81	-7,50	2,50	2,81
Beckenwand	10	-1,80	-3,52	-0,60	0,85
Sacrum	14	-0,23	-4,84	5,39	2,55
CTV < 50 cm³	5	-0,57	-4,84	2,50	2,80
CTV 50-100 cm³	18	-1,81	-7,50	0,00	2,02
CTV >100 cm³	20	-0,05	-5,86	5,39	2,48
PTV < 50 cm³	-----				
PTV 50-100 cm³	8	-1,64	-4,84	2,50	2,85
PTV > 100 cm³	35	-0,67	-7,50	5,39	2,33
Radiatio ohne BF.	29	-1,07	-4,84	5,39	2,21
Radiatio mit BF.	14	-0,39	-7,50	2,50	2,86

Tab. 5: Änderung der Dosis in Gy in der Blase in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern im Becken.

Die Tabelle 5 stellt dar, von welchen Faktoren die Dosisänderung im Risikoorgan Blase abhängt. Es wurden dabei unterschiedliche Parameter wie die anatomische Lage des Zielvolumens untersucht, ebenso wurde die Größe des CTV und PTV analysiert. Außerdem wurde unterschieden zwischen der stereotaktischen Bestrahlung ohne und mit definierter Blasenfüllung.

Die Tabelle zeigt, dass es zu den größten Dosischwankungen in der Blase kommt, wenn das ZV am Scheidenstumpf liegt. Die höchste Dosisänderung von 5,39 Gy tritt auf, wenn das Zielvolumen ventral des Sacrums liegt. Die Dosisänderung ist auch größer, wenn mit einer definierten Blasenfüllung von 150 ml bestrahlt wird.

Eine Abhängigkeit der Dosisänderung von der Größe des CTV und PTV lässt sich nicht erkennen.

3.1.1.2 Dünndarm

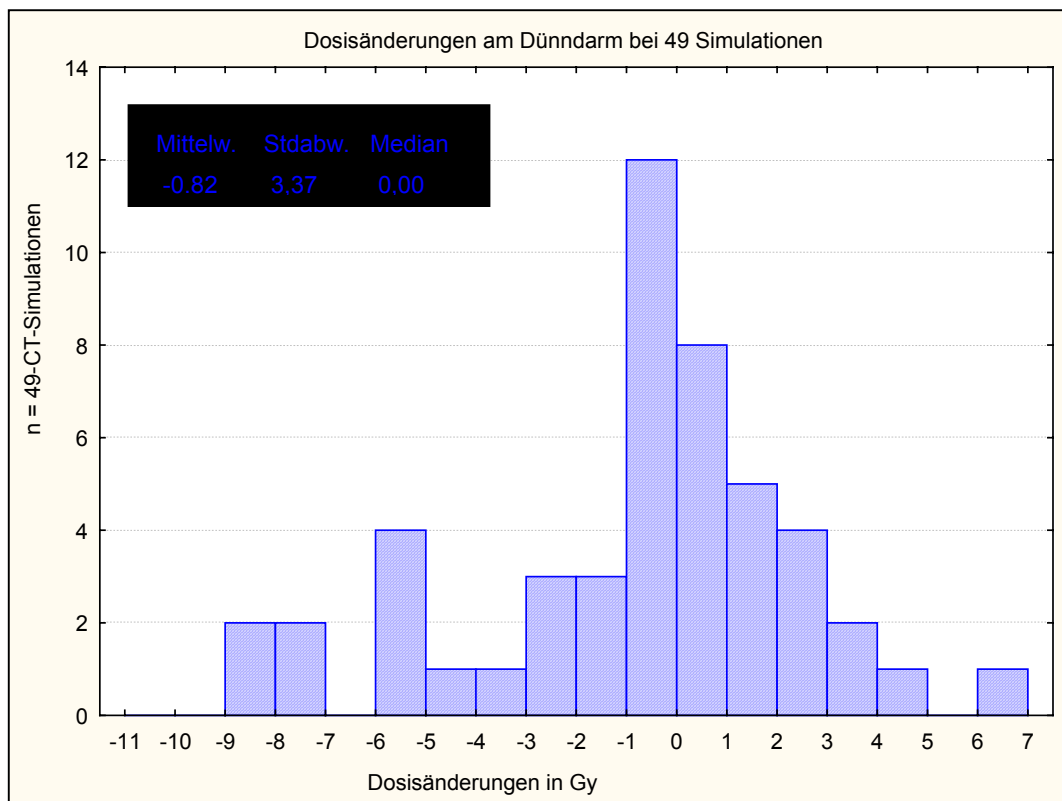


Abb. 2: Darstellung der Dosisabweichungen im Dünndarm bei $n = 49$ CT-Simulationen in Gy. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 2 demonstriert analog zu Abbildung 1 in Form eines Histogrammes die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Dünndarm in insgesamt 49 CT-Simulationen.

Es wurde wie im Bereich der Blase mit 5 Gy, 6 Gy oder 7 Gy in 3 bis 5 Fraktionen bestrahlt. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median der Verteilung angegeben.

Die X-Achse zeigt die Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen als Angabe in Gy, die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen $n = 49$.

Häufigkeitstabelle: Dünndarm				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-11.00<x<=-10.00	0	0	0,00	0,00
-10.00<x<=-9.00	0	0	0,00	0,00
-9.00<x<=-8.00	2	2	4,08	4,08
-8.00<x<=-7.00	2	4	4,08	8,16
-7.00<x<=-6.00	0	4	0,00	8,16
-6.00<x<=-5.00	4	8	8,16	16,33
-5.00<x<=-4.00	1	9	2,04	18,37
-4.00<x<=-3.00	1	10	2,04	20,41
-3.00<x<=-2.00	3	13	6,12	26,53
-2.00<x<=-1.00	3	16	6,12	32,66
-1.00<x<=0.00	12	28	24,49	57,14
0.00<x<=1.00	8	36	16,33	73,47
1.00<x<=2.00	5	41	10,20	83,67
2.00<x<=3.00	4	45	8,16	91,84
3.00<x<=4.00	2	47	4,08	95,92
4.00<x<=5.00	1	48	2,04	97,96
5.00<x<=6.00	0	48	0,00	97,96
6.00<x<=7.00	1	49	2,04	100,00

Tab. 6: Häufigkeitstabelle aller Dünndarm-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent .

In Tabelle 6 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy - Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen reichen im Dünndarm von - 9 Gy bis + 7 Gy, wobei in 26 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung. Das entspricht einem Anteil von 57,1 %.

Der größte Anteil der CT-Simulationen nämlich bei 12 Fällen liegt zwischen -1 Gy und 0 Gy, was einem prozentualen Anteil von 24,4 % entspricht. Die größte Dosisänderung ist im Risikoorgan Dünndarm bei + 7Gy (2,0 %) zu sehen.

Risikoorgan Dünndarm					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard-abweichung
Scheidenstumpf	24	-0,09	-7,43	6,48	3,12
Beckenwand	9	-1,90	-5,97	2,42	3,83
Sacrum	16	-1,32	-8,61	2,67	3,43
CTV < 50 cm³	9	0,23	-3,51	6,48	2,70
CTV 50-100 cm³	18	-2,19	-8,61	3,74	4,31
CTV >100 cm³	22	-0,14	-5,97	4,53	2,36
PTV < 50 cm³	-----				
PTV 50-100 cm³	12	-1,11	-7,43	6,48	3,75
PTV >100 cm³	37	-0,73	-8,61	4,53	3,29
Radiatio ohne BF	31	-1,54	-8,61	4,53	3,77
Radiatio mit BF	18	0,42	-2,00	6,48	2,10

Tab.7: Änderung der Dosis im Dünndarm in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern im Becken.

Die Tabelle 7 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Dünndarm abhängig sind.

Untersucht wurde die Lage des ZV, die Größe des CTV und PTV und die Bestrahlung ohne und mit einer definierten Blasenfüllung von 150 ml.

Die Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung ist mit kleinen Unterschieden im Dünndarm am größten, wenn das ZV an der Beckenwand oder ventral des Sacrums liegt, wobei die absolut größte Dosisänderung (6,48 Gy) bei Lage des ZV im Bereich des Scheidenstumpfes vorkommt.

Eine Abhängigkeit von der Größe des CTV und des PTV lässt sich nicht erkennen. Die Dosisänderung im Dünndarm ist größer, wenn die Bestrahlung ohne eine definierte Blasenfüllung erfolgt.

3.1.1.3 Rektum

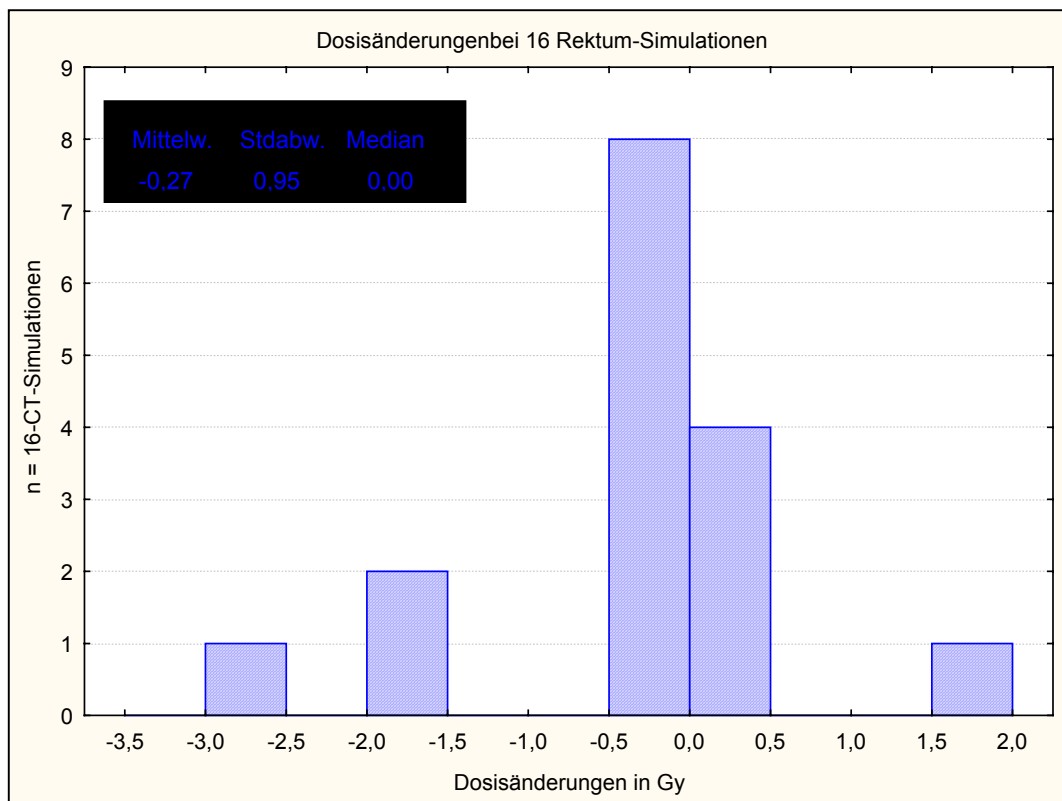


Abb. 3: Darstellung der Dosisabweichungen im Rektum bei 16 CT-Simulationen in Gy. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 3 demonstriert analog zu Abbildung 1 in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Rektum in insgesamt 16 CT-Simulationen.

Es wurde wie im Bereich der Blase mit 5 Gy, 6 Gy oder 7 Gy in 3 bis 5 Fraktionen bestrahlt.

Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median der Verteilung angegeben.

Die X-Achse entspricht den Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy), die Y-Achse der Anzahl der CT-Simulationen (n=16).

Häufigkeitstabelle: Rektum				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-3.50<x<=-3.00	0	0	0,00	0,00
-3.00<x<=-2.50	1	1	6,25	6,25
-2.50<x<=-2.00	0	1	0,00	6,25
-2.00<x<=-1.50	2	3	12,50	18,75
-1.50<x<=-1.00	0	3	0,00	18,75
-1.00<x<=-0.50	0	3	0,00	18,75
-0.50<x<=0.00	8	11	50,00	68,75
0.00<x<=0.50	4	15	25,00	93,75
0.50<x<=1.00	0	15	0,00	93,75
1.00<x<=1.50	0	15	0,00	93,75
1.50<x<=2.00	1	16	6,25	100,00

Tab. 8: Häufigkeitstabelle aller Rektum-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 8 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen im Rektum in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen reichten von - 3 Gy bis + 2 Gy, wobei in 11 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung. Dies entspricht einem Anteil von 68,7 %.

Der größte Anteil der Dosisänderungen im Rektum liegt zwischen - 0,5 Gy und 0 Gy in 8 Fällen (prozentualer Anteil 50 %).

Die größte Dosisänderung ist im Rektum bei +2 Gy (6,2 %) zu finden.

Risikoorgan Rektum					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard-abweichung
Scheidenstumpf	4	0,33	-0,46	1,56	0,86
Beckenwand	6	-0,53	-1,59	0,00	0,82
Sacrum	6	-0,40	-2,64	0,19	1,10
CTV < 50 cm³	1	0,15	0,15	0,15	
CTV 50-100 cm³	8	-0,40	-1,59	0,00	0,73
CTV >100 cm³	7	-0,18	-2,64	1,56	1,25
PTV < 50 cm³	-----				
PTV 50-100 cm³	1	0,15	0,15	0,15	
PTV >100 cm³	15	-0,30	-2,64	1,56	0,98
Radiatio ohne BF.	12	-0,47	-2,64	0,19	0,93
Radiatio mit BF.	4	0,33	-0,46	1,56	0,86

Tab. 9: Änderung der Dosis im Rektum in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern im Becken.

Die Tabelle 9 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Rektum abhängig sind. Untersucht wird die Lage des ZV, die Größe des CTV und PTV und die Bestrahlung ohne und mit einer definierten Blasenfüllung von 150 ml. im Rektum zwischen Planung und Bestrahlung sind bei Lage des Zielvolumens ventral des Sacrum am größten, die höchste Dosisänderung nach oben ist mit 1,56 Gy aber bei ZV-Lage im Bereich des Scheidenstumpfes.

Die Dosisänderung im Rektum ist größer, wenn die Bestrahlung ohne eine definierte Blasenfüllung erfolgt und je größer das CTV wird.

3.2 Leber

3.2.1 Dosisänderungen an Magen, Leber, Ösophagus und Niere

3.2.1.1 Magen

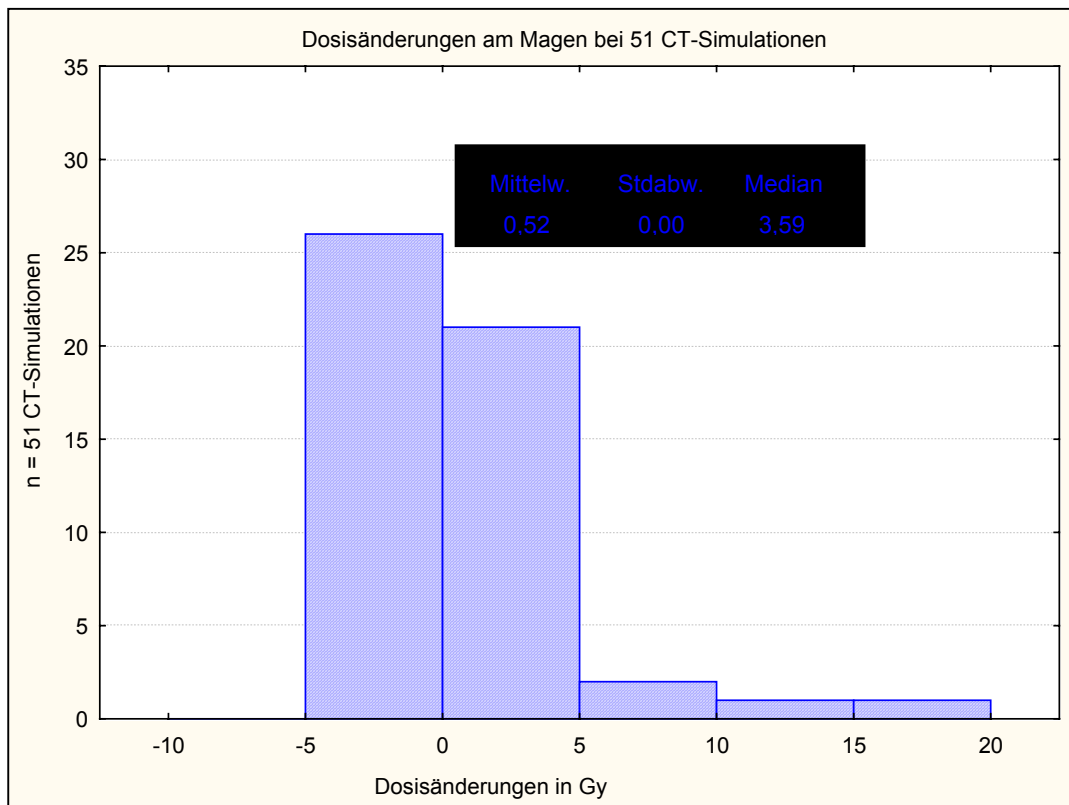


Abb. 4 Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 51 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Magen. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 4 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Magen in insgesamt 51 Simulationen.

Es wurde mit 10 Gy bestrahlt. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen am Magen angegeben. Die X-Achse entspricht Dosisänderungen zwischen Planung und

mit Angabe in Gy. Die X-Achse zeigt die Dosisänderung in Gy. Die Y-Achse zeigt die Anzahl der CT-Simulationen, hier $n = 51$.

Häufigkeitstabelle Magen				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-10,00<x<=-5,00	0	0	0,00	0,00
-5,00<x<=0,00	26	26	50,98	50,98
0,00<x<=5,00	21	47	41,18	92,16
5,00<x<=10,00	2	49	3,92	96,08
10,00<x<=15,00	1	50	1,96	98,04
15,00<x<=20,00	1	51	1,96	100,00

Tab. 10.: Häufigkeitstabelle aller Magen-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 10 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in sogenannten Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen. Sie reichen von - 5 Gy bis + 20 Gy, in 26 Fällen, 50,9% entsprechend, sind die Bestrahlungsdosen niedriger als bei der Planung. Der größte Anteil der Dosisänderung lag im Bereich von – 5 Gy und 0 Gy, ebenfalls 50,9 %. Die höchste Dosisänderung liegt in der Kategorie + 20 Gy in 1,9 % der Fälle.

Risikoorgan Magen					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
cranialer Leberanteil	22	0,58	-3,25	15,22	3,60
mittlerer Leberanteil	18	-0,41	-2,84	0,61	1,12
caudaler Leberanteil	11	1,92	-3,99	11,27	5,61
Lebersegment 1	6	-1,42	-3,25	-0,12	1,22
Lebersegment 2	-----				
Lebersegment 3	-----				
Lebersegment 4	5	-0,77	-2,60	0,03	1,08
Lebersegment 5	----- --				
Lebersegment 6	15	0,90	-3,99	11,27	5,08
Lebersegment 7	4	3,83	-0,38	15,22	7,60
Lebersegment 8	21	0,49	-0,42	2,96	1,03
ZV Darm nah	31	0,56	-3,99	11,27	3,64
ZV peripher in der Leber	----- --				
ZV zentral in der Leber	20	0,45	-2,84	15,22	3,61
CTV < 50 cm³	18	1,22	-3,99	11,27	4,40
CTV 50-100 cm³	10	0,84	-3,25	15,22	5,18
CTV >100 cm³	23	-0,17	-2,84	2,96	1,56
PTV < 50 cm³	6	4,99	-0,42	11,27	5,82
PTV 50-100 cm³	12	-0,66	-3,99	0,57	1,74
PTV >100 cm³	33	0,14	-3,25	15,22	3,07

Tab.11: Änderung der Dosis im Magen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern in der Leber.

Die Tabelle 11 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Magen abhängig sind.

Untersucht wird die Lage des ZV in den einzelnen Lebersegmenten sowie im cranialen, mittleren oder caudalen Teil der Leber, und die Größe des CTV und PTV.

Die Dosischwankungen im Magen zwischen Planung und Bestrahlung sind bei Lage des Zielvolumens im caudalen Leberanteil oder im Bereich von Segment 6 und 7 am größten.

Sie sind fast gleich, wenn das Zielvolumen *Darm-nah* oder *zentral in der Leber* liegt. Die höchste Dosisänderung ist 15,22 Gy. Sie tritt auf, wenn das Zielvolumen im cranialen Leberanteil, in Segment 7 oder *zentral in der Leber* liegt und je größer das PTV ist.

3.2.1.2 Ösophagus

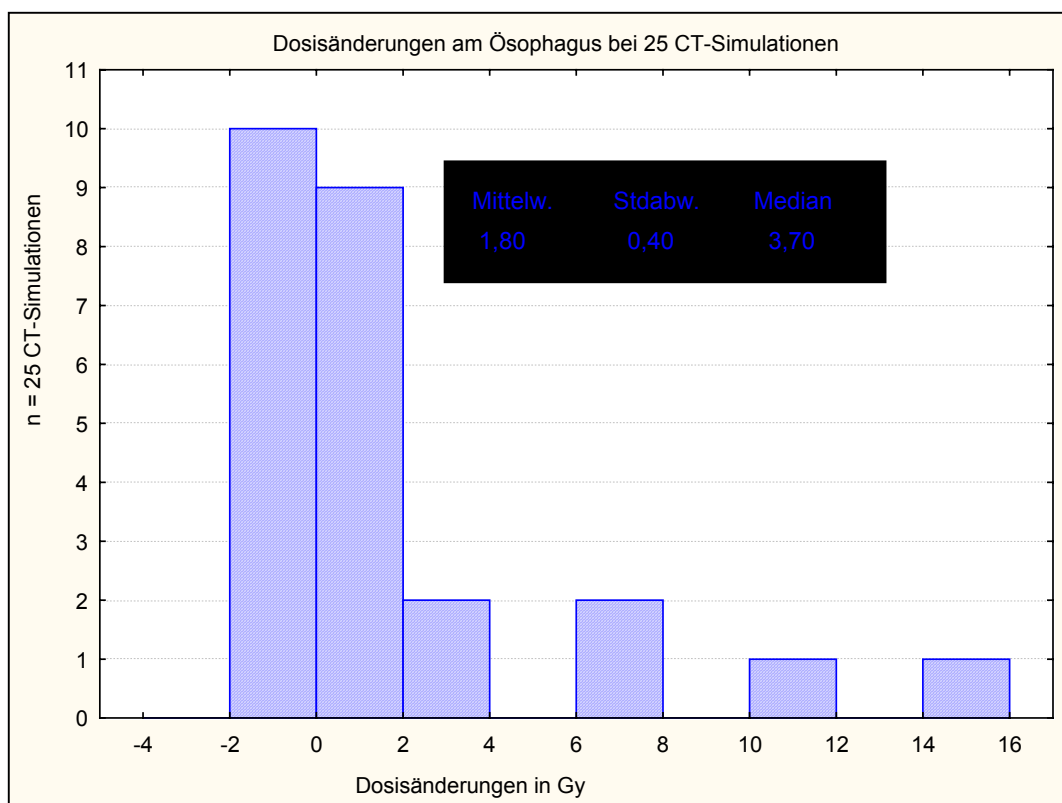


Abb. 5: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 25 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Ösophagus. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 5 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Ösophagus in insgesamt 25 Simulationen. Bestrahlt wird mit 10 Gy. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen am Ösophagus angegeben. Die X-Achse entspricht den Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy). Die Y-Achse zeigt die Anzahl der CT-Simulationen $n = 25$.

Häufigkeitstabelle Ösophagus				
	Häufigkeit	Summen-	% glt.	Kumul %
-4,00<x<=-2,00	0	0	0,00	0,00
-2,00<x<=0,00	10	10	40,00	40,00
0,00<x<=2,00	9	19	36,00	76,00
2,00<x<=4,00	2	21	8,00	84,00
4,00<x<=6,00	0	21	0,00	84,00
6,00<x<=8,00	2	23	8,00	92,00
8,00<x<=10,00	0	23	0,00	92,00
10,00<x<=12,00	1	24	4,00	96,00
12,00<x<=14,00	0	24	0,00	96,00
14,00<x<=16,00	1	25	4,00	100,00

Tab. 12: Häufigkeitstabelle aller Ösophagus-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 12 werden nun die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen. Die Dosisänderungen reichen von - 2 Gy bis + 16 Gy, wobei in 10 Fällen (entspricht 40 %) die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung. Der größte Anteil (bei 19 Fällen) der Dosischwankungen liegt zwischen - 2 Gy und + 2 Gy, was einem prozentualen Anteil von 76% entspricht. Die größte Dosisänderung liegt in der Kategorie +16 Gy mit einem prozentualen Anteil von 4 %.

Risikoorgan Ösophagus					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichun g
cranialer Leberanteil	15	0,96	-0,53	10,13	2,61
mittlerer Leberanteil	6	5,43	1,50	14,65	4,95
caudaler Leberanteil	4	-0,49	-1,16	0,40	0,77
Lebersegment 1	2	0,60	0,49	0,70	0,15
Lebersegment 2	-----				
Lebersegment 3					
Lebersegment 4	3	0,05	-0,17	0,40	0,31
Lebersegment 5	-----				
Lebersegment 6	8	0,61	-1,10	2,16	1,20
Lebersegment 7	3	2,81	-1,16	10,13	6,34
Lebersegment 8	9	3,38	-0,47	14,65	4,88
ZV Darm nah	15	1,72	-1,16	14,65	4,20
ZV peripher in der Leber	-----				
ZV zentral in der Leber	10	1,92	-0,53	10,13	3,03
CTV < 50 cm ³	22	2,08	-1,16	14,65	3,87
CTV 50-100 cm ³	7	1,56	-0,53	10,13	3,80
CTV >100 cm ³	15	2,33	-1,16	14,65	4,01
PTV < 50 cm ³	-----				
PTV 50-100 cm ³	3	-0,27	-1,10	0,40	0,76
PTV >100 cm ³	22	2,08	-1,16	14,65	3,87

Tab.13: Änderung der Dosis im Ösophagus in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern in der Leber.

Tabelle 13 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Ösophagus abhängig sind. Untersucht wird die Lage des ZV in den einzelnen Lebersegmenten sowie im cranialen, mittleren oder caudalen Teil der Leber, weiterhin die Größe des CTV und PTV.

Die Dosischwankungen im Ösophagus zwischen Planung und Bestrahlung sind bei Lage des Zielvolumens im mittlerem Leberanteil oder im Bereich von Segment 7 und 8 am größten.

Es kommt zu größeren Dosischwankungen, wenn das Zielvolumen *Darm nah* liegt und je größer das CTV und PTV wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 14,65 Gy.

3.2.1.3 Leber

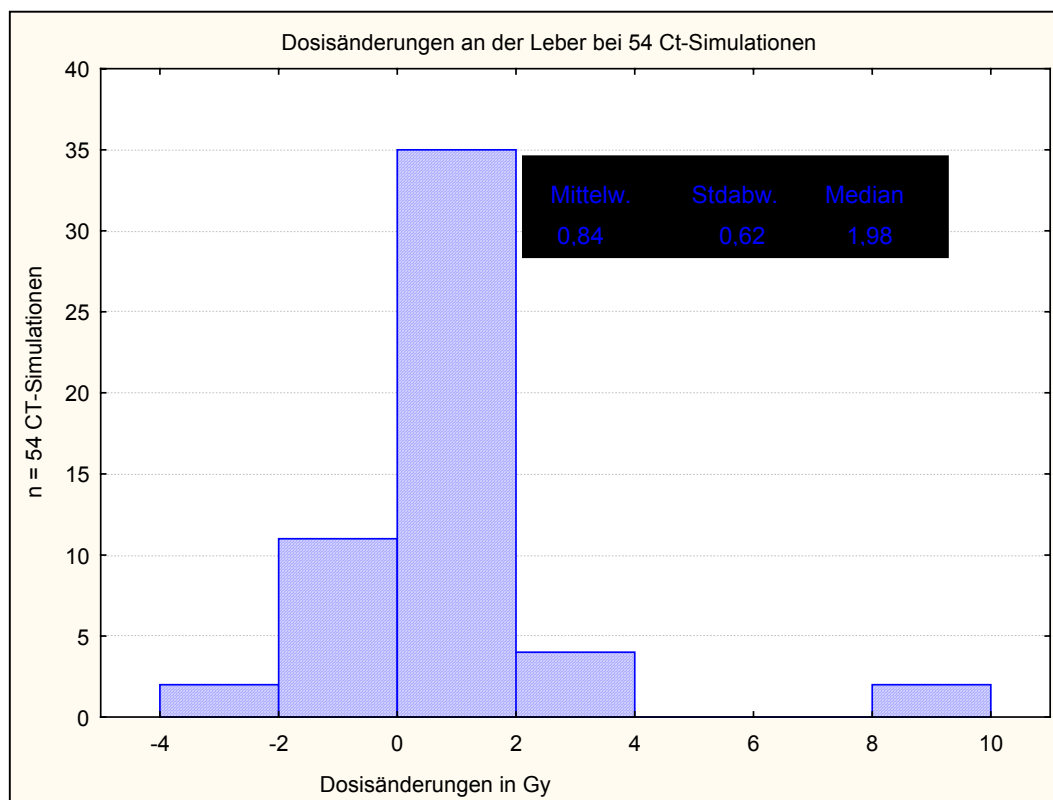


Abb. 6: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 54 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Leber. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 6 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Leber in insgesamt 54 Simulationen. Zusätzlich werden der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen in der Leber angegeben. Bestrahlt wurde wird mit einer Einzeldosis von 10 Gy. Die X-Achse steht für Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy), die Y-Achse für die Anzahl der CT-Simulationen, $n = 54$.

Häufigkeitstabelle Leber				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-4,00<x<=-2,00	2	2	3,70	3,70
-2,00<x<=0,00	11	13	20,37	24,07
0,00<x<=2,00	35	48	64,81	88,89
2,00<x<=4,00	4	52	7,41	96,30
4,00<x<=6,00	0	52	0,00	96,30
6,00<x<=8,00	0	52	0,00	96,30
8,00<x<=10,00	2	54	3,70	100,00

Tab. 14.: Häufigkeitstabelle aller Leber-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 14 werden nun die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen reichten von - 4 Gy bis + 10 Gy, wobei in 13 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung, was einem Anteil von 24 % entspricht. Der größte Anteil der Dosisänderungen liegt zwischen 0 Gy und +2 Gy mit 64,8 %. Die höchste Dosisänderung liegt in der Kategorie + 10 Gy mit 3,7 % der Simulationen.

Risikoorgan Leber					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
cranialer Leberanteil	22	0,42	-2,44	2,68	1,24
mittlerer Leberanteil	18	0,77	-0,35	2,97	0,93
caudaler Leberanteil	14	1,58	-1,50	9,40	3,38
Lebersegment 1	6	0,99	0,71	1,19	0,19
Lebersegment 2	-----				
Lebersegment 3	-----				
Lebersegment 4	5	-0,44	-2,44	2,68	2,08
Lebersegment 5	-----				
Lebersegment 6	18	1,55	-1,50	9,40	3,06
Lebersegment 7	4	0,62	0,00	1,18	0,59
Lebersegment 8	21	0,54	-0,63	1,75	0,71
ZV Darm nah	34	0,92	-2,44	9,40	2,37
ZV peripher in der Leber	-----				
ZV zentral in der Leber	20	0,70	-0,75	2,97	1,08
CTV < 50 cm³	21	1,19	-1,50	9,40	2,81
CTV 50-100 cm³	10	0,89	-0,38	2,68	0,85
CTV >100 cm³	23	0,49	-2,44	2,97	1,31
PTV < 50 cm³	6	0,35	0,08	0,63	0,26
PTV 50-100 cm³	15	1,53	-1,50	9,40	3,29
PTV >100 cm³	33	0,62	-2,44	2,97	1,19

Tab. 15: Änderung der Dosis in der Leber in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Die Tabelle 15 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen in der Leber abhängig sind. Untersucht wird die Lage des ZV in den einzelnen Lebersegmenten sowie im cranialen, mittleren oder caudalen Teil der Leber, und die Größe des CTV und PTV. Die Dosischwankungen in der Leber zwischen Planung und Bestrahlung sind bei Lage des Zielvolumens im caudalen Leberanteil oder im Bereich von Segment 6 am größten. Es kommt zudem zu größeren Dosischwankungen, wenn das Zielvolumen *Darm nah* liegt. Die höchste Dosisänderung liegt bei 9,4 Gy.

3.2.1.4 Niere

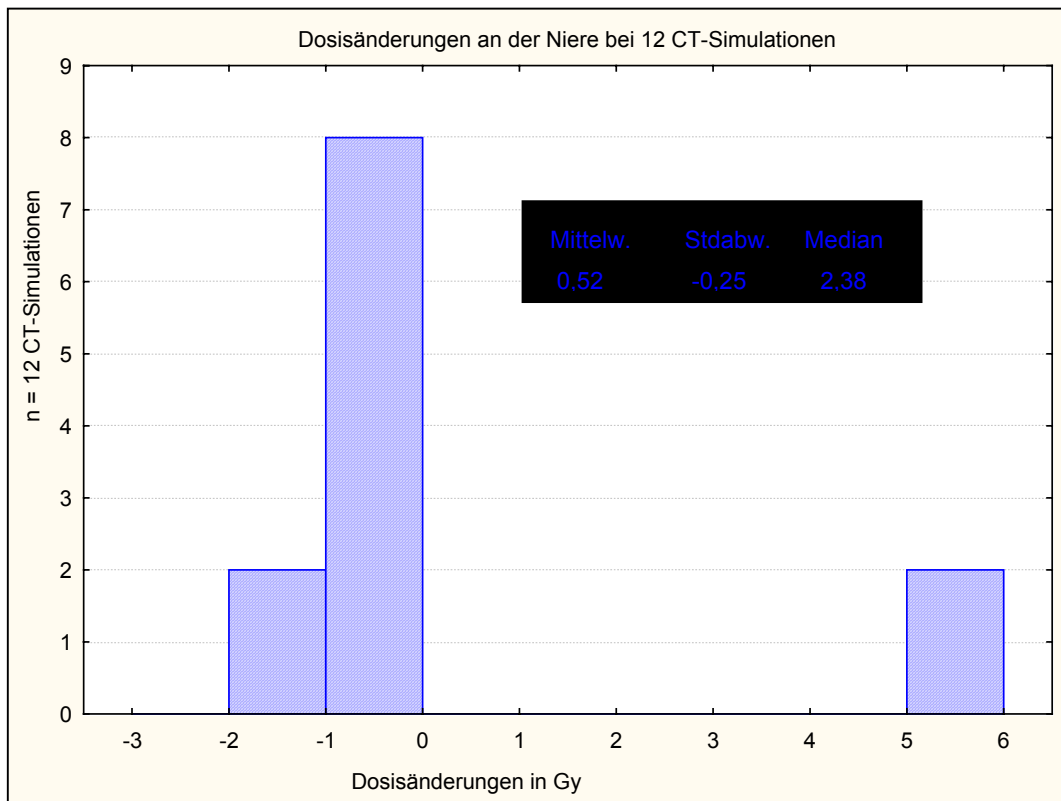


Abb. 7 Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 12 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Niere. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 7 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Niere bei insgesamt 12 Simulationen.

Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen in der Niere angegeben. Die X-Achse steht für Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy), die Y-Achse für die Anzahl der CT-Simulationen ($n = 12$).

Häufigkeitstabelle Niere				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-3,00<x<=-2,00	0	0	0,00	0,00
-2,00<x<=-1,00	2	2	16,67	16,67
-1,00<x<=0,00	8	10	66,67	83,33
0,00<x<=1,00	0	10	0,00	83,33
1,00<x<=2,00	0	10	0,00	83,33
2,00<x<=3,00	0	10	0,00	83,33
3,00<x<=4,00	0	10	0,00	83,33
4,00<x<=5,00	0	10	0,00	83,33
5,00<x<=6,00	2	12	16,67	100,00

Tab. 16: Häufigkeitstabelle aller Nieren-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 16 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen. Die Dosisänderungen reichen von - 2 Gy bis + 6 Gy, wobei in 10 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer ist als bei der Planung, 83,3 % entsprechend. Der überwiegende Anteil aller Änderungen beträgt -1Gy bis 0 Gy , 66,6 %. Die größte Dosisänderung liegt in der Kategorie bis +6 Gy mit einem prozentualen Anteil von 16,6 %.

Risikoorgan Niere					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
cranialer Leberanteil	-----				
mittlerer Leberanteil	3	1,58	-0,40	5,34	3,26
caudaler Leberanteil	9	0,16	-1,50	5,70	2,13
Lebersegment 1	3	1,58	-0,40	5,34	3,26
Lebersegment 2	-----				
Lebersegment 3	-----				
Lebersegment 4	-----				
Lebersegment 5	9	0,16	-1,50	5,70	2,13
Lebersegment 6	-----				
Lebersegment 7	-----				
Lebersegment 8	-----				
ZV Darm nah	12	0,52	-1,50	5,70	2,38
ZV peripher in der Leber	-----				
ZV zentral in der Leber	-----				
CTV < 50 cm³	9	0,16	-1,50	5,70	2,13
CTV 50-100 cm³	-----				
CTV >100 cm³	3	1,58	-0,40	5,34	3,26
PTV < 50 cm³	3	-0,07	-0,20	0,00	0,12
PTV 50-100 cm³	6	0,28	-1,50	5,70	2,69
PTV >100 cm³	3	1,58	-0,40	5,34	3,26

Tab.17: Änderung der Dosis in der Leber in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Die Tabelle 17 stellt dar, von welchen Parametern die Dosisänderungen in der Niere abhängig sind. Untersucht wird die Lage des ZV in den einzelnen Lebersegmenten sowie im cranialen, mittleren oder caudalen Teil der Leber, sowie die Größe des CTV und PTV. Die Dosisschwankungen in der Niere zwischen Planung und Bestrahlung sind bei Lage des Zielvolumens im mittlerem Leberanteil oder im Bereich von Segment 1 am größten. Die Dosisschwankungen sind größer, je größer auch das CTV und PTV sind. Die höchste Dosisänderung liegt bei 5,7 Gy.

3.3 Lunge

3.3.1 Dosisänderungen an Lunge, Herz, Trachea, Ösophagus und Spinalkanal

3.3.1.1 Linke Lunge

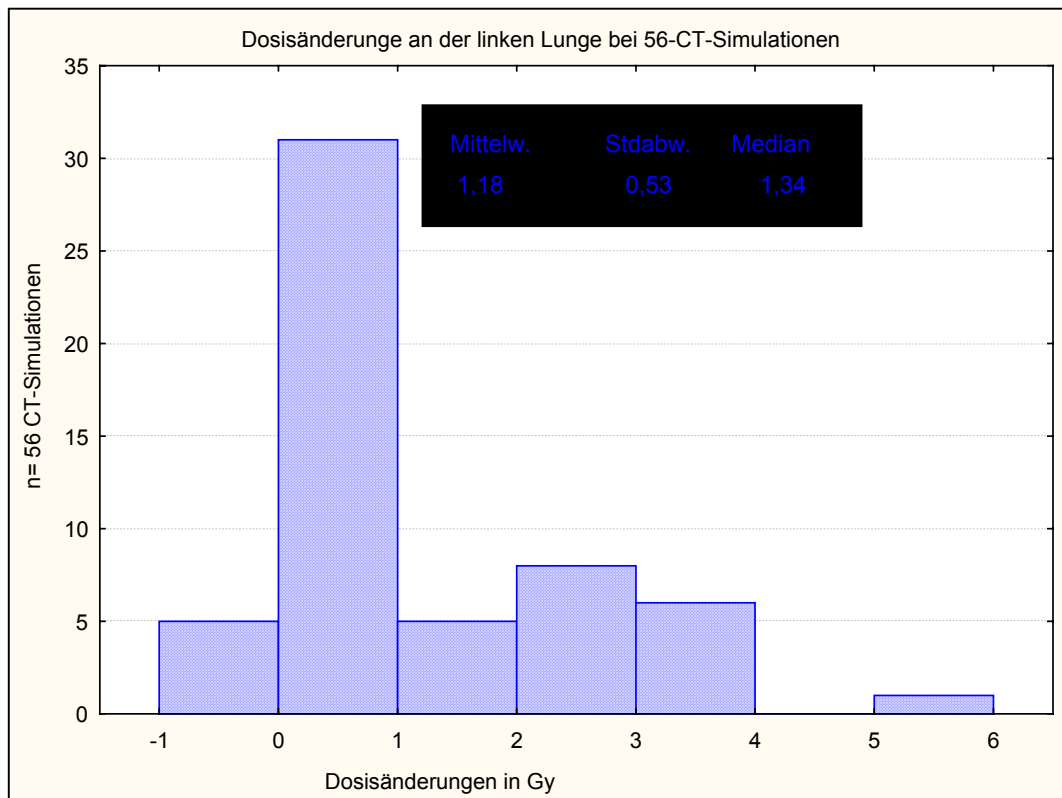


Abb. 8: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 56 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans linke Lunge. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 8 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen im Risikoorgan linke Lunge bei insgesamt 56 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen in der linken Lunge angegeben. Bestrahlt wurde mit jeweils 10 Gy. Die X-Achse beschreibt Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy), die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen (n=56).

Häufigkeitstabelle linke Lunge				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-1,00<x<=0,00	5	5	8,93	8,93
0,00<x<=1,00	31	36	55,36	64,29
1,00<x<=2,00	5	41	8,923	73,21
2,00<x<=3,00	8	49	14,29	87,50
3,00<x<=4,00	6	55	10,71	98,21
4,00<x<=5,00	0	55	0,00	98,21
5,00<x<=6,00	1	56	1,79	100,00

Tab. 18: Häufigkeitstabelle aller Simulationen linke Lunge anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 18 werden nun die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen in der linken Lunge reichen von – 1 Gy bis + 6Gy, wobei der überwiegende Anteil der Dosisänderungen zwischen – 0 Gy und + 1 Gy liegt (31 Simulationen = 55,3 %). In 5 Fällen (entspricht 8,9 %) ist die Dosis bei der Bestrahlung niedriger als bei der Planung. Die höchste Dosisänderung beträgt + 5 Gy bei einem prozentualen Anteil von 1,7 %.

Risikoorgan linke Lunge					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Oberlappen	32	1,42	-0,37	5,71	1,49
Unterbappen	21	0,92	0,00	3,49	1,14
Mittellappen	-----				
mediastinal nah	11	0,36	0,08	0,53	0,16
thoraxwand nah	18	1,76	0,05	5,71	1,66
zentral in der Lunge/mobil	27	1,13	-0,37	3,49	1,22
Radiatio ohne BP	37	1,02	-0,37	5,71	1,44
Radiatio mit BP	19	1,51	0,00	3,49	1,10
CTV < 50 cm³	24	0,84	-0,37	2,92	1,02
CTV 50-100 cm³	14	0,93	0,00	3,49	1,28
CTV >100 cm³	18	1,84	0,24	5,71	1,59
PTV < 50 cm³	12	0,25	-0,37	0,85	0,38
PTV 50-100 cm³	12	1,43	0,31	2,92	1,13
PTV >100 cm³	32	1,44	0,00	5,71	1,51

Tab. 19: Änderung der Dosis in der linken Lunge in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Die Tabelle 19 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen in der linken Lunge bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind.

In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter- oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird. Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben.

In der linken Lunge sind die Dosisänderungen im Oberlappen größer als im Unterlappen, ebenso wenn das Zielvolumen *Thoraxwand nah* liegt und keine Bauchpresse angewandt wird.

Die Dosischwankungen sind größer, je größer auch das CTV und PTV sind. Die höchste Dosisänderung ist liegt bei 5,71 Gy.

3.3.1.2 Rechte Lunge

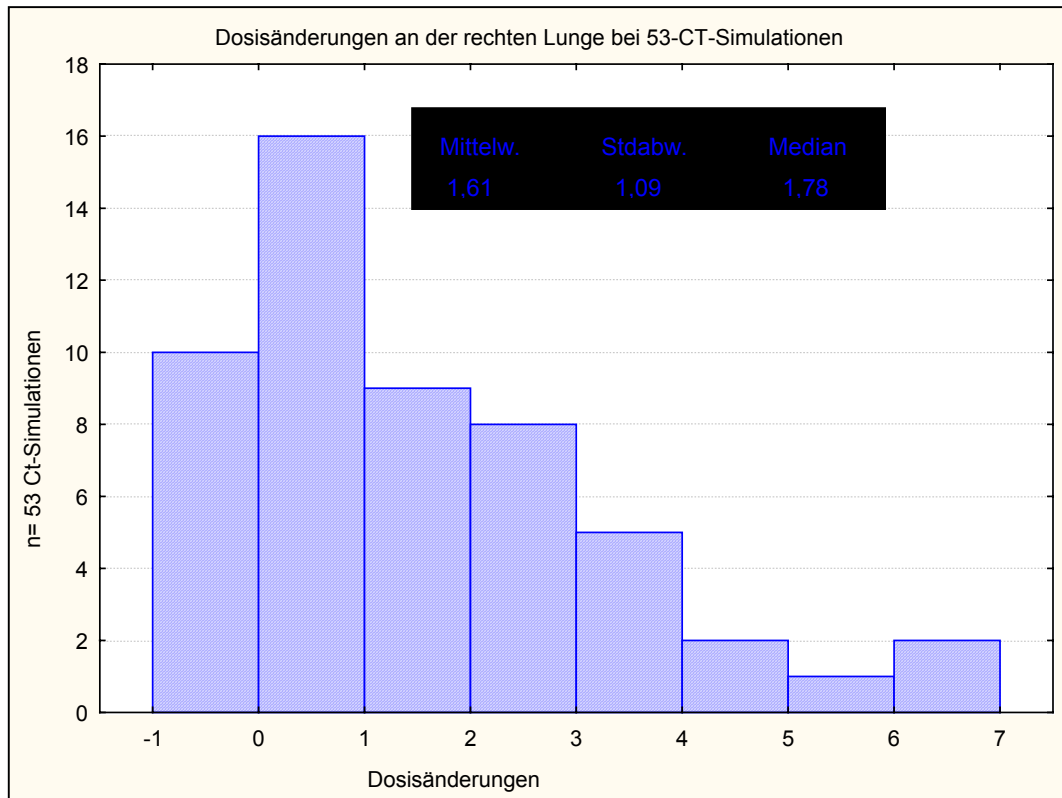


Abb. 9: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 53 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans rechte Lunge. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 9 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan rechte Lunge in insgesamt 53 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen in der rechten Lunge angegeben. Die X-Achse beschreibt Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen (Angabe in Gy), die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen (n=53).

Häufigkeitstabelle rechte Lunge				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-1,00<x<=0,00	10	10	18,87	18,87
0,00<x<=1,00	16	26	30,19	49,06
1,00<x<=2,00	9	35	16,98	66,04
2,00<x<=3,00	8	43	15,09	81,13
3,00<x<=4,00	5	48	9,43	90,57
4,00<x<=5,00	2	50	3,77	94,34
5,00<x<=6,00	1	51	1,89	96,23
6,00<x<=7,00	2	53	3,77	100,00

Tab. 20: Häufigkeitstabelle aller Simulationen rechte Lunge anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 20 werden nun die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen im Bereich der rechten Lunge reichen von – 1 Gy bis + 7 Gy. In 10 Fällen (18,8 %) liegt die Dosis bei der Bestrahlung unter der Dosis der Planung. Der größte Anteil aller Dosisänderungen in der rechten Lunge liegt zwischen 0 Gy und 1 Gy in 16 Fällen (30,1 %) und die höchste Dosisänderung beträgt +7 Gy in 2 Fällen (3,7 %).

Risikoorgan rechte Lunge					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Oberlappen	29	1,53	-0,16	6,05	1,63
Unterblassen	21	1,10	0,00	3,10	1,18
Mittellappen	3	5,90	5,00	6,70	0,85
mediastinal nah	11	3,45	0,36	6,70	1,82
thoraxwand nah	18	1,27	0,22	2,88	0,95
zentral in der Lunge/mobil	24	1,02	-0,16	6,05	1,73
Radiatio ohne BP	36	1,54	-0,16	6,05	1,52
Radiatio mit BP	17	1,74	0,00	6,70	2,27
CTV < 50 cm³	21	1,00	-0,16	4,47	1,23
CTV 50-100 cm³	14	1,46	0,00	6,05	2,00
CTV >100 cm³	18	2,43	0,22	6,70	1,91
PTV < 50 cm³	12	0,71	-0,16	2,32	0,93
PTV 50-100 cm³	9	1,40	0,00	4,47	1,52
PTV >100 cm³	32	2,01	0,00	6,70	1,98

Tab. 21: Änderung der Dosis in der rechten Lunge in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Tabelle 21 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen in der rechten Lunge bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind. In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter-, oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird. Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben. In der rechten Lunge sind die Dosisänderungen im Oberlappen größer als im Unterlappen und Mittellappen, ebenso wenn das Zielvolumen *Thoraxwand* oder *mediastinal nah* liegt. Die Dosischwankungen sind größer, je größer das PTV ist und wenn eine Bauchpresse eingesetzt wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 6,7 Gy.

3.3.1.3 Herz

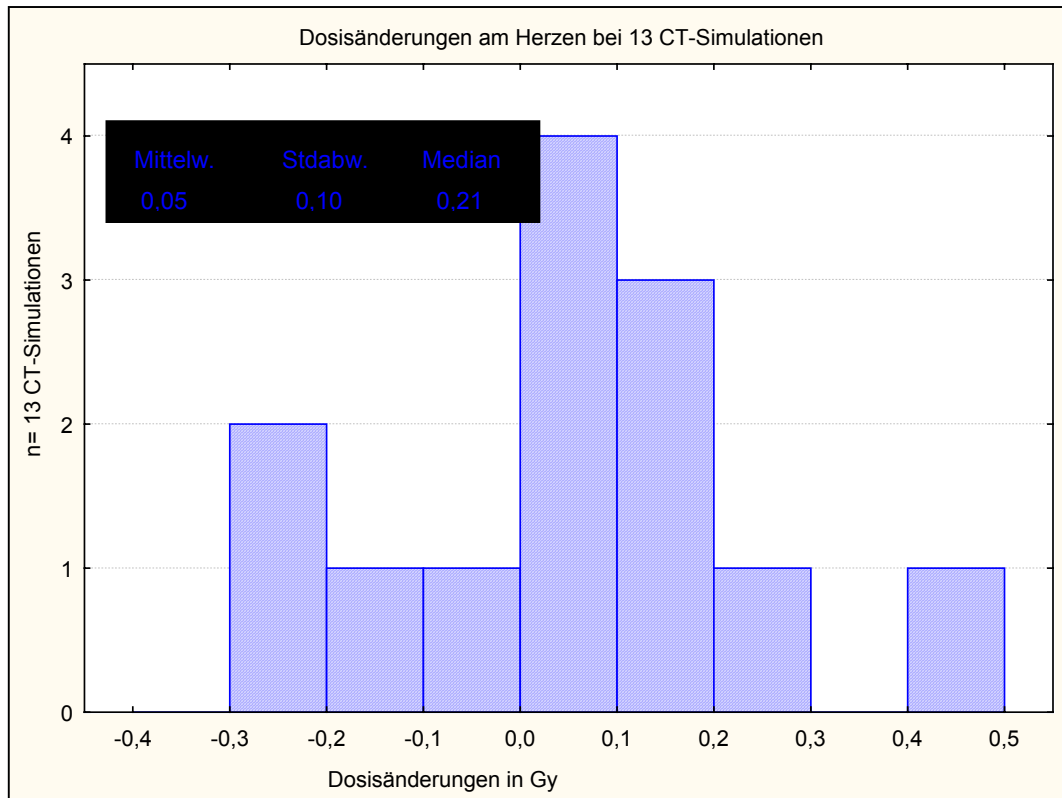


Abb. 10: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 13 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Herz. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 10 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Herz in insgesamt 13 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen im Herz angegeben, bestrahlt wird mit einer Dosis von 10 Gy. Die X-Achse beschreibt die Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen mit Angabe in Gy, die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen, hier n= 13 CT-Simulationen.

Häufigkeitstabelle Herz				
	Häufigkeit	Summen-	% glt.	Kumul %
-0,40<x<=-0,30	0	0	0,00	0,00
-0,30<x<=-0,20	2	2	15,38	15,38
-0,20<x<=-0,10	1	3	7,69	23,08
-0,10<x<=0,00	1	4	7,69	30,77
0,00<x<=0,10	4	8	30,77	61,54
0,10<x<=0,20	3	11	23,08	84,62
0,20<x<=0,30	1	12	7,69	92,31
0,30<x<=0,40	0	12	0,00	92,31
0,40<x<=0,50	1	13	7,69	100,00

Tab. 22: Häufigkeitstabelle aller Herz-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 22 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in sogenannten Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen im Herzen reichen von $-0,4$ Gy bis $+0,5$ Gy, wobei der größte Anteil zwischen 0 Gy und $+0,1$ Gy liegt (30,7 %). Die höchste Dosisänderung beträgt $+0,5$ Gy (7,6 % der Fälle). Bei 30,7 % der CT-Simulationen ist die Dosis bei der Bestrahlung geringer als bei der Planung.

Risikoorgan Herz					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Oberlappen	3	0,08	0,02	0,11	0,05
Unterbappen	8	-0,04	-0,27	0,14	0,17
Mittellappen	2	0,37	0,25	0,49	0,17
mediastinal nah	2	0,37	0,25	0,49	0,17
thoraxwand nah	3	0,00	-0,19	0,10	0,17
zentral in der Lunge/mobil	8	-0,02	-0,27	0,14	0,17
Radiatio ohne BP	-----				
Radiatio mit BP	13	0,05	-0,27	0,49	0,21
CTV < 50 cm³	3	0,08	0,02	0,11	0,05
CTV 50-100 cm³	5	-0,07	-0,27	0,14	0,19
CTV >100 cm³	5	0,15	-0,19	0,49	0,25
PTV < 50 cm³	-----				
	3	0,08	0,02	0,11	0,05
PTV >100 cm³	10	0,04	-0,27	0,49	0,24

Tab. 23: Änderung der Dosis im Herzen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Tabelle 23 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen am Herzen bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind. In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter- oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird. Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben. Am Herzen sind die Dosisänderungen geringer, wenn das ZV im Oberlappen liegt Sie steigen an, je größer das CTV und PTV sind und wenn mit Bauchpresse bestrahlt wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 0,49 Gy.

3.3.1.4 Ösophagus

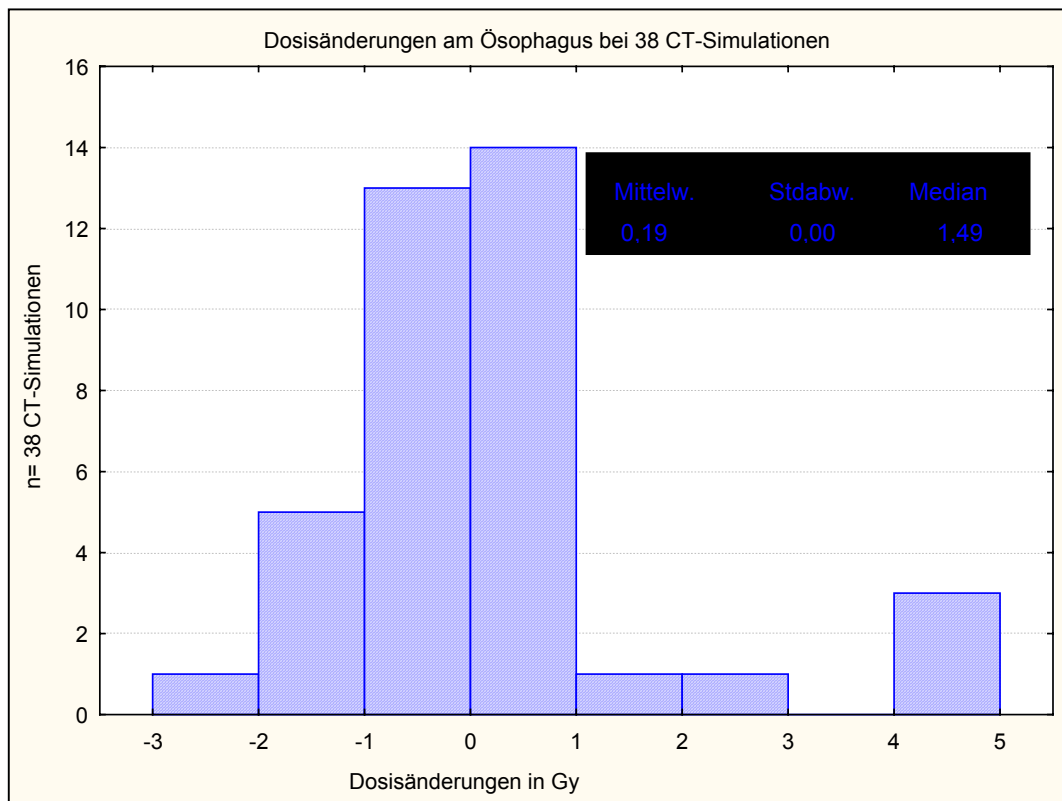


Abb. 11: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 38 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Ösophagus. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 11 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen beim Risikoorgan Ösophagus in insgesamt 38 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen im Ösophagus angegeben. Die X-Achse beschreibt die Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen mit Angabe in Gy, die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen, hier n= 38.

Häufigkeitstabelle Ösophagus				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-3,00<x<=-2,00	1	1	2,63	2,63
-2,00<x<=-1,00	5	6	13,16	15,79
-1,00<x<=0,00	13	19	34,21	50,00
0,00<x<=1,00	14	33	36,84	86,84
1,00<x<=2,00	1	34	2,63	89,47
2,00<x<=3,00	1	35	2,63	92,10
3,00<x<=4,00	0	35	0,00	92,10
4,00<x<=5,00	3	38	7,89	100,00

Tab. 24: Häufigkeitstabelle aller Ösophagus-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 24 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen.

Die Dosisänderungen im Ösophagus reichen von – 3 Gy bis +5 Gy, wobei in 19 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer ist als bei der Planung, das entspricht einem Anteil von 50 %. Der größte Anteil der Fälle liegt bei Dosisänderungen um + 1 Gy entsprechend einem prozentualen Anteil von 34,2 %. Die höchste Dosisänderung liegt in der Kategorie +5 Gy mit 7,8 % der Fälle.

Tabelle 25 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Ösophagus bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind. In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter- oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird.

Risikoorgan Ösophagus					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Oberlappen	24	0,44	-2,01	4,77	1,81
Unterblassen	11	-0,30	-1,16	0,25	0,50
Mittellappen	3	-0,02	-0,49	0,24	0,41
mediastinal nah	8	-0,20	-1,62	0,35	0,63
Thoraxwand nah	13	0,75	-1,16	4,77	2,14
zentral in der Lunge/mobil	17	-0,06	-2,01	2,46	1,06
Radiatio ohne BP	28	0,48	-1,62	4,77	1,58
Radiatio mit BP	10	-0,60	-2,01	0,24	0,83
CTV < 50 cm³	15	-0,05	-2,01	2,46	1,12
CTV 50-100 cm³	8	-0,39	-1,16	0,13	0,49
CTV >100 cm³	15	0,74	-1,62	4,77	1,98
PTV < 50 cm³	4	0,07	-0,14	0,25	0,18
PTV 50-100 cm³	11	-0,09	-2,01	2,46	1,32
PTV >100 cm³	23	0,35	-1,62	4,77	1,69

Tab. 25: Änderung der Dosis im Ösophagus in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben. Im Ösophagus sind die Dosisänderungen deutlicher, wenn das ZV im Oberlappen oder *Thoraxwand nah* liegt. Sie steigen auch an, je größer das CTV und PTV sind und ohne Bauchpresse bestrahlt wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 4,77 Gy.

3.3.1.5 Trachea

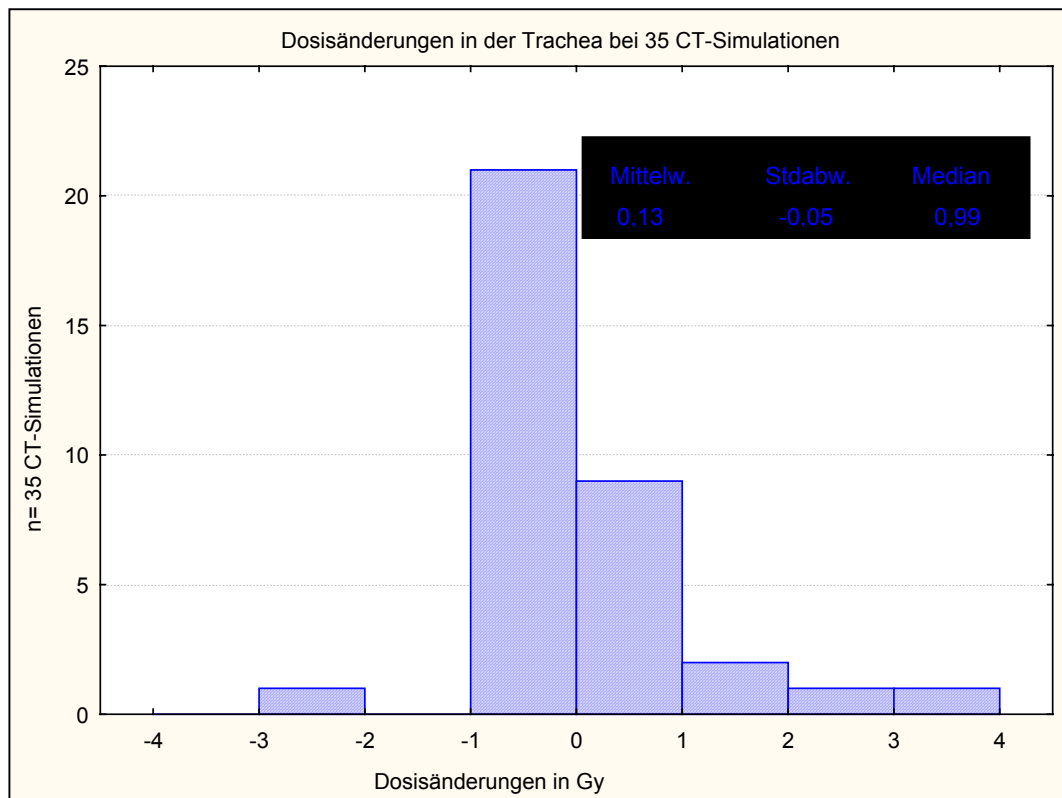


Abb. 12 Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 35 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Trachea. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 12 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Trachea in insgesamt 35 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen in der Trachea angegeben. Dabei beschreibt die X-Achse die Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen mit Angabe in Gy, die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen, hier $n = 35$.

In Tabelle 26 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen entsprechen. Die Dosisänderungen in der Trachea reichen von -4 Gy bis $+4$ Gy.

Häufigkeitstabelle Trachea				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
-4,00<x<=-3,00	0	0	0,00	0,00
-3,00<x<=-2,00	1	1	2,86	2,86
-2,00<x<=-1,00	0	1	0,00	2,86
-1,00<x<=0,00	21	22	60,00	62,86
0,00<x<=1,00	9	31	25,71	88,57
1,00<x<=2,00	2	33	5,71	94,29
2,00<x<=3,00	1	34	2,86	97,14
3,00<x<=4,00	1	35	2,86	100,00

Tab. 26: Häufigkeitstabelle aller Trachea-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

Der größte Anteil der Dosisänderungen liegt in der Trachea zwischen – 1 Gy und 0 Gy, 60 % entsprechend. Bei 22 CT-Simulationen liegt die Dosis bei Bestrahlung unterhalb der Planungsdosis des Risikoorgans Ösophagus (entspricht 62,8 %). Die höchste Dosisänderung ist in der Kategorie zwischen +3 Gy und +4 Gy in 2,8 % der Fälle.

Risikoorgan Trachea					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabweichung
Oberlappen	29	0,08	-2,73	3,67	1,04
Untere Lappen	6	0,37	-0,41	1,20	0,73
Mittellappen	-----				
mediastinal nah	6	1,28	0,00	3,67	1,47
Thoraxwand nah	12	0,11	-0,50	1,20	0,59
zentral in der Lunge/mobil	17	-0,26	-2,73	0,60	0,72
Radiatio ohne BP	32	0,16	-2,73	3,67	1,03
Radiatio mit BP	3	-0,23	-0,41	-0,10	0,16
CTV < 50 cm ³	18	0,46	-0,90	3,67	1,13
CTV 50-100 cm ³	8	-0,39	-2,73	0,29	0,98
CTV >100 cm ³	9	-0,07	-0,50	0,30	0,27
PTV < 50 cm ³	9	0,24	-0,41	1,20	0,62
PTV 50-100 cm ³	9	0,68	-0,90	3,67	1,49
PTV >100 cm ³	17	-0,22	-2,73	0,30	0,70

Tab. 27: Änderung der Dosis in der Trachea in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Tabelle 27 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen in der Trachea bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind. In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter- oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird. Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben.

In der Trachea sind die Dosisänderungen deutlicher, wenn das ZV im Oberlappen oder *mediastinal nah* liegt. Sie steigen auch an, wenn ohne Bauchpresse bestrahlt wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 1,47 Gy.

3.3.1.6 Spinalkanal

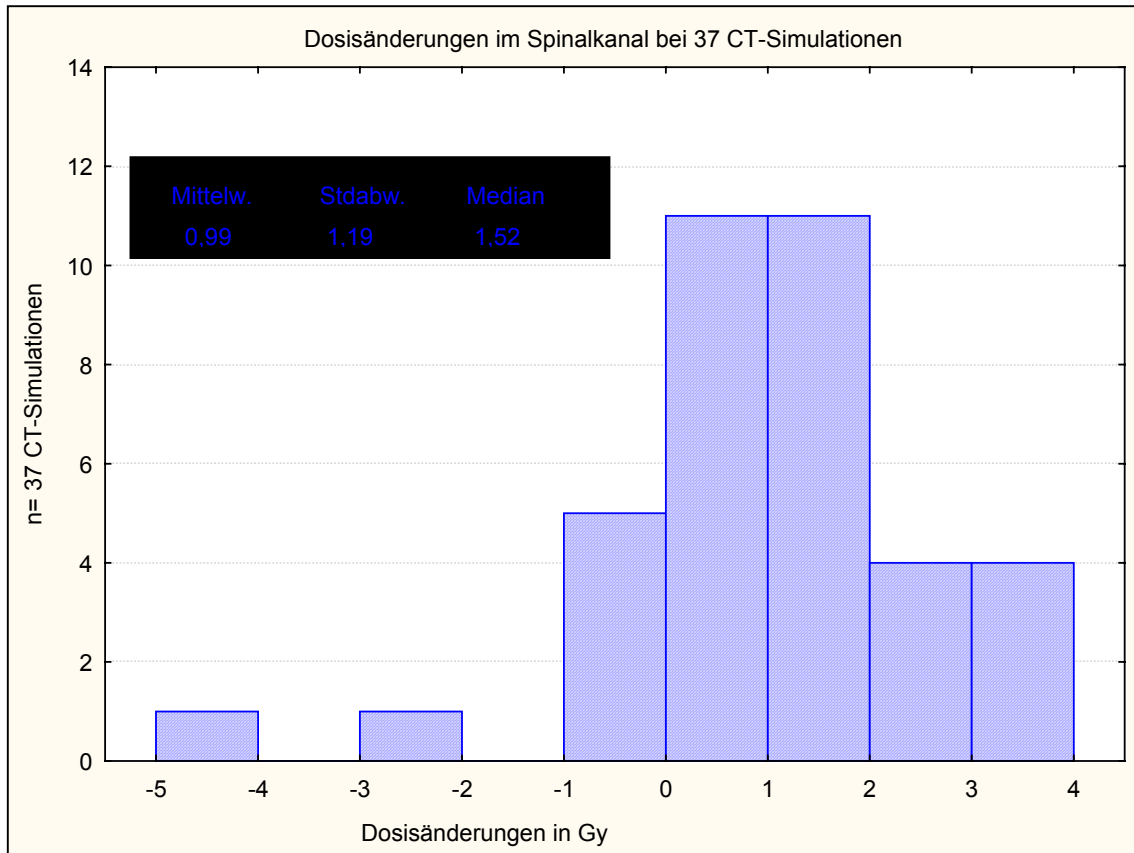


Abb. 13: Darstellung der Dosisänderung zwischen Planung und Simulation bei 37 CT-Simulationen in Gy im Bereich des Risikoorgans Spinalkanal. Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und Median.

Abbildung 13 demonstriert in Form eines Histogramms die Häufigkeitsverteilung der Dosisänderungen bei dem Risikoorgan Spinalkanal in insgesamt 37 Simulationen. Zusätzlich werden im Histogramm der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Median aller Dosisänderungen im Spinalkanal angegeben. Dabei beschreibt die X-Achse die Dosisänderungen zwischen Planung und CT-Simulationen mit Angabe in Gy, die Y-Achse die Anzahl der CT-Simulationen, hier $n=37$.

Häufigkeitstabelle Spinalkanal				
	Häufigkeit	Summen	% glt.	Kumul %
$-5,00 < x \leq -4,00$	1	1	2,70	2,70
$-4,00 < x \leq -3,00$	0	1	0,00	2,70
$-3,00 < x \leq -2,00$	1	2	2,70	5,41
$-2,00 < x \leq -1,00$	0	2	0,00	5,41
$-1,00 < x \leq 0,00$	5	7	13,51	18,92
$0,00 < x \leq 1,00$	11	18	29,73	48,65
$1,00 < x \leq 2,00$	11	29	29,73	78,38
$2,00 < x \leq 3,00$	4	33	10,81	89,19
$3,00 < x \leq 4,00$	4	37	10,81	100,00

Tab. 28: Häufigkeitstabelle aller Spinalkanal-Simulationen anhand festgelegter Kategorien. Angaben absolut und in Prozent.

In Tabelle 28 werden die Häufigkeiten der Dosisänderungen in Gy in Kategorien dargestellt, wobei die angegebenen Kategorien den Gy-Veränderungen im Risikoorgan entsprechen. Die Dosisänderungen reichten von – 5 Gy bis + 4 Gy, wobei in 7 Fällen die Dosis bei der Simulation geringer war als bei der Planung, entsprechend einem Anteil von 18,9 %. Der größte Anteil der Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung reicht von 0 Gy und + 1 Gy in 11 Fällen (29,7 %). Die größte Dosisänderung beträgt + 4 Gy in 10,8 % der Fälle.

Tabelle 29 verdeutlicht, von welchen Parametern die Dosisänderungen im Spinalkanal bei der stereotaktischen Bestrahlung abhängig sind. In der Lunge wird unterschieden, ob das Zielvolumen im Ober-, Unter- oder Mittellappen liegt. Zusätzlich wird unterschieden nach der topographischen Lage des Zielvolumens und ob mit oder ohne Einsatz einer Bauchpresse zur Reduzierung der Lungenbeweglichkeit durch die Atmung bestrahlt wird.

Risikoorgan Spinalkanal					
ZV-Lage	Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard- abweichung
Oberlappen	19	1,61	-0,14	3,91	1,30
Unterbappen	18	0,34	-4,11	2,14	1,49
Mittellappen	0				
mediastinal nah	8	1,07	0,36	1,44	0,40
Thoraxwand nah	16	1,42	-0,08	3,91	1,38
zentral in der Lunge/mobil	13	0,42	-4,11	3,40	1,97
Radiatio ohne BP	26	1,24	-0,32	3,91	1,28
Radiatio mit BP	11	0,40	-4,11	2,01	1,91
CTV < 50 cm³	12	1,16	-0,32	2,14	0,88
CTV 50-100 cm³	11	0,26	-4,11	3,40	2,01
CTV >100 cm³	14	1,43	-0,08	3,91	1,40
PTV < 50 cm³	9	1,09	-0,32	2,14	1,02
PTV 50-100 cm³	3	1,36	1,31	1,44	0,07
PTV >100 cm³	25	0,92	-4,11	3,91	1,76

Tab. 29: Änderung der Dosis im Spinalkanal in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern.

Außerdem wird untersucht, ob die Größe des CTV und PTV einen Einfluß auf die Dosisänderungen im Risikoorgan haben. Im Spinalkanal sind die Dosisänderungen deutlicher, wenn das ZV im Unterlappen oder *zentral im Lungengewebe* liegt. Sie steigen auch an, wenn mit Bauchpresse bestrahlt wird. Die höchste Dosisänderung liegt bei 3,91 Gy.

4. Diskussion

Obwohl die extracranielle stereotaktische Bestrahlung in vielen Kliniken eingesetzt wird [1-6, 8-10, 12, 13], sind bisher nur wenige klinische Ergebnisse bezogen auf das Zielvolumen und insbesondere auf die das Zielvolumen umgebenden Risikoorgane erhoben worden. Klinische Ergebnisse wurden von Blomgren et al. [1, 2] bezogen auf das Zielvolumen in Lunge und Leber veröffentlicht, ebenso von Nakagawa [3], Uematsu et al. [4], Wulf et al. [10,14] und Herfarth et al. [5,6]. In dieser Arbeit wurde die Reproduzierbarkeit von unterschiedlichen Risikoorganen bei der konformalen stereotaktischen Bestrahlung außerhalb des Schädels untersucht. Erreicht wurde eine möglichst gute Reproduzierbarkeit sowohl des Targets als auch die der Risikoorgane durch die Anwendung der Body-Frame-Technik. Das System, das verwendet wurde, stammt von Blomgren und Lax [1, 2, 8, 9] und wurde am Karolinska Hospital in Stockholm entwickelt. Die Reproduzierbarkeit des Zielvolumens und damit Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung im relevanten Dosisbereich wurden bereits von Wulf et al. in Würzburg untersucht [14]. Die vorliegende Arbeit untersucht nun die Reproduzierbarkeit der Dosisverteilung zwischen Planung und Bestrahlungen und damit die Dosisänderung an den Risikoorganen. Dabei wurden Risikoorgane bei Zielvolumina im Bereich des Beckens, in der Leber und in der Lunge beobachtet.

Im Gegensatz zur intracraniellen stereotaktischen Bestrahlung muß bei der extracraniellen stereotaktischen Bestrahlung nicht nur auf eine möglichst genaue Reproduzierbarkeit des Patienten und damit des Targets geachtet werden, sondern auch auf die Eigenbeweglichkeit des Targets und auch die Eigenbeweglichkeit der Risikoorgane. Schließlich liegt bei der Hochdosisbestrahlung das Ziel in der Nekrosebildung des Zielvolumens bei gleichzeitiger Schonung der Risikoorgane. Es ist daher nötig, genau zu prüfen, ob die Hochdosis tatsächlich nur das Zielvolumen erfasst und mit welchen Dosen die Risikoorgane dabei belastet werden, falls die geplante hohe Einzeldosis nicht ausschließlich im Target appliziert werden kann.

Die Reproduzierbarkeit des Patienten hängt unter anderem von dessen Statur, von seiner Atemfunktionsfähigkeit oder von Schmerzen ab. Die Beweglichkeit der Risikoorgane hängt von der Lokalisation im Körper ab. Dies bedeutet: befindet sich das Target in der Leber oder im unteren Lungenbereich besteht eine größere Mobilität der Risikoorgane als bei Lage des Targets im oberen Thoraxbereich oder bei Adhäsion des Targets an der Thoraxwand oder am Mediastinum.

Die Atembeweglichkeit der Risikoorgane hängt entscheidend von der individuellen Atemfunktion des Patienten ab. Ebenso darf nicht außer acht gelassen werden, dass es bei Risikoorganen wie Magen, Dünndarm oder Blase zu unterschiedlichen Füllungszuständen bei der Planung und somit auch jeder Bestrahlung kommen kann.

Aus diesen Gründen sollte grundsätzlich beachtet werden, die Patienten bei der Planung definitiv zu lagern, die Lagerung reproduzierbar zu dokumentieren und vor jeder Bestrahlung eine CT-Simulation durchzuführen. Nur mit diesem Vorgehen sollte eine möglichst optimale Reproduzierbarkeit auch an den Risikoorganen und damit geringe Dosisänderung zwischen Planung und Bestrahlung zu erzielen sein.

In dieser Arbeit wurden gemäß den Ergebnissen von Wulf [10] Abweichungen des Targets in der Longitudinalen, anterior-posterior und lateral von 3,5, 2,2 und 3,9 mm akzeptiert.

Die Durchführung einer CT-Kontrolle vor jeder Bestrahlung gewährleistet zum einen eine verlässliche Überprüfung der Lagerung. Zum anderen ist so die Möglichkeit gegeben, durch einen Vergleich mit digitalen Radiographien noch vor Durchführung der CT eine Korrektur vorzunehmen. Herfarth berichtete zu dieser Fragestellung [6, 15, 16] von einer medianen Reproduzierbarkeit von 1,8 mm lateral, 2 mm anterior-posterior und weniger als 5 mm in der Longitudinalen bei der stereotaktischen Leberbestrahlung. Blomgren und Lax beschrieben Abweichungen in 98 % der Fälle von weniger als 5 mm in der lateralen Richtung und in 96 % der Fälle von weniger als 8 mm in der Longitudinalen [1, 2, 8, 9].

Viele Studien haben sich bereits mit der Organmobilität beschäftigt: Die Atembeweglichkeit von Targets in der Lunge und im Bereich des Zwerchfells mit Einfluß auf die Beweglichkeit der Leber wurde untersucht und mit 10 bis 19 mm angegeben [17, 18, 19]. Das Organ Niere zeigt hingegen eine Beweglichkeit von bis zu 43 mm [20]. Im Bereich der Prostata soll es zu Organbewegungen zwischen 2,5 und 5,4 mm kommen [21-25] und bei der Blase zu Bewegungen von mehr als 15 mm [26].

In Kenntnis der unterschiedlichen Organbewegungen wurden in der Vergangenheit verschiedene Wege beschritten, die Mobilität der Zielorgane - aber auch der Risikoorgane - zu reduzieren.

Im Bereich der Lunge und Leber wurde in einigen Arbeiten durch die Anwendung von Oxygen-Masken die Atembeweglichkeit erfolgreich reduziert [4]. Herfarth benutzte zur Reduktion der Atembeweglichkeit eine Jet-Ventilation und erreichte damit nicht nur bei der stereotaktischen Einzeitbestrahlung im Bereich der Lunge eine verbesserte Dosisverteilung, sondern auch durch die damit verbundene Erhöhung des intraabdominellen Drucks eine verbesserte Dosisverteilung bei Targets im Bereich der Leber. Er berichtet bei der Leberbestrahlung von Abweichungen von weniger als 5 mm und einer medianen Zwerchfellbewegung von nur 7 mm [6, 16]. Eine weitere Technik zur Einschränkung der Organbeweglichkeit ist die Technik von Wong, der eine aktive Atemkontrolle (von Wong als ABC = Active Breath Control bezeichnet) entwickelte. Die ABC reduzierte die Targetmobilität in der Lunge und in der Leber auf nur 1 mm innerhalb einer Atemphase und 4 mm außerhalb derselben Atemphase [27].

Der radiobiologische Effekt durch die Verminderung der Organbewegungen durch die aufgeführten Methoden wurde von Ten Haken analysiert. Ten Haken errechnete, dass eine PTV-Reduzierung in der Leber auf 10 bis 20 mm im Durchmesser aufgrund einer guten Reproduzierbarkeit des Targets durch bessere Atemkontrolle eine höhere Toleranzdosis von 6 - 8 Gy und eine durchschnittlich bessere Tumorkontrollrate um 6 - 7 % zur Folge hatte [28].

Daher muß besonders bei der hypofraktionierten extracraniellen stereotaktischen Bestrahlung auf mögliche Organbewegungen und damit

Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung geachtet werden. Selbstverständlich muß bei fraktionierten Vorgehen auch von Bestrahlung zu Bestrahlung die Reproduzierbarkeit der Organbewegungen gefordert werden.

Bisher konzentrierten sich die Untersuchungen auf die Beweglichkeit des Zielorgans als wichtigster Parameter. In dieser Arbeit lag das Interesse nun bei den Risikoorganen im Thorax, Leber und Becken, da zwar im Bereich des Zielvolumens eine Nekrose gewünscht wird, nicht aber im Bereich der Risikoorgane.

Es wurden die Dosisänderungen aller Risikoorgane ermittelt, wobei sich die Dosisänderungen bei den Hohlorganen / seriellen Organen auf ein 5cm³-Volumen und bei den Festorganen / parallelen Organen auf den 50%-Dosis-Level bezogen. In der Arbeit wurden zudem bestimmte Parameter wie die anatomische und topographische Lage des Zielvolumens, die Größe des CTV und des PTV, die unterschiedlichen Lebersegmente und der Einsatz einer Bauchpresse und definierten Blasenfüllung hinsichtlich ihres Einflusses auf die Dosisänderungen an den Risikoorganen untersucht. Die Angaben der Dosisänderungen sind aus den in der Statistik erworbenen Kategorien errechnet. Es handelt sich also nicht um absolute Zahlen. Die Aussagekraft der ausgewerteten Daten bei jedem Risikoorgan ist unterschiedlich und hängt von der Anzahl der CT-Simulationen ab. Die Dosisänderungen der Risikoorgane bei der stereotaktischen Bestrahlung in der Lunge beziehen sich auf die jeweilige Lunge, die bestrahlt wurde.

Im Bereich der *stereotaktischen Bestrahlung des Beckens* kommt es in unserer Untersuchung in den untersuchten Risikoorganen Blase, Dünndarm, Rektum zu Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung von – 9 Gy bis + 7 Gy.

In der Blase liegt die Dosisänderung zwischen – 8 Gy bis + 6 Gy. Die Mehrheit der CT-Simulationen (34,8% der Fälle) in der Blase liegen bei einer Dosisänderung von – 1 Gy und 0 Gy im Vergleich zur Planungsdosis. Im Bereich der Blase liegt die höchste Dosisänderung Bestrahlung zur Planung bei immerhin + 6 Gy (entspricht 2,3 % der Fälle).

Bezogen auf bestimmte Parameter wie die anatomische Lage, einer definierten Blasenfüllung, dem CTV und PTV sind die größten Dosischwankungen bei

Lage des Zielvolumens in der Nähe des Scheidenstumpfes und bei einer definierten Blasenfüllung von 150 ml zu finden. Die höchsten Dosisänderungen mit 5,39 Gy treten auf, wenn das ZV ventral des Sacrums liegt. Ist die Blase definiert gefüllt, ist ihre Mobilität deutlich reduziert, so dass eine höhere Dosis stärker zum Tragen kommt. Liegt das Zielvolumen ventral des Sacrums, ist es oft mit diesem verwachsen und zeichnet sich durch eine kleinere Mobilität aus. Daher kann es hier vereinzelt zu hohen Dosisänderungen bei der Bestrahlung kommen. Liegt das ZV im Bereich des Scheidenstumpfes, ist es deutlich flexibler. Es kommt so zu größeren Dosischwankungen als bei Zielvolumenlage ventral des Sacrums. Liegt das Zielvolumen im Bereich der Beckenwand, ist die Dosisänderung im Risikoorgan Blase am geringsten: Das liegt zum einem an der geringeren Mobilität des ZV, da es am Knochen fixiert ist. Zum anderen verändert sich der Abstand zwischen Blase und Beckenwand durch Lage oder Formveränderung der Blase nicht.

Im Dünndarm liegt die Dosisänderung zwischen - 9 Gy und +7 Gy. In 57,1% der Fälle ist die Dosis im Dünndarm jedoch geringer als bei der Planung. Die Mehrheit der Dosisänderungen liegt im Bereich von - 1 Gy bis 0 Gy (24,4 % der Fälle). Die höchste Dosisänderung liegt bei 7 Gy (2,0 % der Fälle).

Die deutlichsten Dosisänderungen im Dünndarm sind zu sehen, wenn das Zielvolumen nahe der Beckenwand liegt oder es keine definierte Blasenfüllung gibt. Der Dünndarm wird nicht durch die gefüllte Blase vom Target ferngehalten und erhält dadurch mehr Dosis. Liegt das Zielvolumen im Bereich des Scheidenstumpfes, kommt es zwar nicht zu deutlichen Dosischwankungen, aber zu den höchsten Dosisänderungen von 6,48 Gy. Diese hohen Dosisänderungen sind jedoch in unseren Daten Einzelfälle.

Zwischen - 3 Gy und + 2 Gy liegt die Dosisänderung im Rektum. In 12 Fällen, einem Anteil von 68,7% entsprechend, ist die Dosis bei der Bestrahlung niedriger als bei der Planung. In der Mehrzahl der CT-Simulationen liegt die Dosisänderung zwischen - 0,5 Gy und 0 Gy, was einem Anteil von 50% entspricht. Die größte Dosisänderung beträgt + 2 Gy (6,2 % der Fälle).

Im Rektum treten die größten Dosischwankungen auf, wenn das Zielvolumen ventral des Sacrums liegt und ohne eine definierte Blasenfüllung bestrahlt wird,

da die Blase bei wechselnden Füllungszuständen flexibler ihre Größe und Form ändern kann und auf diese Weise unterschiedlich hohe Bestrahlungsdosen am Sacrum appliziert werden. In Einzelfällen kann die höchste Dosis im Bereich des Scheidenstumpfes liegen. Mit 1,56 Gy ist sie aber geringer als im Dünndarm.

Im Bereich der *stereotaktischen Leberbestrahlungen* kommt es zwischen Planung und Bestrahlung zu Dosisänderungen von – 5 Gy bis + 20 Gy in allen Risikoorganen.

Im Magen reichen die Dosischwankungen von – 5 Gy bis + 20 Gy. Die Mehrheit der CT-Simulationen, nämlich 50,9 % der CT-Simulationen, liegen im Magen zwischen – 5 Gy und 0 Gy. Das bedeutet, dass bei 50,9 % der CT-Simulationen die Dosis im Magen geringer ist als bei der Planung.

In 1,9 % der Fälle beträgt die höchste Dosisänderung im Magen + 20 Gy. Bezogen auf die Parameter wie anatomische Lage, Lebersegmente, topographische Lage, CTV und PTV, treten die größten Dosisänderungen dann auf, wenn das Zielvolumen im caudalen Leberanteil oder in den Lebersegmenten 6 und 7 zum Liegen kommt. Die Dosisänderungen sind ebenfalls deutlicher, wenn das ZV *Darm nah* liegt oder je größer das PTV ist. Wird das PTV größer, nimmt der Abstand zum Risikoorgan Magen ab, so dass die Dosis hier zunimmt. Hinzu kommt, dass der Abstand zwischen Magen und Leber aufgrund seiner Mobilität und seines unterschiedlichen Füllungszustandes variieren kann.

Im Ösophagus reichen die Dosisänderungen von –2 Gy bis + 16 Gy. In 40 % der CT-Simulationen ist die Dosis im Ösophagus niedriger als bei der Planung. Der größte Anteil der Dosisänderungen reicht von - 2 Gy bis + 2 Gy (76 % der Fälle). Die höchste Dosis beträgt gemäß den errechneten Kategorien + 16 Gy, was 4 % der Fälle entspricht.

Dosisänderungen im Ösophagus treten auf, wenn das Zielvolumen *Darm nah* im mittlerem Anteil der Leber liegt. Die Dosisänderungen lassen sich den Lebersegmenten 7 und 8 zuordnen, und sind abhängig von CTV und PTV. Wenn das CTV und PTV größer werden, verringert sich der Abstand zum

Ösophagus. Außerdem kann der Ösophagus aufgrund seiner eigenen Mobilität unterschiedlich nah an die Leber heranreichen, so dass die Dosisbelastung zunimmt.

Von – 4 Gy bis + 10 Gy schwanken die Dosisänderungen im Risikoorgan Leber bei der stereotaktischen Bestrahlung in diesem Organ. In 24 % der Fälle ist die Dosis bei der Bestrahlung niedriger als bei der Planung. Der überwiegende Anteil, nämlich 64 % der CT-Simulationen liegt zwischen 0 Gy und + 2 Gy. Die größte Dosisänderung beträgt 10 Gy (3,7 % der Fälle). Die größten Dosisänderungen treten dann auf, wenn das Zielvolumen *zentral* im caudalem Bereich der Leber, im Lebersegment 6 oder *Darm nah* liegt und je größer das PTV ist.

In der Niere kommt es zu Dosisänderungen von – 2 Gy bis + 6 Gy wobei die Dosis in 83,3 % der Fälle bei der Bestrahlung niedriger ist als bei der Planung. Die meisten Dosisänderungen (66,6 %) reichen von – 1 Gy bis 0 Gy. Die höchste Dosis liegt in der Kategorie + 6 Gy in 16,6 % der CT-Simulationen.

In der Niere kommen die größten Dosisänderungen zustande, wenn das Zielvolumen im Lebersegment 1 in den mittleren Leberabschnitten liegt und je größer das CTV und PTV sind.

Bei der *stereotaktischen Lungenbestrahlung* kommt es bezogen auf alle Risikoorgane zu Dosisänderungen zwischen – 5 Gy und + 7 Gy. Im Bereich der linken Lunge reichen die Änderungen von – 1 Gy bis + 6 Gy, der größte Anteil der Dosisänderungen liegt zwischen 0 Gy und + 1 Gy. Dies entspricht 55,3 % der Fälle.

Die höchste Dosisänderung ist + 6 Gy mit 1,7 % der Fälle. In der linken Lunge sind die größten Dosisänderungen zu sehen, wenn das Zielvolumen im Lungenoberlappen nahe der Thoraxwand liegt, und je größer das CTV und PTV sind. In diesem Fall erhält die restliche linke Lunge bezogen auf das Volumen eine höhere Dosis. Außerdem sind die Dosisänderungen deutlicher, wenn sich das Zielvolumen *Thoraxwand nah* befindet und ohne Bauchpresse bestrahlt wird. Sind diese beiden Voraussetzungen erfüllt, sind das ZV und das Risikoorgan linke Lunge beweglicher, so dass es zu größeren Dosisänderungen

kommen kann. So ist auch zu erklären, warum es zu deutlicheren Änderungen der Dosis bei Bestrahlung im Lungenoberlappen kommt. Hier ist die linke Lunge am wenigsten fixiert, so dass Dosisänderungen wahrscheinlicher sind.

In der rechten Lunge schwanken die Dosisänderungen zwischen -1 Gy und $+7$ Gy. Hierbei liegt der größte Teil der Dosisänderungen (30,1 % der Fälle) zwischen 0 Gy und $+1$ Gy. Die größten Dosisänderungen treten auf, wenn das Zielvolumen im Lungenoberlappen *mediastinal nah* liegt, je größer das PTV ist und wenn mit Bauchpresse bestrahlt wird.

Die beobachteten Dosisänderungen am Herzen sind nur klein, sie reichen von $-0,4$ Gy bis $+0,5$ Gy. Sie sind aber umso größer, je größer auch das CTV und PTV sind und wenn das Zielvolumen im Lungenmittellappen / Unterlappen oder *mediastinal nah* liegt. Erklärt wird diese Beobachtung dadurch, dass die Lage des Zielvolumens dann nahezu der anatomischen Lage des Herzens entspricht. Die Änderungen der Bestrahlungsdosen am Herzen werden dann größer, wenn mit Bauchpresse bestrahlt wird. Ist der Abstand bei Bestrahlung zwischen dem Risikoorgan Herz und dem Zielvolumen geringer als bei der Planung und das Herz zusätzlich durch Verwendung der Bauchpresse in seiner Mobilität eingeschränkt, sind höhere Dosisänderungen und -belastungen am Herzen möglich.

Im Ösophagus reichen die Dosisänderungen von -3 Gy bis $+5$ Gy. Sie sind in 50 % der Fälle geringer als bei der Planung. Der größte Anteil (34,2 % der Fälle) der Dosisänderungen liegt zwischen 0 Gy und $+1$ Gy und die höchste Dosisänderung beträgt $+5$ Gy in 7,89 % der Fälle. Die größten Dosisänderungen treten dann auf, wenn das Zielvolumen im Lungenoberlappen oder *Thoraxwand nah* liegt, die Bauchpresse nicht eingesetzt wird und je größer das CTV oder PTV sind.

Bei Zielvolumina im Bereich des Oberlappens ist der Ösophagus dem Lungengewebe näher als bei weiter caudal gelegenen Zielvolumina, da das Mediastinum caudal einen höheren Querschnitt aufweist. Somit ist bei den im Oberlappen gelegenen Zielvolumina eine höhere Dosisbelastung des Ösophagus zu erwarten. Wird keine Bauchpresse eingesetzt, kommt der

Ösophagus weiter cranial zum Liegen, was ebenfalls die Dosisbelastung ansteigen lassen kann.

Von -4 Gy bis $+4$ Gy reichen die Dosisänderungen an der Trachea, die höchste Dosisänderung beträgt $+4$ Gy im Vergleich zur Planung in 2,8 % der Fälle. 60 % der beobachteten Änderungen reichen von -1 Gy bis $+0$ Gy und in 62 % der CT-Simulationen ist die Dosis am Risikoorgan Trachea niedriger als bei der Planung. Die größten Änderungen sind zu sehen, wenn das Target im Oberlappen *mediastinal nah* liegt, entsprechend ihrer anatomischen Lage. Größere Dosisänderungen werden auch gemessen, wenn ohne Bauchpresse bestrahlt wird, da in diesem Fall die Trachea mobiler ist.

Im Spinalkanal treten Änderungen der Dosis von -5 Gy bis $+4$ Gy auf. Der größte Anteil (29,7 % der Fälle) liegt zwischen -1 Gy und $+0$ Gy. In 18,9 % der Fälle ist die Dosis, mit welcher der Spinalkanal belastet wird, kleiner als bei der Planung. Die höchste Dosisänderung beträgt bei 10,8 % der CT Simulationen $+4$ Gy. Diese Dosisänderungen sind am größten, wenn das Zielvolumen im Lungenunterlappen *zentral in der Lunge* liegt und die Bauchpresse eingesetzt wird. Ist das Zielvolumen *zentral im Lungengewebe*, muß oft eine höhere Dosisbelastung am Spinalkanal in Kauf genommen werden, um die erforderliche Dosisverteilung im Target zu erreichen. Liegt das Zielvolumen dagegen in der Peripherie der Lunge, ist es besser möglich den Spinalkanal zu schonen.

Aus diesen untersuchten Dosisänderungen an den Risikoorganen bei der stereotaktischen Bestrahlung in Lunge, Leber und im Becken, lässt sich erkennen, dass im überwiegendem Anteil der Bestrahlungen eine gute Reproduzierbarkeit der Planungssituation möglich ist. In Einzelfällen kann es aber durchaus zu größeren Dosisänderungen in den Risikoorganen kommen. Die höchsten Dosisänderungen werden bei der stereotaktischen Leberbestrahlung im Magen mit $+20$ Gy, im Ösophagus mit $+16$ Gy und in der Leber selbst mit $+10$ Gy gemessen.

Diese sehr hohen Dosisänderungen sind in den untersuchten Fällen jedoch Einzelfälle. Im Magen liegt der größte Teil der Dosisänderungen mit 50,9 % der Fälle zwischen - 5 Gy und 0 Gy. Im Ösophagus liegt der größte Teil der Dosisänderungen mit 76 % der Fälle zwischen - 2 Gy und + 2 Gy und in der Leber zwischen 0 Gy und + 2 Gy (64 % der Fälle). In den anderen Risikoorganen Lunge, Spinalkanal, Herz, Trachea, Ösophagus, Blase, Dünndarm, Rektum und Niere traten keine vergleichbar hohen Dosisänderungen auf. Hier beträgt die größte Dosisänderung + 7 Gy in der rechten Lunge und im Dünndarm. In allen anderen Risikoorganen ist die Dosis deutlich kleiner, im Bereich des Herzens mit + 0,5 Gy am geringsten. Die Dosisänderungen sind nicht immer abhängig von der Größe des CTV und PTV, was bedeutet, dass die Dosisänderungen nicht in jedem Fall größer werden, wenn auch CTV und PTV größer werden. Auch eine Bauchpresse zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit führt in einigen wenigen Fällen wie im Bereich der rechten Lunge, des Herzens und des Spinalkanals dazu, dass die Dosisänderungen im betreffendem Risikoorgan höher ist als bei Nicht-Einsatz der Bauchpresse. Die Bauchpresse fixiert, wie gezeigt wurde, nicht nur das Target, sondern schränkt auch die Bewegungsmöglichkeit der Risikoorgane und damit auch ihre „Ausweichmöglichkeit“ ein.

Im Bereich des Beckens führt die Anwendung einer definierten Blasenfüllung von 150 ml teilweise in der Blase zu größeren Dosisabweichungen zwischen Planung und Bestrahlung. Dosisänderungen der Risikoorgane gemäß den anatomischen und topographischen Verhältnissen sind zu erwarten. Offensichtlich ist auch, dass es zu keiner Normalverteilung der Dosisänderung an den Risikoorganen kommt, da nicht mit einer Mobilität jedes Organs in alle Richtungen gerechnet werden muß.

Bei stereotaktischer Bestrahlung in der Lunge kommt es in allen untersuchten Risikoorganen mit Ausnahme des Spinalkanals zu größeren Dosisänderungen, wenn das Target im Oberlappen der Lunge liegt, da die Lunge nur gering durch die Bauchpresse in ihrer Mobilität einzuschränken ist.

Wenn man die Bereiche Lunge, Leber und Becken bezüglich der Änderung der Risikoorgandosis zwischen der Planung und der Bestrahlung vergleicht, sind bei der stereotaktischen Leberbestrahlung die deutlichsten Änderungen festzustellen.

Im den Risikoorganen Magen und Ösophagus kommt es zu den höchsten Dosischwankungen und Änderungen. Dies lässt sich mit der Organmobilität und besonders mit den verschiedenen Füllungszuständen in Magen und Ösophagus erklären. Daraus ist zu schließen, dass der Sicherheitssaum zwischen Target und relevanten Risikoorganen ausreichend und großzügig sein muß, um diese schonen zu können.

Die Daten zeigen, dass bei der stereotaktischen Bestrahlung im Körperstammbereich neben der möglichst exakten Reproduzierbarkeit des Targets auch eine sehr genaue Überprüfung der Dosisänderungen an den Risikoorganen notwendig ist, da es in Einzelfällen durchaus zu hohen Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung kommen kann.

Wie schon von Wulf beschrieben [14], kam es bei seinem Patientenkollektiv, das auch in dieser Arbeit untersucht wurde, in einem Fall zur Entwicklung einer chronisch ulzerierten Ösophagitis. In einem Fall trat eine fatale Blutung an den Pulmonalarterien auf, welche allerdings Teil des Zielvolumens waren und daher nicht zu den eigentlichen Risikoorganen gezählt werden können.

Bei der Mehrheit des Patientenkollektives waren keine Nebenwirkungen wie Übelkeit, Fieber, Schmerzen, Blutungen, Hepatitis oder Pneumonitis zu beobachten.

Im Bereich des Dünndarms kam es bei einem Patienten nach Bestrahlung eines Beckenrezidivs zur Entwicklung einer Darmentzündung. Ein Nierenversagen trat bei allen behandelten Patienten in keinem Fall auf, so dass die wenigen beschriebenen klinischen Nebenwirkungen nicht mit den einzelnen hohen Dosisabweichungen bei der *extracraniellen stereotaktischen Bestrahlung* gleichzusetzen ist.

5. Zusammenfassung

Die *extracranielle stereotaktische Bestrahlung* ist ein sinnvolles und effektives nicht-invasives Behandlungskonzept für lokalisierte Raumforderungen in Lunge, Leber und im Becken [5, 6, 10].

Dabei zeichnet sich dieses Behandlungskonzept durch die hoch konformale Applikation hoher Einzeldosen auf ein umschriebenes Zielvolumen aus. Die Patienten müssen in der Regel nicht hospitalisiert werden, die Therapie umfasst nur wenige Behandlungstage und klinische Nebenwirkungen sind bisher in unserem Kollektiv, wie Wulf [10] zeigte, nur in Einzelfällen aufgetreten.

Besonders für Patienten, die nicht operiert werden können, entweder aufgrund ihrer körperlichen Konstitution oder aufgrund der Lage des Zielvolumens, ist mit dieser Behandlung die Möglichkeit gegeben, eine lokale Tumorkontrolle zu erreichen. Die hohe Tumorkontrolle kann bei gleichzeitiger Minimierung von Nebenwirkungen im bestrahlten Organ erreicht werden. Dafür ist es jedoch von großer Bedeutung, dass bei fraktionierter Therapie auch die möglichen Dosisänderungen im Bereich der Risikoorgane genau bekannt sind, um die beschriebene hohe Tumorkontrolle nicht mit einer hohen Rate an Nebenwirkungen zu erkaufen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich im Gegensatz zu bereits veröffentlichten Arbeiten, die sich mit der *extracraniellen hypofraktionierten stereotaktischen Bestrahlung* und allen Fragen zur Tumorkontrolle beschäftigten, mit der Reproduzierbarkeit und möglichen relevanten Dosisänderungen in Bezug auf anliegende Risikoorgane.

Die Dosisänderungen im Bereich der Risikoorgane wurden bei insgesamt 56 Patienten untersucht, die stereotaktisch im Bereich der Leber, Lunge und im Bereich des Beckens behandelt wurden. Bei der Planung sowie vor jeder Bestrahlung wurden die Patienten in einem stereotaktischem Körperrahmen

gelagert. Sowohl für die Planung als auch vor jeder Bestrahlung (im allgemeinen n=3) wurde die Lage des Zielvolumens und die der Risikoorgane mittels einer CT überprüft und zusätzlich mit aus der Planung vorliegenden digitalen Radiographien verglichen. Anschließend wurden die Dosisverteilungen aus dem Planungs-CT in den CT-Datensatz zum Behandlungszeitpunkt übertragen und eventuelle Dosisänderungen ausgewertet und graphisch dargestellt.

In Einzelfällen fanden sich hohe Dosisänderungen, speziell in den Risikoorganen Magen, Ösophagus und Leber mit Überhöhungen von über 10 Gy (2 von 51 Fällen im Magen, 2 von 25 Fällen im Ösophagus, 1 von 54 Fällen in der Leber). In den weiteren untersuchten Risikoorganen Lunge, Spinalkanal, Herz, Trachea, Ösophagus, Blase, Dünndarm, Rektum und Niere traten keine vergleichbar hohen Dosisänderungen auf.

Es ließen sich folgende Abhängigkeiten hinsichtlich der Dosisänderungen ermitteln:

- Lage des Zielvolumens (z.B. Lage im Lungenoberlappen)
- Entfernung des Zielvolumens vom untersuchten Risikoorgan und Mediastinum
- Entfernung zum Risikoorgan Darm
- Größe des CTV und PTV
- Einsatz der Bauchpresse zur Verhinderung einer „Veratmung des Zielvolumens“, also zur Fixierung des Targets.

Zusammenfassend zeigen die vorgestellten Daten, dass bei der *extracraniellen hypofraktionierten stereotaktischen Bestrahlung* im Körperstammbereich neben der möglichst exakten Reproduzierbarkeit des Targets auch eine sehr genaue Überprüfung der Dosisänderungen an den Risikoorganen sinnvoll ist, da es in Einzelfällen durchaus zu hohen Dosisänderungen zwischen Planung und Bestrahlung kommen kann.

Insgesamt zeichnete sich unser Verfahren aber für die Bestrahlung der Risikoorgane durch eine hohe Robustheit aus.

Die Durchführung einer Computertomographie bei Planung und jeder folgenden Bestrahlung zur Reduzierung der Lagerungsungenauigkeit und Verminderung von Dosisänderungen wird trotzdem als Standard empfohlen. Dabei sollte nicht nur auf die Toleranzdosis und die reproduzierbare Lage der Zielorgane, sondern auch auf die der Risikoorgane geachtet werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Blomgren H, Lax I, Göranson H, Kräelien T, Nilsson B, Näslund I, Svanström R, Tilikidis A, Radiosurgery for tumors in the body: Clinical experience using a new method. *J Radiosurg* 1998;1: 63-74.
2. Blomgren H, Lax I, Näslund I, Svanström R, Stereotactic high dose fraction radiation therapy of extracranial tumors using an accelerator. *Acta Oncol* 1995;34: 861-70.
3. Nakagawa K, Aoki Y, Tago M, Terahara A, Ohtomo K, Megavoltage CT-assisted stereotactic radiosurgery for thoracic tumors; original research in the treatment of thoracic neoplasms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000;48: 449-57
4. Uematsu M, Shioda A, Tahara K, Fukui T, Yamamoto F, Tsumatori G, Ozeki Y, Aoki T, Watanabe N, Kusano S, Focal, high dose, and fractionated modified stereotactic radiation therapy for lung carcinoma patients. *Cancer* 1998;82: 1062-70.
5. Herfath KK, Debus J, Lohr f, Bahner ML, Rhein B, Fritz P, Höss A, Schlegel W, Wannemacher M, Stereotactic single dose radiation therapy of liver tumors: results of a phase I/II trial. *J Clin Oncol* 2001;19: 164-70.
6. Herfarth KK, Debus J, Lohr f, Bahner ML, Rhein B, Fritz P, Motsch J, Kress J, Schlegel W, Wannemacher M, Extracranial stereotactic conformal radiation treatment of tumors in the liver and the lung. *Int Radiat Oncol Biol Phys* 1998;42: Suppl:214.
7. Lax I, Target dose versus extra-target dose in stereotactic radiosurgery. *Acta Oncol* 1993;32: 453-7.
8. Lax I, Blomgren H, Larson D, Näslund D, Extracranial stereotactic radiosurgery of localized targets. *J Radiosurg* 1998;1: 135-48.
9. Lax I, Blomgren H, Näslund D, Svanström R, Stereotactic radiotherapy of malignancies in the abdomen. Methodological aspects. *Acta Oncol* 1994;33: 677-83.
10. Wulf J, Hädinger U, Oppitz U, Olshausen B, Flentje M. Stereotactic radiotherapy of extracranial targets: CT-simulation and accuracy of treatment in the stereotactic body frame. *Radiother Oncol* 2000;57: 225-36.

11. Orton CG, Seyedsadar M, Somnay A, Comparison of high and low dose rate remote afterloading for cervix cancer and the importance of fractionation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991;21: 1425-34.
12. Herfarth KK, Pirzkall A, Lohr F, Schulz-Ertner D, Spoo J, Frank C, Bahner ML, Pastyr O, Debus J, First experiences with a noninvasiv patient set-up system for radiotherapy of the prostate. *Strahlenther Onkol* 2000;176: 217-22.
13. Nagata Y, Negoro Y, Araki N, Kokubo M, Mitsumori M, Sasai K, Shibamoto Y, Hiraoka M, Mizowaki T, Initial clinical findings of 3-D-conformal radiotherapy for solitary lung tumor using a stereotactic body frame part 2. Treatment planning and clinical outcome. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;45 Suppl:411.
14. Wulf J, Hädinger U, Oppitz U, Thiele W, Ness-Dourdoumas R, Flentje M, Stereotactic radiotherapy of targets in the lung and liver. *Strahlenther Onkol* 2001;177: 645-55.
15. KK. Herfart, J. Debus, M.L. Bahner, F. Lohr, W. Schlegel ,M. Wannemacher, Lagerungsungenauigkeit bei stereotaktischer Einzeitbestrahlung von Lebertumoren. *Strahlenther Onkol* 175 1999, p.1711.
16. K.K. Herfarth, J. Debus, F. Lohr, M.L. Bahner, P. Fritz, A. Höss, W. Schlegel und M. Wannemacher, Extracranial stereotactic radiation therapy : accuracy of patients treated for liver metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000, pp.329-335.
17. Balter J.M., Lam K.L., McGinn C.J., Lawrence T.S., Ten Haken R.K., Improvement of CT-based treatment planning models of abdominal targets using static exhale imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998, pp. 939-943.
18. Balter J.M., Ten Haken R.K., Lawrence T.S., Lam K.L., Robertson J.M., Uncertainties in CT-based radiation therapy treatment planning associated with patient breathing. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996, pp.167.174.
19. Ekberg L., Holmberg O., Wittgren L., Bjelkengren G., Landberg T., What margins should be added to the clinical target volume in radiotherapy treatment planning for the lung cancer ?, *Radiother Oncol* 48 1 1998, pp.71-77.
20. Schwartz L.H., Richaud J., Buffat L., Touboul E., Schlienger M., Kidney mobility during respiration. *Radiother Oncol* 32 1 1994, pp.84-86.

- 21.** Antolak J.A., Rosen H., Childress C.H., Zagras G.K., Pollack A., Prostate target volume variations during a course of radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 42 3 1 1998, pp. 661-672.
- 22.** Bijhold J., Lebesque J.V., Hart A.A., Vijbrief R.E., Maximizing set-up accuracy using portal images as applied to a conformal boost technique for prostate cancer. *Radiother Oncol* 24 1 1992, pp. 261-271.
- 23.** Rudat V., Flentje M., Oetzel D., Menke M., Schlegel W., Wannemacher M., Influence of the positioning error on 3-D conformal dose distribution during fractionated radiotherapy. *Radiother Onkol* 33 1 1994, pp. 56-63.
- 24.** Rudat V., Schraube P., Oetzel D., Zierhut D., Flentje M., Wannemacher M., Combined error of patient positioning variability and prostate motion uncertainty in 3-D conformal radiotherapy of localized prostate cancer. *Radiother Onkol* 32 1 1994, pp.84-86.
- 25.** Tinger A., Michalski J.M., Cheng A., Low D.A., Zhu R., Bosch W.R., Purdy J.A., Perez C.A., A critical evaluation of the planning target volume for 3-D conformal radiotherapy of prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 38 1 1997. pp.613-667.
- 26.** Turner S.L., Swindell R., Bowl N., Marrs J., Brooks B., Read G., Cowan R.A.. Bladder movement during radiotherapy for bladder cancer: implications for treatment planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 39 2 1997, pp.355-360.
- 27.** Wong J.W., Sharpe M.B., Jaffray D.A., Kini V.R., Robertson J.M., Stromberg J.S., Martinez M.M., The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 44 4 1999, pp. 911-999.
- 28.** Ten Haken R.K., Balter J.M., Marsh L.H., Robertson J.M., Lawrence T.S. Potential benefits of eliminating planning target volume expansions for patient breathing in the liver tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 38 1 1997, pp. 613-667.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. M. Flentje danke ich für die Überlassung des Themas und die Ermöglichung meiner Dissertation in der Klinik für Strahlentherapie.

Ich danke auch Herrn Oberarzt Dr. med. J. Wulf für seine Ausarbeitung des Themas und freundliche Unterstützung. Herrn Prof. Dr. med. P. Schneider danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Kurt Baier und Herrn Oberarzt Dr. med. J. Willner. Ohne deren geduldige und verständnisvolle Unterstützung wäre diese Arbeit nicht denkbar.

Schliesslich danke ich Dr. med. Fabian Pohl für seine Hilfe bei Formatierung und Druck.

Lebenslauf

Name	Thiele
Vorname	Wibke
Geburtsdatum	25.10.1971
Geburtsort	Dissen
Nationalität	deutsch
Familienstand	ledig

Schulbildung

1978 - 1982	Grundschule in Bremen, Oberhausen und Hünxe
1982 - 1991	Otto-Hahn Gymnasium in Dinslaken; Abschluß: Abitur

Hochschulbildung

1991 - 1994	Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg
März 1994	Ärztliche Vorprüfung
1994 - 1998	Studium der Humanmedizin an der Bayerischen Julius-Maximilians Universität Würzburg
August 1995	1. Staatsexamen
August 1997	2. Staatsexamen
November 1998	3. Staatsexamen

Berufsausbildung:

Dezember 1998 - Juli 2000

Ärztin im Praktikum in der Klinik für
Strahlentherapie der Universität Würzburg

Juni 2000

Approbation als Ärztin

Juli 2000 - Oktober 2003

Assistentin in der Klinik für Strahlentherapie
der Universitätsklinik Würzburg in der
Ausbildung zum Facharzt

Würzburg, den 05.10.2003

Wibke Thiele