

Aus der Klinik für Radiologie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Gesundheitsökonomische Evaluation bildgesteuerter  
Therapieverfahren in der interventionellen Radiologie

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Martin Maurer

aus Münster

Datum der Promotion: 12.09.2014

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Symbole</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Einführung</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Methodik</b> .....	<b>6</b>
3.1. Formen der gesundheitsökonomischen Evaluation .....	6
3.2. Periradikuläre Schmerztherapien an der Hals- und Lendenwirbelsäule .....	7
3.2.1. Behandlungstechniken .....	7
3.2.2. Technisches und medizinisches Ergebnis .....	9
3.3. Bildgesteuerte minimal-invasive Behandlung von Osteoidosteomen .....	9
3.4. Kosten-Kosten-Vergleichsanalysen in der interventionellen Radiologie .....	10
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>12</b>
4.1. Medizinisches Ergebnis der MRT-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Halswirbelsäule .....	12
4.2. Medizinisches Ergebnis der MRT-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule .....	13
4.3. Kostenvergleich der periradikulären Schmerztherapie an der Halswirbelsäule .....	13
4.4. Kostenvergleich der periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule .....	14
4.5. Kostenvergleich der minimal-invasiven Verfahren zur Behandlung von Osteoidosteomen .....	15
<b>5. Diskussion</b> .....	<b>16</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>20</b>
<b>7. Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>21</b>
<b>8. Druckexemplare der ausgewählten Publikationen</b> .....	<b>25</b>
<b>9. Lebenslauf</b> .....	<b>59</b>
<b>10. Publikationsliste</b> .....	<b>60</b>
<b>11. Danksagung</b> .....	<b>65</b>

## Abkürzungen und Symbole

bzw.	beziehungsweise
CT	Computertomographie
DRG	engl. Diagnosis Related Group, dt. diagnosebezogene Fallgruppen
engl.	englisch
et al.	lat. et alii oder et aliae, dt. und andere
€, EUR	Euro
G	Gauge
HWS	Halswirbelsäule
inkl.	inklusive
LA	Laserablation
LWS	Lendenwirbelsäule
ms	Millisekunde(n)
mSv	Millisievert
MTRA	medizinisch-technische(r) Röntgenassistent/in
MRT	Magnetresonanztomographie
%	Prozent
PDw	engl. proton-density weighted, dt. Protonendichte-gewichtet
PRT	Periradikuläre Schmerztherapie / Infiltrationstherapie
RFA	Radiofrequenzablation
TE	engl. echo time, dt. Echozeit
TR	engl. repetition time, dt. Repetitionszeit
TSE	Turbo-Spin-Echo
vgl.	vergleiche
VNRS	engl. verbal numeric rating scale
z. B.	zum Beispiel

## **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1:</b> Beispiel einer CT- und alternativ MRT-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule .....	8
<b>Abbildung 2:</b> Kostenbestandteile zur Erfassung der Gesamtkosten verschiedener radiologisch-interventioneller Verfahren .....	11

## 1. Zusammenfassung

Eine gesundheitsökonomische Evaluation der Kosten radiologisch-interventioneller Behandlungsfahren ist unter den Rahmenbedingungen knapper finanzieller Ressourcen sinnvoll, wenn mit alternativen Behandlungsmethoden ein jeweils gleichwertiges medizinisches Ergebnis erzielt werden kann. Periradikuläre Schmerztherapien (PRT) und die Thermoablation von Osteoidosteomen stellen etablierte bildgesteuerte Interventionen des muskuloskeletalen Systems dar. Dabei lassen sich periradikuläre Schmerztherapien an der Halswirbelsäule (HWS) und der Lendenwirbelsäule (LWS) unter Steuerung mit verschiedenen bildgebenden Verfahren wie der Röntgendurchleuchtung, Computertomographie (CT)-Fluoroskopie sowie neuerdings auch mittels Magnetresonanztomographie (MRT)-fluoroskopischer Therapiesteuerung durchführen. Ebenso ist die minimal-invasive interventionelle Behandlung von Osteoidosteomen mit Hilfe einer CT-gesteuerten Radiofrequenzablation und alternativ mittels MRT-gesteuerter Laserablation möglich.

Es konnte in zwei Patientenkollektiven gezeigt werden, dass durch eine MRT-gesteuerte PRT analog zu den bisher etablierten Therapiesteuerungsverfahren eine signifikante Reduzierung der subjektiv wahrgenommenen Schmerzsymptomatik möglich ist ( $p < 0,001$ , Bewertung auf einer Schmerzbewertungsskala von 0 bis 10, engl. verbal numeric rating scale, VNRS). An der Halswirbelsäule konnte dabei eine signifikante Reduzierung des VNRS-Wertes von präinterventionell durchschnittlich  $7,42 \pm 1,67$  auf  $2,76 \pm 2,63$  zum Ende des Nachbetrachtungsintervalls nach 6 Monaten erzielt werden, an der Lendenwirbelsäule eine signifikante Senkung von  $7,09 \pm 1,65$  auf  $2,5 \pm 2,04$ .

Im Rahmen von zwei vergleichenden Kosten-Kosten-Analysen unter Berücksichtigung von Gerätenutzungs-, Material- und Personalkosten ergab sich, dass an der Hals- und der Lendenwirbelsäule die MR-fluoroskopisch gesteuerte Schmerztherapie mit etwa doppelt so hohen durchschnittlichen Gesamtkosten einhergeht (HWS: € 240, LWS: € 177) wie die bisher etablierte CT-fluoroskopische Steuerung (HWS: € 124, LWS: € 88). Dies war vor allem bedingt durch die höheren Gerätenutzungskosten von MR-Systemen und die vergleichsweise höheren Kosten für MR-kompatible Verbrauchsmaterialien, bei einer ähnlichen Interventionsdauer jedoch nicht durch die sich nur kaum unterscheidenden Personalkosten.

Auch bei der Laserablation von Osteoidosteomen waren die Gerätenutzungskosten des verwendeten offenen MR-Systems höher als diejenigen des Computertomographen. Dennoch ergaben sich trotz geringerer Personalkosten letztlich höhere durchschnittliche Gesamtkosten je Patient für die CT-gesteuerte Radiofrequenzablation (€ 1762 vs. MRT-

gesteuerte Laserablation € 1417), da die lediglich zum Einmalgebrauch dienenden Radiofrequenzablationssonden im Vergleich erheblich höhere Materialkosten verursachten.

Sowohl die MRT-gesteuerte periradikuläre Schmerztherapie als auch die Laserablation von Osteoidosteomen stellen in den vergangenen Jahren entwickelte alternative Verfahren einer radiologisch-interventionellen Therapiesteuerung dar, welche ohne eine Strahlenexposition der Patienten auskommen. Die MR-fluoroskopische Therapiesteuerung ist bei der Anwendung für periradikuläre Schmerztherapien immer noch mit höheren Kosten als alternative Verfahren verbunden, bei der Anwendung im Rahmen der Laserablation von Osteoidosteomen führt sie aus Sicht eines radiologischen Leistungserbringers insgesamt jedoch zu geringeren Gesamtkosten.

## **Abstract**

In this era of tighter budgets, evaluation of the costs of radiological interventional treatments from the perspective of health economics is desirable when different treatment options exist that have the same medical outcomes. Periradicular pain treatment (PRT) and thermal ablation of osteoid osteoma are established image-guided interventions of the musculoskeletal system. Periradicular treatment of the cervical and lumbar spine can be performed using different imaging modalities for guidance including conventional and computed tomography (CT) fluoroscopy. More recently, magnetic resonance imaging (MRI) fluoroscopy has become available for this purpose. Osteoid osteoma can be removed minimally invasively using CT-guided radiofrequency ablation or MRI-guided laser ablation.

It has been shown in two patient populations that MRI-guided PRT significantly reduces subjective pain and is comparable to established treatment options ( $p < 0.001$ ; based on pain assessment using a verbal numeric rating scale (VNRS) from 0 to 10). For the cervical spine, the average VNRS scores decreased significantly from  $7.42 \pm 1.67$  before the intervention to  $2.76 \pm 2.63$  at the end of the 6-month follow-up period; for the lumbar spine, the scores decreased significantly from  $7.09 \pm 1.65$  to  $2.5 \pm 2.04$ .

Two comparative cost studies analyzing costs of equipment use, disposables, and staff costs showed that PRT of the cervical and lumbar spine using MRI fluoroscopy for guidance resulted in total average costs that were almost twice as high (cervical spine: € 240, lumbar spine: € 177) as the costs using the established technique of CT fluoroscopy guidance (cervical spine: € 124, lumbar spine: € 88). The higher costs mainly reflect higher costs for MRI scanner use and higher expenses for MRI-compatible disposables. Staff

costs were nearly the same for both types of imaging guidance as the interventional procedures with CT and MRI guidance were of similar duration.

For laser ablation of osteoid osteoma, the costs for equipment use were also found to be higher for the open MRI system used in that study compared with the costs for CT scanner use. Nevertheless, and despite lower staff costs, the average total costs per patient were higher for CT-guided radiofrequency ablation (€ 1762 vs. € 1417 for MRI-guided laser ablation) as the radiofrequency ablation probes, which can only be used once, resulted in considerably higher material costs.

MRI-guided periradicular treatment and laser ablation of osteoid osteoma have emerged in recent years as alternative interventional procedures without radiation exposure. Use of MRI fluoroscopy for interventional guidance results in higher costs when used for periradicular treatment compared with alternative treatments, while it can reduce overall costs from the perspective of the radiological provider when used for laser ablation of osteoid osteoma.

## 2. Einführung

Im Gesundheitswesen sind aus der Sicht der Leistungserbringer unter den aktuellen Rahmenbedingungen knapper finanzieller Ressourcen und der Einführung einer pauschalierten Vergütung von medizinischen Leistungen Aspekte einer möglichst kosteneffektiven Versorgung von Patienten zunehmend bedeutsam. Dabei besteht auch für die diagnostische und interventionelle Radiologie die Notwendigkeit, die zahlreichen eigenen Diagnostik- und Therapieverfahren systematisch hinsichtlich potenzieller Optimierungspotenziale in den Leistungserbringungsprozessen sowie in den Organisations- und Kostenstrukturen zu untersuchen (1).

Die Gewinnung robuster Daten über die eigenen Kostenstrukturen ist aus der Sicht radiologischer Leistungserbringer gerade dann von Interesse, wenn zur Erzielung eines gewünschten medizinischen Ergebnisses (Outcome) mindestens zwei hierzu gleichwertig geeignete Verfahren existieren (2). Bei gleichwertiger medizinischer Effektivität könnte sodann das aus Sicht des Leistungsanbieters kostengünstigere Verfahren ausgewählt werden. Dabei ist bislang häufig das Vorurteil anzutreffen, dass moderne radiologische bildgebende Verfahren und interventionelle Therapiemethoden üblicherweise mit höheren Kosten als bestehende Untersuchungs- und Therapieverfahren einhergehen. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass ein modernes Verfahren wie die Magnetresonanztomographie (MRT) durchaus mit geringeren Kosten als etablierte Diagnostikalgorithmien verbunden sein kann (3). Daneben sind herkömmliche etablierte Methoden der Therapiesteuerung in der interventionellen Radiologie wie die Röntgendurchleuchtung und die Computertomographie (CT)-Fluoroskopie mit einer geringen, jedoch nicht zu vernachlässigenden Strahlenexposition der Patienten und teilweise des Personals verbunden. Das moderne Verfahren der MRT-Fluoroskopie kommt hingegen ohne eine Strahlenexposition aus und erlaubt durch eine Therapiesteuerung in multiplanarer Schichtführung eine potenziell vereinfachte Durchführung von therapeutischen Interventionen.

Zielsetzung dieser Arbeit war es zunächst, in zwei Studien das medizinische Outcome von periradikulären Schmerztherapien (PRT) an der Halswirbelsäule (HWS) und der Lendenwirbelsäule (LWS) unter Therapiesteuerung mit dem modernen bildgebenden Verfahren der MRT-Fluoroskopie zu untersuchen. Im Anschluss sollten sodann jeweils in einer vergleichenden gesundheitsökonomischen Evaluation die Kostenstrukturen der MR-fluoroskopisch gesteuerten Schmerztherapie im Vergleich mit dem etablierten Verfahren der CT-fluoroskopischen Steuerungsmethode sowohl an der Hals- als auch der Lendenwirbelsäule miteinander verglichen werden. Des Weiteren werden die entstehenden Kosten alternativer minimal-invasiver radiologisch-interventioneller Behandlungsverfahren von

Osteoidosteomen einander gegenüber gestellt, wobei eine Behandlung dieser benignen Knochentumoren einerseits mittels CT-gesteuerter Radiofrequenzablation und neuerdings auch mittels MR-fluoroskopisch gesteuerter Laserablation möglich ist.

## **3. Methodik**

### **3.1. Formen der gesundheitsökonomischen Evaluation**

Zur gesundheitsökonomischen Evaluation von verschiedenen medizinischen Leistungen und hierunter auch diagnostischen und interventionellen radiologischen Verfahren existieren zahlreiche Studienformen, welche Kosten- und Nutzenaspekte in unterschiedlichem Ausmaß berücksichtigen. Grundsätzlich kann dabei zwischen nicht-vergleichenden und vergleichenden Evaluationsformen unterschieden werden (2). Zu den Studienformen ohne vergleichenden Charakter gehören die einfache Kosten-Analyse und die Krankheitskosten-Analyse, zu den Studienformen mit vergleichendem Charakter die Kosten-Kosten-Analyse, die Kosten-Nutzen-Analyse, die Kosten-Wirksamkeits-Analyse und die Kosten-Nutzwert-Analyse. Für eine direkte Gegenüberstellung verschiedener radiologischer diagnostischer und interventioneller Verfahren mit jeweils gleichwertigem medizinischem Ergebnis sind vor allem Kosten-Kosten-Vergleichsanalysen sinnvoll anwendbar, die auf Kosten-Analysen der einzelnen Methoden basieren.

Als einfachste Form der gesundheitsökonomischen Evaluation stellt die Kosten-Analyse die Summation der Kosten einer medizinischen Maßnahme dar. Kosten sind dabei der bewertete Verzehr an materiellen oder immateriellen Gütern zur Erstellung einer medizinischen Sach- oder Dienstleistung. Oftmals wird hierbei eine Beschränkung auf die direkten Kosten vorgenommen, welche einer Leistungseinheit durch deren Güterverbrauch direkt zugeordnet werden können. Als Ergebnis einer Kosten-Analyse ergibt sich dann ein bestimmter Geldbetrag (z. B. in Euro, €), der für die Erstellung einer bestimmten Leistung von dem Leistungserbringer aufzuwenden ist. Aus der Kenntnis der eigenen entstehenden Kosten für ein medizinisches Verfahren lässt sich allerdings zunächst nur ableiten, ob dieses im Hinblick auf die erzielbare Vergütung überhaupt kostendeckend angeboten werden kann. Ein Vergleich mit anderen Verfahren ist hingegen nicht möglich, denn hierzu müssten die Kosten alternativer gleichwertiger Diagnostik- oder Behandlungsmethoden vorliegen.

Ein solcher Vergleich gleichwertiger Therapieverfahren ist mit einer Kosten-Kosten-Analyse möglich, welche eine Unterform von vergleichenden gesundheitsökonomischen Evaluationsmethoden darstellt. Letztlich handelt es sich dabei um zwei separat durchgeführte Kosten-Analysen von zwei verschiedenen medizinischen Verfahren. Ziel ist dabei eine Kostenminimierungsanalyse und die Auswahl des entsprechend kostengünstigeren Verfahrens. Die Reduzierung auf einen ausschließlichen Kostenvergleich zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit eines medizinischen Verfahrens unter mindestens zwei Alternativen ist jedoch immer nur unter der Voraussetzung möglich, dass die entsprechenden Kosten-

Analysen der verschiedenen Verfahren im gleichen Kontext vorgenommen werden, und dass deren medizinisches Ergebnis weitgehend identisch ist.

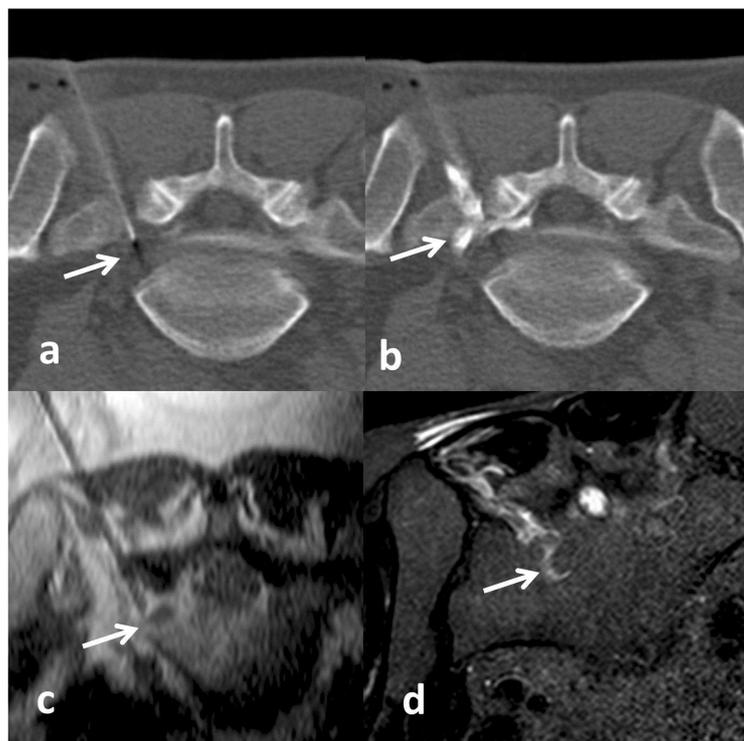
## **3.2. Periradikuläre Schmerztherapien an der Hals- und Lendenwirbelsäule**

### **3.2.1. Behandlungstechniken**

Schmerzsyndrome der Hals- und der Lendenwirbelsäule stellen sehr häufige Krankheitsbilder dar und haben eine weitreichende volkswirtschaftliche Bedeutung durch einerseits hohe Behandlungskosten und andererseits einer Einschränkung der Arbeitsfähigkeit der Betroffenen (4, 5). Die Schmerzsyndrome sind zumeist bedingt durch chronisch-degenerative Veränderungen der Wirbelsäule. Dabei kommt es zu einer Bedrängung von Nervenwurzeln durch knöcherne bzw. ligamentäre Strukturen oder durch vorgewölbtes Bandscheibenmaterial. Die Betroffenen werden in der Regel zunächst mit einem konservativen Therapieregime bestehend aus einer oralen Gabe von Schmerzmitteln und Physiotherapie behandelt. Bei Patienten, bei denen diese konservativen Maßnahmen nicht mehr ausreichend sind, hat sich als weitere Therapieoption die minimal-invasive periradikuläre Infiltrationstherapie (PRT) bewährt. Hierbei wird jeweils eine schmalkalibrige Injektionskanüle (22 Gauge (G) an der Halswirbelsäule und 20 G an der Lendenwirbelsäule) nahe angrenzend an die zu behandelnde Nervenwurzel positioniert. Um das Risiko einer Verletzung angrenzender sensibler Strukturen wie beispielsweise der Arteria vertebralis an der Halswirbelsäule zu minimieren, haben sich verschiedene bildgebende Verfahren zur Therapiesteuerung bewährt. Heutzutage kommt dabei interventionell-radiologisch zumeist die CT-fluoroskopische Steuerung zum Einsatz, welche bei einem sehr hohen Knochen-Weichteil-Kontrast und einer Bildverfügbarkeit in nahezu Echtzeit eine sehr präzise Positionierung der Injektionskanüle bei geringem Zeitbedarf ermöglicht (vgl. Abb. 1a und 1b). Nachteil der CT-Fluoroskopie ist jedoch die zwar geringe, bei zumeist mehreren notwendigen Injektionen allerdings nicht zu vernachlässigende Strahlenexposition der Patienten sowie auch des durchführenden Arztes (6).

Neben der Verwendung der CT-Fluoroskopie und alternativ einer Therapiesteuerung mittels Durchleuchtung oder Ultraschall vor allem an der Halswirbelsäule hat sich in den vergangenen Jahren die Steuerung periradikulärer Schmerztherapien mittels Magnetresonanztomographie (MRT)- Bildgebung bewährt. Neue schnellere MRT-Sequenzen (sog. MRT-Fluoroskopie) erlauben eine Bildverfügbarkeit innerhalb kürzester Zeit und zudem eine frei im Raum wählbare Schichtführung. In früheren Jahren noch störende Nadelartefakte konnten mit den neueren Techniken erheblich reduziert werden. Unter Verwendung

von interaktiven Protonendichte-gewichteten (engl. proton density weighted, PDw) Sequenzen (TR/TE 600 / 10 ms) mit einem Bildaufbau von ca. 2 Sekunden und einem hohen Weichteilkontrast war in unseren Patientenkollektiven eine mit der CT-Steuerung vergleichbare äußerst präzise und sichere Heranführung der Injektionskanüle an die zu behandelnde Nervenwurzel im Bereich der Hals- oder Lendenwirbelsäule möglich (vgl. Abb. 1c).



**Abbildung 1:** Beispiel einer CT- und alternativ MRT-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule. Unter CT-fluoroskopischer Steuerung wird die Spitze der Injektionskanüle direkt angrenzend an die rechte L5-Nervenwurzel eines betroffenen Patienten herangeführt (a, Pfeil) und die Verteilung des Injektats durch geringe Mengen beigemischten jodhaltigen Kontrastmittels überprüft (b, Pfeil). Eine solche exakte Positionierung direkt angrenzend an die Nervenwurzel (c, Pfeil) ist bei minimalen Nadelartefakten auch unter MR-fluoroskopischer Steuerung möglich; dabei wurde die korrekte Verteilung des Injektats basierend auf stark T2-gewichteten SPIR-Sequenzen überprüft (d, Pfeil).

### **3.2.2. Technisches und medizinisches Ergebnis**

Zur Bewertung des medizinischen Ergebnisses hinsichtlich des subjektiv von den Patienten wahr genommenen Schmerzes wurden zwei bewährte Bewertungsskalen, die verbale numerische Rating-Skala (engl. verbal numeric rating scale, VNRS) und die visuelle Analog-Skala (engl. visual analog scale, VAS) verwendet. Beide 11-stufigen Skalen reichten von 0 (gar kein Schmerz) bis 10 (stärkster vorstellbarer Schmerz). Die Dokumentation der subjektiven Schmerzempfindung erfolgte unmittelbar vor der periradikulären Schmerztherapie an der Hals- oder Lendenwirbelsäule und in einem Nachverfolgungszeitraum dann 1 Woche, 1 Monat, 3 Monate und schließlich 6 Monate postinterventionell. Hinsichtlich der Besserung der Schmerzsymptomatik wurde eine Klassifizierung in mehrere Kategorien vorgenommen. Dabei entsprach ein vollständiges Nachlassen des Schmerzes einem Rückgang der Schmerzbewertung auf 0 Punkte, eine erhebliche Besserung einer Reduzierung um 4-8 Punkte, eine moderate Besserung einer Reduzierung um 1-3 Punkte und letztlich ein unveränderter Schmerz-Score einer unveränderten subjektiven Schmerzwahrnehmung.

Als technisch erfolgreich wurde eine MRT-gesteuerte Schmerzinfiltation angesehen, wenn sich das Injektat mit breitem Kontakt zur zu behandelnden Nervenwurzel verteilte. Diese Verteilung konnte postinterventionell mittels einer stark T2-gewichteten SPIR (engl. Spectral Presaturation with Inversion Recovery)- Sequenz überprüft werden (vgl. Abb. 1d).

### **3.3. Bildgesteuerte minimal-invasive Behandlung von Osteoidosteomen**

Osteoidosteome sind benigne Knochentumoren, welche einen hypervaskularisierten zentralen Nidus aufweisen, welcher von reaktivem sklerotischem Knochen umgeben ist. Betroffene Patienten sind zumeist männlich, jünger als 25 Jahre und weisen typische Symptome wie einen vor allem nachts vorkommenden lokalen stechenden Schmerz auf, welcher in der Regel gut auf nicht-steroidale Antiphlogistika anspricht. Die Kombination aus den typischen klinischen Beschwerden und dem Erscheinungsbild in Röntgenbild, CT oder MRT erlauben eine verlässliche Diagnosestellung (7).

Neben der früher üblichen chirurgischen Behandlung mittels Exzision konnten in den vergangenen Jahren mit der bildgesteuerten Thermoablation mittels Radiofrequenzablation (RFA) und Laser-Ablation (LA) zwei minimal-invasive Techniken etabliert werden, welche verglichen mit der offenen chirurgischen Resektionstechnik mit einem mindestens gleichwertigen medizinischen Ergebnis einhergehen und dabei wesentlich weniger invasiv sind (8). Die RFA von Osteoidosteomen wird in der Regel mittels CT-Steuerung durchgeführt. Im Gegensatz hierzu kann die LA aufgrund der MR-Tauglichkeit der Ablationsfaser auch

unter MR-Bildgebung vorgenommen werden, welche ohne eine Strahlenexposition der zumeist jungen Patienten auskommt.

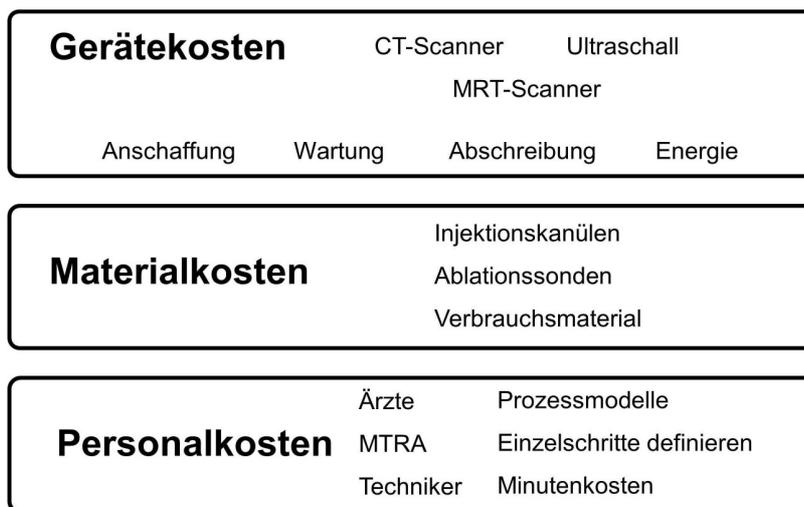
Beide Verfahren wurden an den Patienten in unseren beiden Patientenkollektiven unter Vollnarkose durchgeführt. Bei der RFA unter CT-Fluoroskopie konnte der hypodense und von einem hyperdensen Sklerosesaum umgebene Nidus leicht lokalisiert und mit Hilfe eines konventionellen Knochenbohrers ein 3 mm durchmessender knöcherner Zugangsweg geschaffen werden. Anschließend wurde eine Ablationssonde in den Nidus eingebracht und für 3-7 Minuten eine Ablation bei etwa 60-90° Celsius bei 3-20 Watt vorgenommen. Als eine alternative Methode der Therapiesteuerung wurde unter MRT-Fluoroskopie mittels T1w Turbo-Spin-Echo (TSE)-Sequenzen zunächst der Nidus lokalisiert und sodann mit Hilfe einer MR-kompatiblen Knochenbiopsie-Nadel angebohrt. Über eine Koaxialnadel wurde sodann die Spitze einer Laserfaser in den Nidus vorgeführt. Unter Applikation einer Energie von 2-3 Watt wurde das Osteoidosteom mit einem Nd:YAG Laser behandelt. Nach der Intervention wurde abschließend gadoliniumhaltiges Kontrastmittel intravenös verabreicht, um die vollständige Behandlung des hypervaskularisierten Nidus zu überprüfen.

### **3.4. Kosten-Kosten-Vergleichsanalysen in der interventionellen Radiologie**

Bei der Anwendung von Kosten-Kosten-Analysen für einen Vergleich radiologisch-interventioneller Verfahren wie der periradikulären Schmerztherapie unter CT- und MRT-Steuerung oder der Behandlung von Osteoidosteomen mittels CT-gesteuerter Radiofrequenzablation und der MRT-gesteuerten Laserablation sind jeweils Kosten-Analysen der Einzelverfahren durchzuführen. Dabei hat sich aus Sicht von Anbietern radiologischer Dienstleistungen eine Fokussierung auf direkte Kosten wie Gerätenutzungs-, Personal- und Materialkosten bewährt (vgl. Abb. 2). Zur Berechnung von Personalkosten für die unterschiedlichen Verfahren wurden Prozessmodelle mit sämtlichen notwendigen Einzelschritten für eine Leistung aufgestellt und jedem Schritt die Art des benötigten Personals (z. B. Arzt, MTRA) und die durchschnittliche Dauer eines Einzelschritts zugeordnet. Auf der Grundlage der geltenden Tarifverträge konnten so die Personalminutenkosten, die Kosten je Einzelschritt und als deren Summe die Gesamtpersonalkosten je Intervention berechnet werden. Die Gerätenutzungskosten bezogen die Kosten für die Anschaffung, Abschreibung und die Wartung der verwendeten Geräte wie den CT- und MRT-Scanner und deren Energiekosten mit ein. Unter Kenntnis der jährlichen Nutzungsdauer und der Energiekosten ließen sich dann die Minutennutzungskosten und unter Kenntnis der durchschnittlichen Interventionsdauer die Gerätenutzungskosten berechnen. Die Material-

kosten (z. B. für Injektionskanülen, RFA-Sonde, sterile Tücher) für die verschiedenen Verfahren konnten als Summe der jeweiligen Einkaufspreise berechnet werden. Die durchschnittlichen Gesamtkosten je Intervention ergaben sich als die Summe aus den durchschnittlichen Personal-, Gerätenutzungs- und Materialkosten.

### Verschiedene zu erfassende Kostenarten bei Kosten-Analysen



**Abbildung 2:** Kostenbestandteile zur Erfassung der Gesamtkosten verschiedener radio-logisch-interventioneller Verfahren zur Durchführung periradikulärer Schmerztherapien und der Ablation von Osteoidosteomen. Dabei werden Gerätenutzungs-, Personal- und Materialkosten berücksichtigt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Medizinisches Ergebnis der MR-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Halswirbelsäule

In einem Zeitraum von September 2009 bis April 2012 hatten 21 Patienten (9 Männer, 12 Frauen, Durchschnittsalter  $47,1 \pm 11,1$  Jahre) eine periradikuläre Schmerztherapie an der Halswirbelsäule unter MR-fluoroskopischer Steuerung erhalten. Sämtliche Patienten wiesen radikulär ausstrahlende Schmerzen in den Arm der betroffenen Seite auf, die bisher durch ein mindestens 6-monatiges konservatives Therapieschema bestehend aus Analgetika und Physiotherapie nicht mehr ausreichend zu behandeln waren und daher von den Kliniken für Neurochirurgie oder Orthopädie der Charité zur Durchführung einer minimal-invasiven Schmerztherapie in unsere Klinik überwiesen worden waren. Bei sämtlichen Patienten lag eine präinterventionelle MRT der Halswirbelsäule vor, die eine Bedrängung einer cervikalen Nervenwurzel bedingt durch eine Bandscheibenprotrusion oder degenerative Veränderungen innerhalb eines Halswirbelsäulensegmentes zeigte.

Die Interventionen konnten bei allen 21 Patienten technisch erfolgreich durchgeführt werden. Komplikationen wie beispielsweise neurologische Defizite traten nicht auf. Die durchschnittlichen VNRS-Scores im Patientenkollektiv stellten sich wie folgt dar:  $7,42 \pm 1,67$  vor der Intervention,  $3,86 \pm 1,53$  nach 1 Woche,  $3,21 \pm 2,19$  nach 1 Monat,  $2,58 \pm 2,54$  nach 3 Monaten und  $2,76 \pm 2,63$  nach 6 Monaten zum Ende der Nachverfolgungsperiode. Damit waren die VNRS-Scores zu allen Zeitpunkten des Nachbetrachtungszeitraumes verglichen mit den präinterventionellen Scores signifikant niedriger (Mann-Whitney U-Test;  $p < 0,001$ ). Dabei wiesen 1 Woche postinterventionell 3 von 21 Patienten (14,3%) vollständig rückläufige Schmerzen auf, jeweils 8 Patienten (38,1%) zeigten einen erheblichen oder moderaten Schmerzurückgang und 2 Patienten (9,5%) wiesen keine Besserung der Schmerzsymptomatik auf. Am Ende des 6-monatigen Nachbeobachtungszeitraumes berichteten 6 von 19 Patienten (31,6%) von vollständig rückläufigen Schmerzen, 7 Patienten (36,8%) von einer erheblichen Verbesserung und jeweils 3 Patienten (15,8%) von einer moderaten oder gar keiner Verbesserung hinsichtlich des subjektiv wahrgenommenen Schmerzes.

## **4.2. Medizinisches Ergebnis der MRT-gesteuerten periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule**

In einem Zeitraum von April 2008 bis November 2011 wurden 249 MR-fluoroskopisch gesteuerte periradikuläre Schmerztherapien an der Lendenwirbelsäule bei insgesamt 141 Patienten vorgenommen. Sämtliche Patienten wiesen eine einseitige Radikulopathie an einem Segment der Lendenwirbelsäule auf. Ursache hierfür war jeweils die foraminale Bedrängung einer einzelnen Nervenwurzel durch Bandscheibenmaterial oder durch ossäre bzw. ligamentäre Strukturen bei Degenerationen der Facettengelenke, welche durch eine präinterventionelle Bildgebung (MRT oder CT) bestätigt worden war.

Sämtliche 249 Injektionen bei den 141 Patienten konnten technisch erfolgreich durchgeführt werden. Im Nachbetrachtungszeitraum wurden insgesamt 38 Patienten aus der Analyse ausgeschlossen, davon 12 Patienten, die Injektionen an verschiedenen Seiten und mehr als einem Segment erhalten hatten, 22 Patienten, die sich einer offenen chirurgischen Intervention unterziehen mussten und weitere 4 Patienten, die keine weitere Nachbetrachtung wünschten. Somit konnten insgesamt 103 Patienten in die Nachbetrachtung des medizinischen Ergebnisses einbezogen werden (57 Männer, 46 Frauen, Durchschnittsalter 46,5 Jahre, Spanne 20-80 Jahre). Der durchschnittliche VAS-Schmerzscore konnte von  $7,09 \pm 1,65$  präinterventionell signifikant auf  $2,5 \pm 2,04$  Punkte postinterventionell gesenkt werden (Mann-Whitney U-Test;  $p < 0,001$ ). Dabei waren zum Ende des Nachbetrachtungszeitraumes nach 6 Monaten von den 103 einbezogenen Patienten 15 Patienten (14,6%) vollkommen schmerzfrei, 55 Patienten (53,4%) wiesen eine erhebliche Verbesserung der Schmerzsymptomatik auf, 23 Patienten (22,3%) zeigten eine milde Verbesserung und bei 10 Patienten (9,7%) war keine Besserung festzustellen.

## **4.3. Kostenvergleich der periradikulären Schmerztherapie an der Halswirbelsäule**

Im Zeitraum von September 2009 bis Mai 2012 hatten 22 Patienten (9 Männer, 13 Frauen, Durchschnittsalter  $48,2 \pm 10,1$  Jahre) eine MRT-gesteuerte periradikuläre Schmerztherapie einseitig an einem Segment der Halswirbelsäule erhalten. Im gleichen Zeitraum wurden weitere 64 Patienten (34 Männer, 30 Frauen, Durchschnittsalter  $50,3 \pm 10,0$  Jahre) mittels CT-fluoroskopischer Therapiesteuerung an der Halswirbelsäule behandelt. Die Intervention konnte bei sämtlichen Patienten technisch erfolgreich durchgeführt werden.

Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Interventionszeiten ( $24,9 \pm 6,3$  Minuten je MRT-gesteuerter PRT; präinterventionelle Vorbereitungszeit durchschnittlich 22 Minuten, postinterventionelle durchschnittliche Nachbereitungszeit 9 Minuten;  $19,7 \pm 7,9$  Minuten je

CT-fluoroskopischer PRT, Vorbereitungszeit durchschnittlich 20 Minuten, Nachbereitungszeit durchschnittlich 9 Minuten) und der hierdurch bedingten Personalbindungszeiten ergaben sich durchschnittliche Personalkosten in Höhe von € 46 je MRT-gesteuerter PRT und in Höhe von € 40 für eine CT-fluoroskopisch gesteuerte Intervention. Für das Verbrauchsmaterial ergaben sich Kosten in Höhe von € 44 unter MRT- und von € 25 unter CT-Steuerung. Die Gerätenutzungskosten betragen € 150 je MRT-gesteuerter und € 60 je CT-gesteuerter Intervention. Insgesamt konnten durchschnittliche Gesamtkosten in Höhe von € 240 für eine MR-fluoroskopisch und von € 124 für eine CT-fluoroskopisch gesteuerte periradikuläre Schmerztherapie an der Halswirbelsäule ermittelt werden. Im Vergleich hierzu wurde die Höhe der Kosten für eine alternativ mögliche Steuerung der Therapie mittels Ultraschall abgeschätzt. Hierbei ergaben sich Gesamtkosten in Höhe von etwa € 76, hierunter Gerätenutzungskosten von € 12, Personalkosten von € 40 und Materialkosten analog zur CT-fluoroskopischen Steuerung von € 25.

Die approximierte durchschnittliche effektive Dosis bei der Verwendung der CT als therapiesteuerndes Verfahren betrug  $0,48 \pm 0,51$  mSv. Diese war bei 17 von 64 Patienten, die mittels CT-Steuerung behandelt wurden und aufgrund erheblicher degenerativer Veränderungen vorab einen kurzen Spiral-Planungsscan benötigten, mit durchschnittlich  $0,85 \pm 0,48$  mSv signifikant höher als bei den Patienten ohne einen solchen Planungsscan (t-Test,  $p < 0,001$ ).

#### **4.4. Kostenvergleich der periradikulären Schmerztherapie an der Lendenwirbelsäule**

Es wurden 90 Patienten (54 Männer, 36 Frauen, Durchschnittsalter  $45,5 \pm 12,8$  Jahre), welche in einem Zeitraum von Juli 2009 bis Dezember 2011 mittels MRT-gesteuerter PRT und weitere 91 Patienten (49 Männer, 43 Frauen, Durchschnittsalter  $59,1 \pm 13,8$  Jahre, Zeitraum November 2010 bis Dezember 2011), welche mittels CT-fluoroskopischer Steuerung behandelt wurden, in die Auswertung einbezogen. Sämtliche Interventionen mit beiden bildgesteuerten Verfahren konnten technisch erfolgreich durchgeführt werden.

Bei einer durchschnittlichen Interventionszeit von  $20,7 \pm 3,4$  Minuten und weiteren durchschnittlich 27 Minuten Vor- und 9 Minuten Nachbereitungszeit ergaben sich durchschnittliche Gesamtkosten in Höhe von € 176 je MRT-gesteuerter PRT. Diese setzten sich aus € 43 für das Personal, € 41 für das Verbrauchsmaterial und € 93 für die Gerätenutzung zusammen. Im Gegensatz hierzu ergaben sich bei einer durchschnittlichen Interventionszeit von  $14,4 \pm 5,2$  Minuten (zusätzlich durchschnittlich 25 Minuten Vor- und 9 Minuten Nachbereitungszeit) durchschnittliche Gesamtkosten von € 88 je CT-gesteuerter

Schmerztherapie. Diese setzten sich aus durchschnittlich € 35 Personalkosten, € 24 Materialkosten und € 29 Gerätenutzungskosten zusammen. Die Gesamtdurchschnittskosten je Patient waren damit für eine MRT-gesteuerte Intervention in etwas doppelt so hoch wie diejenigen für eine CT-gesteuerte Intervention.

Bei den unter CT-Fluoroskopie durchgeführten Interventionen ergab sich in dem einbezogenen Patientenkollektiv ein durchschnittliches Dosis-Längen-Produkt von 38,2 mGy\*cm. In einer Subgruppe von 14 Patienten, die zur besseren Planung des Zugangsweges für die Intervention einen kurzen Spiral-CT-Scan der Halswirbelsäule benötigten, war das durchschnittliche Dosis-Längen-Produkt je Intervention mit 163,9 mGy\*cm hingegen signifikant höher (t-Test,  $p < 0,001$ ).

#### **4.5. Kostenvergleich der minimal-invasiven Verfahren zur Behandlung von Osteoidosteomen**

Es wurden 20 Patienten (14 männlich, 6 weiblich, Durchschnittsalter  $20,3 \pm 9,1$  Jahre), die CT-fluoroskopisch gesteuerte Radiofrequenzablation eines Osteoidosteoms erhalten hatten, und weitere 24 mittels MRT-gesteuerte Laserablation behandelte Patienten (18 männlich, 6 weiblich, Durchschnittsalter  $23,8 \pm 13,8$  Jahre) in die Analyse einbezogen. Dabei ergaben sich durchschnittliche Gesamtkosten in Höhe von € 1762 für eine CT-gesteuerte RFA und von € 1417 für eine MR-fluoroskopisch gesteuerte Laserablation. Diese Kosten setzten sich aus jeweils durchschnittlichen Kostenverhältnissen (CT-gesteuerte RFA / MR-gesteuerte LA) von € 149 / € 208 für das Personal, € 870 / € 300 je Patient für die Materialkosten und € 93 / € 260 für die Gerätenutzung zusammen.

## 5. Diskussion

Voraussetzung für eine gesundheitsökonomische Evaluation mit einem Vergleich verschiedener radiologisch-interventioneller Verfahren war zunächst deren Gleichwertigkeit hinsichtlich des medizinischen Ergebnisses. Unsere Studien zur periradikulären Schmerztherapie zeigten eine sehr hohe technische Erfolgsrate von 100%, wobei die PRT bei sämtlichen Patienten sowohl an der HWS als auch an der LWS erfolgreich durchgeführt werden konnte. Diese technische Erfolgsrate war somit ähnlich hoch wie bei dem bisher etablierten und weit verbreiteten Verfahren der CT-gesteuerten Intervention.

Hinsichtlich der Wirkung der MRT-gesteuerten PRT an der HWS stellte sich diese in unserer Studie mit einem vergleichbar guten medizinischen Ergebnis wie unter Steuerung mit anderen Arten der therapeutischen Steuerung dar. So verglichen Jee et al. (9) unter Verwendung einer visuellen Analog-Skala (VAS) die Verbesserung der Schmerzsymptomatik durch eine PRT an der HWS unter Verwendung von Ultraschall und Fluoroskopie. Die präinterventionellen durchschnittlichen VAS-Scores in zwei Gruppen mit je 55 Patienten waren 6,06 (Fluoroskopie-Gruppe) und 6,15 (Ultraschall-Gruppe; unserer Patientenkollektiv: 7,42). Auch postinterventionell wurden wie in unserem Kollektiv eine signifikante Verbesserung der Schmerzsymptomatik festgestellt nach 2 Wochen (Fluoroskopie: 3,17; Ultraschall: 3,2; unserer Kollektiv nach 1 Woche: 3,21) und 12 Wochen (Fluoroskopie: 2,61; Ultraschall: 2,62; unserer Kollektiv: 2,76). Wolter et al. (10) fanden in einer Studie zur Wirksamkeit der CT-gesteuerten PRT an der HWS präinterventionelle VAS-Scores von durchschnittlich 5,57 (unser Kollektiv: 7,42), unmittelbar postinterventionell dann eine Reduzierung auf durchschnittlich 1,52 (unser Kollektiv: 3,21).

Auch das an der Lendenwirbelsäule von uns erzielte medizinische Outcome mittels der MRT-gesteuerten PRT ging durchschnittlich mit einer signifikanten Verbesserung der Schmerzsymptomatik einher und entsprach dabei dem aus der Literatur bekannten mittels CT-Steuerung erzielbarem Outcome. So fanden Lee et al. (11) bei PRT-Behandlungen an der Lendenwirbelsäule mit einem präinterventionellen VAS-Score von durchschnittlich 7,3 (unsere Studie: durchschnittlich 7,09) eine Reduzierung der in die Beine ausstrahlenden Schmerzen auf durchschnittlich 3,8 nach 3 Monaten (unsere Studie: durchschnittlich 2,5). Bei Wewalka et al. (12) zeigte sich bei einer durchschnittlichen Schmerzbewertung von 6,59 präinterventionell sodann nach 3 Monaten postinterventionell eine durchschnittliche Reduzierung auf 1,94 VAS-Score-Punkte.

Das medizinische Ergebnis bei der Behandlung von Osteoidosteomen ist bei einer Therapiesteuerung mittels CT-gesteuerter RFA und einer MRT-gesteuerten Laserablation als gleichwertig anzusehen. In unserem Kollektiv konnte die Ablation bei sämtlichen 20 Pati-

enten mittels CT-Steuerung und den weiteren 24 mittels MRT-Steuerung behandelten Patienten erfolgreich durchgeführt werden. Die MR-fluoroskopische Laserablation wies darüber hinaus verschiedene Vorteile auf: Durch den in der MR-Bildgebung üblichen ausgezeichneten Weichteilkontrast konnten Risikostrukturen wie Gefäße und Nerven sicher identifiziert werden und die Gefahr deren Verletzung im Rahmen der Intervention weitgehend minimiert werden. Neben einer fehlenden Strahlenexposition weist die MRT zudem den Vorteil auf, dass eine Erfolgskontrolle in gleicher Sitzung mit der Behandlung möglich ist. Durch die intravenöse Gabe von gadoliniumhaltigem Kontrastmittel und der Anfertigung von Subtraktionssequenzen konnte sichergestellt werden, dass keine verbliebenen hypervaskularisierten Anteile des Nidus mehr vorhanden waren. Im Gegensatz zur CT-gesteuerten Radiofrequenzablation ergab sich damit bereits im Rahmen der Ablation der Nachweis einer erfolgreichen Behandlung.

Da grundsätzlich ein gleichwertiges medizinisches Ergebnis bei den verschiedenen Arten der Therapiesteuerung der PRT an der HWS und der LWS sowie bei den beiden Methoden zur Behandlung von Osteoidosteomen vorlag, konnten die vergleichenden Kosten-Kosten-Analysen zur gesundheitsökonomischen Evaluation durchgeführt werden. Die MRT-gesteuerte PRT an der HWS und der LWS war dabei jeweils mit in etwa doppelt so hohen Kosten verbunden wie die CT-gesteuerte Intervention (HWS: € 240 vs. € 124; LWS: € 177 vs. € 88). Maßgeblich waren dabei vor allem die bis zu 3,2-fach höheren Gerätenutzungskosten für die Verwendung eines MRT-Systems verglichen mit einem Computertomographen bedingt durch höhere Anschaffungs- und Wartungskosten für Magnetresonanztomographen. Gerade bei den Gerätenutzungskosten besteht allerdings noch erhebliches Potenzial für weitere Kostensenkungen. So würde eine interdisziplinäre Verwendung von offenen MR-Systemen z. B. innerhalb größerer Kliniken zu geringeren Minutennutzungskosten führen. Schnellere MR-Sequenzen, eine interaktive Auswahl geeigneter Schichtebenen im Rahmen der Intervention mit einer MR-kompatiblen Maus und vor allem eine noch mögliche Lernkurve des jeweiligen Interventionalisten könnten die Gerätenutzungszeiten und damit die Kosten noch weiter senken. Darüber hinaus wäre die Verwendung von MRT-Systemen mit niedrigen Feldstärken (z. B. 0,23 Tesla) möglich. Alanen et al. (13) beschrieben bei der Verwendung eines solchen Niedrigfeldstärken-Systems für MRT-gesteuerte Biopsien lediglich 1,82-fach höhere Kosten verglichen mit einer CT-Steuerung. In dem von uns durchgeführten Kostenvergleich für Schmerztherapien an der Lendenwirbelsäule hätte die Verwendung eines solchen Niedrigfeldstärkensystems zu dann nur noch 1,3-fach höheren Gerätenutzungskosten geführt.

Neben den Gerätenutzungskosten trugen die durchschnittlich etwa 1,7-fach höheren Kosten für die verwendeten Verbrauchsmaterialien der MRT-gesteuerten PRT zu höheren Gesamtkosten bei. Maßgeblich waren hierbei vor allem die höheren Kosten für die MR-kompatiblen Injektionskanülen, welche verglichen mit den herkömmlichen in der CT-Intervention nutzbaren Kanülen aktuell immer noch ein Vielfaches kosten (€ 25 vs. € 3, Faktor 8,2). Allerdings war in den vergangenen Jahren bereits eine erhebliche Reduzierung im Preis für MR-kompatible Verbrauchsmaterialien zu verzeichnen, und auch in Zukunft wird bei höherer Nachfrage und Produktionsmenge mit tendenziell degressiven Produktionskosten und Einkaufspreisen zu rechnen sein.

Die höheren Personalkosten bei der MRT-Steuerung der PRT an HWS und LWS waren jeweils bedingt durch längere Interventionszeiten innerhalb des MR-Scanners (HWS: 24,9 Min (MRT) vs. 19,7 Min (CT); LWS: 20,7 Min (MRT) vs. 14,4 Min (CT)). Da diese mittels MRT-Steuerung jedoch nur gering höher waren, ergaben sich jeweils auch nur gering höhere Personalkosten (Faktor 1,16 an der HWS und 1,21 an der LWS). Dabei waren die Interventionszeiten unter MRT-Steuerung geringer als in einer Studie von Sequeiros et al. (14), bei denen sich für MRT-gesteuerte Schmerztherapien an der Lendenwirbelsäule in einem 0,23 Tesla Niederfeld-MRT-System eine Interventionszeit von durchschnittlich 33 Minuten (Spanne 9-84 Minuten) ergab.

Bei der Behandlung von Osteoidosteomen ergaben sich ebenfalls höhere Kosten für die Nutzung des MRT-Systems mit € 260 je Patient verglichen mit € 92 je Patient für eine CT-gesteuerte Intervention. Da die Laserablation im MR-System mit erheblich längeren Interventionszeiten einherging (durchschnittlich 70 Minuten vs. 30 Minuten bei der CT-Steuerung) waren auch die Personalkosten in dem mit Hilfe der MRT-Steuerung behandelten Patientenkollektiv mit durchschnittlich € 208 um das 1,39-fache höher als in dem mittels CT-gesteuerter Radiofrequenzablation behandelten Kollektiv.

Dennoch ergaben sich anders als in den Studien zur PRT geringere Gesamtkosten für die MRT-gesteuerte Laserablation. Dies war maßgeblich bedingt durch die erheblich höheren Kosten für die verwendeten Radiofrequenzablationssonden mit Stückkosten von € 846, welche nicht sterilisierbar sind und nur bei einem einzelnen Patienten verwendet werden können. Bedingt durch die erhebliche geringeren Kosten für die MR-taugliche Laserfaser (€ 46 je Patient) ergaben sich für die MRT-gesteuerten Interventionen trotz der deutlich höheren Gerätenutzungs- und Personalkosten somit insgesamt geringere Gesamtkosten verglichen mit der CT-gesteuerten RFA.

Zusammenfassend ergab sich in unseren Kostenvergleichsanalysen zur PRT an der HWS und der LWS, dass die MRT-Steuerung weiterhin jeweils etwa doppelt so hohe Kosten je Patient verursacht als eine Steuerung mittels CT. Ursächlich hierfür sind vor allem die höheren Gerätenutzungskosten durch höhere Anschaffungs- und Wartungskosten der MRT-Systeme und die höheren Kosten für MR-kompatible Injektionskanülen. Hingegen unterschieden sich die Personalkosten in nur geringem Maße, da die MRT-Steuerung nur gering längere Interventionszeiten verursachte.

Anders stellte sich die Kostensituation bei der Behandlung von Osteoidosteomen unter MR- und CT-fluoroskopischer Bildgebung dar. Zwar waren bei längeren Interventionszeiten die Kosten für die Gerätenutzung und das Personal unter MRT-Steuerung höher, jedoch ergaben sich trotzdem höhere Gesamtkosten für die CT-Steuerung bedingt durch die im Vergleich sehr hohen Kosten der nicht sterilisierbaren und damit nur bei jeweils einem Patienten verwendbaren Radiofrequenzablationssonde. Das bisher häufig anzutreffende Vorurteil, dass eine MRT-Steuerung stets mit höheren Kosten als andere Therapiesteuerungsverfahren assoziiert ist, konnte somit widerlegt werden. Zwar sind die Gerätekosten der MRT-Steuerung zweifelsohne höher als diejenigen anderer Verfahren, aber vielmehr müssen auch die weiteren Kostenkomponenten und hierbei vor allem die stark ins Gewicht fallenden Materialkosten berücksichtigt werden. Zukünftig könnte sich das Kostenverhältnis sogar noch weiter zu Gunsten MRT-gesteuerter Interventionsverfahren verbessern, da mit weiter sinkenden Kosten für MR-taugliche Materialien zu rechnen ist. Da die MRT-Steuerung ohne eine Strahlenexposition für die Patienten auskommt, vermögen die MRT-gesteuerte PRT an der Hals- und der Lendenwirbelsäule ebenso wie die MRT-gesteuerte Laserablation von Osteoidosteomen zu einer vielversprechenden Alternative in der Behandlungssteuerung zu werden.

Zukünftig wäre ein sinnvoller Kostenvergleich noch bei verschiedenen weiteren radiologischen Diagnostik- und Therapieverfahren möglich, die als jeweils konkurrierende Verfahren zu einem gleichwertigen medizinischen Outcome führen. Bei der Gefäßdiagnostik ließen sich beispielsweise die konventionelle invasive Angiographie mit der nicht-invasiven CT- und MRT-Gefäßdiagnostik vergleichen. Unter den Verfahren für eine Herzdiagnostik könnte die Szintigraphie des Herzmuskels mit den neueren alternativen Verfahren der MR- oder CT-Perfusion verglichen werden. Schließlich ließen sich unter den therapeutischen Verfahren die Kosten für invasive Embolisationen von Uterusmyomen mit denjenigen eines nicht-invasiven Therapieansatzes mittels fokussiertem Ultraschall einander gegenüberstellen.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Saini S, Seltzer SE, Bramson RT, et al. Technical cost of radiologic examinations: analysis across imaging modalities. *Radiology* 2000; 216:269-272.
2. Schöffski O. Grundformen gesundheitsökonomischer Evaluationen. In: Schöffski O, Graf von der Schulenburg JM, Hrsg. *Gesundheitsökonomische Evaluationen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012; Seiten 43-70.
3. Huppertz A, Schmidt M, Wagner M, et al. Whole-body MR imaging versus sequential multimodal diagnostic algorithm for staging patients with rectal cancer: Cost analysis. *Fortschr Röntgenstr* 2010; 182:793-802.
4. Martin BI, Deyo RA, Mirza SK, et al. Expenditures and health status among adults with back and neck problems. *JAMA* 2008; 299:656-664.
5. Deyo RA, Weinstein JN. Low back pain. *N Engl J Med* 2001; 344:363-370.
6. Nawfel RD, Judy PF, Silverman SG, Hooton S, Tuncali K, Adams DF. Patient and personnel exposure during CT fluoroscopy-guided interventional procedures. *Radiology* 2000; 216:180-184.
7. Greenspan A. Benign bone-forming lesions: osteoma, osteoid osteoma, and osteoblastoma. Clinical, imaging, pathologic, and differential considerations. *Skeletal Radiol* 1993; 22:485-500.
8. Gebauer B, Tunn PU, Gaffke G, Melcher I, Felix R, Stroszczyński C. Osteoid osteoma: experience with laser- and radiofrequency-induced ablation. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2006; 29:210-215.
9. Jee H, Lee JH, Kim J, Park KD, Lee WY, Park Y. Ultrasound-guided selective nerve root block versus fluoroscopy-guided transforaminal block for the treatment of radicular pain in the lower cervical spine: A randomized, blinded, controlled study. *Skeletal Radiol* 2013; 42:69-78.
10. Wolter T, Knoeller S, Berlis A, Hader C. CT-guided cervical selective nerve root block with a dorsal approach. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010; 31:1831-1836.
11. Lee KS, Lin CL, Hwang SL, Hwang SL, Wang CK. Transforaminal periradicular infiltration guided by CT for unilateral sciatica--an outcome study. *Clin Imaging* 2005; 29:211-214.
12. Wewalka M, Abdelrahimsai A, Wiesinger GF, Uher EM. CT-guided transforaminal epidural injections with local anesthetic, steroid, and tramadol for the treatment of persistent lumbar radicular pain. *Pain Physician* 2012; 15:153-159.
13. Alanen J, Keski-Nisula L, Blanco-Sequeiros R, Tervonen O. Cost comparison analysis of low-field (0.23 T) MRI- and CT-guided bone biopsies. *Eur Radiol* 2004; 14:123-128.
14. Sequeiros RB, Ojala RO, Klemola R, Vaara TJ, Jyrkinen L, Tervonen OA. MRI-guided periradicular nerve root infiltration therapy in low-field (0.23-T) MRI system using optical instrument tracking. *Eur Radiol* 2002; 12:1331-1337.

## 7. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Martin Maurer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

**„Gesundheitsökonomische Evaluation bildgesteuerter Therapieverfahren  
in der interventionellen Radiologie“**

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 27.12.2013

---

Martin Maurer

## **Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen**

Martin Maurer hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

### **Publikation 1:**

**Maurer MH**, Disch AC, Hartwig T, Renz DM, Schreiter N, Hamm B, Streitparth F. Outcome Study of Real-time MR-guided Cervical Periradicular Injection Therapy in an Open 1.0 Tesla MRI System. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2013; Sep 18. [Epub ahead of print].

**Impact Faktor 2012: 2,138**

**Zeitschriften-Rang (Kategorie: Radiologie, Nuklearmedizin & Medizinische Bildgebung): 43 von 120**

**Eigenfaktor: 0,00963**

**Beitrag im Einzelnen: 50%**

- Datenerhebung
- Statistische Auswertung
- Erstellung des Artikelmanuskripts

### **Publikation 2:**

Streitparth F, De Bucourt M, Hartwig T, Leidenberger T, Rump J, Walter T, **Maurer M**, Renz D, Stelter L, Wiener E, Hamm B, Teichgräber U.

Real-time MR-guided lumbosacral periradicular injection therapy using an open 1.0-T MRI system: an outcome study. *Investigative Radiology* 2013; 48(6):471-6.

**Impact Faktor 2012: 5,460**

**Zeitschriften-Rang (Kategorie: Radiologie, Nuklearmedizin & Medizinische Bildgebung): 7 von 120**

**Eigenfaktor: 0,01225**

**Beitrag im Einzelnen: 15%**

- Mitarbeit bei der Datenerhebung und statistischen Auswertung
- Überarbeitung des Artikelmanuskripts

### **Publikation 3:**

**Maurer MH**, Froeling V, Röttgen R, Bretschneider T, Hartwig T, Disch AC, De Bucourt M, Hamm B, Streitparth F.

MRI-guided and CT-guided cervical nerve root infiltration therapy: A cost comparison. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren (RöFo) 2013; Dez 17. [Epub ahead of print].

#### **Beitrag im Einzelnen: 70%**

- Idee und Konzept der Studie
- Durchführung eines erheblichen Anteils der Interventionen in den in die Studie einbezogenen Patientenkollektiven
- Datenerhebung und deren statistische Auswertung
- Erstellung des Artikelmanuskripts

### **Publikation 4:**

**Maurer MH**, Schreiter N, de Bucourt M, Grieser C, Renz DM, Hartwig T, Hamm B, Streitparth F.

Cost comparison of nerve root infiltration of the lumbar spine under MRI and CT guidance. European Radiology 2013; 23(6):1487-1494.

#### **Impact Faktor 2012: 3,548**

**Zeitschriften-Rang (Kategorie: Radiologie, Nuklearmedizin & Medizinische Bildgebung): 19 von 120**

#### **Eigenfaktor: 0,03329**

#### **Beitrag im Einzelnen: 70%**

- Idee und Konzept der Studie
- Durchführung eines erheblichen Anteils der Interventionen in den in die Studie einbezogenen Patientenkollektiven
- Datenerhebung und deren statistische Auswertung
- Erstellung des Artikelmanuskripts

**Publikation 5:**

**Maurer MH**, Gebauer B, Wieners G, De Bucourt M, Renz DM, Hamm B, Streitparth F. Treatment of osteoid osteoma using CT-guided radiofrequency ablation versus MR-guided laser ablation: a cost comparison. *European Journal of Radiology* 2012; 81(11):e1002-6.

**Impact Faktor 2012: 2,645**

**Zeitschriften-Rang (Kategorie: Radiologie, Nuklearmedizin & Medizinische  
Bildgebung): 41 von 120**

**Eigenfaktor: 0,02341**

**Beitrag im Einzelnen: 60%**

- Idee und Konzept der Studie
- Datenerhebung
- Statistische Auswertung der erhobenen Daten
- Erstellung des Artikelmanuskripts

Unterschrift des Doktoranden

---

(Priv.-Doz. Dr. med. M. Maurer)

## **8. Druckexemplare der ausgewählten Publikationen**

### **Publikation 1:**

**Maurer MH**, Disch AC, Hartwig T, Renz DM, Schreiter N, Hamm B, Streitparth F.  
Outcome study of real-time MR-guided cervical periradicular injection therapy in  
an open 1.0 Tesla MRI system. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2014;  
37(3):756-62.

DOI: 10.1007/s00270-013-0738-4.

**Impact Faktor 2012: 2,138**















**Publikation 2:**

Streitparth F, De Bucourt M, Hartwig T, Leidenberger T, Rump J, Walter T, **Maurer M**, Renz D, Stelter L, Wiener E, Hamm B, Teichgräber U.

Real-time MR-guided lumbosacral periradicular injection therapy using an open 1.0-T MRI system: an outcome study. *Investigative Radiology* 2013; 48(6):471-6.

DOI: 10.1097/RLI.0b013e31828362be.

**Impact Faktor 2012: 5,460**









**Publikation 3:**

**Maurer MH**, Froeling V, Röttgen R, Bretschneider T, Hartwig T, Disch AC, de Bucourt M, Hamm B, Streitparth F.

MRI-guided and CT-guided cervical nerve root infiltration therapy: a cost comparison.

Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren (RöFo) 2014; 186(6):559-66.

DOI: 10.1055/s-0033-1356169.















**Publikation 4:**

**Maurer MH**, Schreiter N, de Bucourt M, Grieser C, Renz DM, Hartwig T, Hamm B, Streitparth F.

Cost comparison of nerve root infiltration of the lumbar spine under MRI and CT guidance. *European Radiology* 2013; 23(6):1487-94.

DOI: 10.1007/s00330-012-2757-y.

**Impact Faktor 2012: 3,548**















**Publikation 5:**

**Maurer MH**, Gebauer B, Wieners G, De Bucourt M, Renz DM, Hamm B, Streitparth F.  
Treatment of osteoid osteoma using CT-guided radiofrequency ablation versus MR-guided laser ablation: a cost comparison. *European Journal of Radiology* 2012; 81(11):e1002-6.  
DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.07.010.

**Impact Faktor 2012: 2,645**









## **9. Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 10. Publikationsliste

### Publikationen als Erst- oder Letztautor

1. **Maurer MH**, Froeling V, Röttgen R, Bretschneider T, Hartwig T, Disch AC, de Bucourt M, Hamm B, Streitparth F. MRI-Guided and CT-Guided Cervical Nerve Root Infiltration Therapy: A Cost Comparison. *RöFo* 2013 Dec 17. [Epub ahead of print].
2. **Maurer M**. Controlling-Instrumente in der Radiologie. *Der Radiologe* 2013; 53(10):913-6.
3. Kahn J, Grupp U, **Maurer M**. How does arm positioning of polytraumatized patients in the initial computed tomography (CT) affect image quality and diagnostic accuracy? *European Journal of Radiology* 2013 Oct 16 [Epub ahead of print].
4. **Maurer MH**, Disch AC, Hartwig T, Renz DM, Schreiter N, Hamm B, Streitparth F. Outcome Study of Real-time MR-guided Cervical Periradicular Injection Therapy in an Open 1.0 Tesla MRI System. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2013 Sep 18 [Epub ahead of print].
5. **Maurer MH**, Schreiter N, de Bucourt M, Grieser C, Renz DM, Hartwig T, Hamm B, Streitparth F. Cost comparison of nerve root infiltration of the lumbar spine under MRI and CT guidance. *European Radiology* 2013; 23(6):1487-94.
6. **Maurer MH**, Synowitz M, Badakshi H, Lohkamp LN, Wüstefeld J, Schäfer ML, Wiener E. Glioblastoma multiforme versus solitary supratentorial brain metastasis: differentiation based on morphology and magnetic resonance signal characteristics. *RöFo* 2013;185(3):235-40.
7. **Maurer MH**, Teichgräber U, Kröncke TJ, Hamm B, Lemke AJ. Die Balanced Scorecard – Anwendungsmöglichkeiten in der Radiologie. *RöFo*. 2012; 184(12):1118-25.

8. **Maurer MH**, Gebauer B, Wieners G, De Bucourt M, Renz DM, Hamm B, Streitparth F. Treatment of osteoid osteoma using CT-guided radiofrequency ablation versus MR-guided laser ablation: a cost comparison. *European Journal of Radiology* 2012; 81(11):e1002-6.
9. **Maurer M**, Heine O, Wolf M, Durmus T, Wagner M, Hamm B. Tolerability and diagnostic value of gadoteric acid in the general population and in patients with risk factors: results in more than 84,000 patients. *European Journal of Radiology* 2012; 81(5):885-90.
10. Schreiter NF, Brenner W, Nogami M, Buchert R, Huppertz A, Pape UF, Prasad V, Hamm B, **Maurer MH**. Cost comparison of <sup>111</sup>In-DTPA-octreotide scintigraphy and <sup>68</sup>Ga-DOTATOC PET/CT for staging enteropancreatic neuroendocrine tumours. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 2012; 39(1):72-82.
11. **Maurer MH**, Winkler A, Wichlas F, Powerski MJ, Elgeti F, Huppertz A, Röttgen R, Marnitz T. Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie. *RöFo* 2012; 184(1):53-8.
12. **Maurer MH**, Zimmermann E, Schlattmann P, Germershausen C, Hamm B, Dewey M. Indications, imaging technique, and reading of cardiac computed tomography: survey of clinical practice. *European Radiology* 2012; 22(1):59-72.
13. **Maurer MH**, Mogl MT, Podrabsky P, Denecke T, Grieser C, Fröling V, Scheurig-Münkler C, Guckelberger O, Kroencke TJ. Splenic artery syndrome after orthotopic liver transplantation: treatment with the Amplatzer vascular plug. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2011;34(6):1208-13.
14. **Maurer M**, Heine O, Wolf M, Freyhardt P, Schnapauff D, Hamm B. Safety and tolerability of iobitridol in general and in patients with risk factors: results in more than 160,000 patients. *European Journal of Radiology* 2011; 80(2):357-62.
15. **Maurer MH**, Niehues SM, Schnapauff D, Grieser C, Rothe JH, Waldmüller D, Chopra SS, Hamm B, Denecke T. Low-dose computed tomography to detect body-packing in an animal model. *European Journal of Radiology* 2011; 78(2):302-6.

16. **Maurer MH**, Hamm B, Teichgräber U. ServiceBlueprinting as a service management tool in radiology. *European Journal of Radiology* 2011; 79(3):333-6.
17. **Maurer MH**, Stein E, Schreiter NF, Renz DM, Poellinger A. Gezielte Methoden zur Messung der Patientenzufriedenheit in einem radiologischen Versorgungszentrum (MVZ). *RöFo*. 2010; 182(11):965-72.
18. Huppertz A, Schmidt M, Wagner M, Puettcher O, Asbach P, Strassburg J, Stöckmann F, Schöffski O, **Maurer MH**. Whole-body MR imaging versus sequential multimodal diagnostic algorithm for staging patients with rectal cancer: cost analysis. *RöFo* 2010; 182(9):793-802.
19. **Maurer MH**, Hoffmann K, Sperling K, Varon R. High prevalence of the NBN gene mutation c.657-661del5 in Southeast Germany. *Journal of Applied Genetics* 2010; 51(2):211-4.
20. **Maurer MH**, Hamm B, Dewey M. Survey regarding the clinical practice of cardiac CT in Germany: indications, scanning technique and reporting. *RöFo* 2009; 181(12):1135-43.
21. **Maurer MH**, Gartenschläger S, Dietrich C. Giant epithelial-myoepithelial carcinoma of the parotid gland. *Clinical Imaging* 2009; 33(3):237-9.
22. **Maurer MH**, Beck A, Hamm B, Gebauer B. Central venous port catheters: evaluation of patients' satisfaction with implantation under local anesthesia. *Journal of Vascular Access* 2009; 10(1):27-32.
23. **Maurer MH**, Knopke S, Schröder RJ. Diagnostischer Zugewinn der 16-Zeilen-Ganzkörper-Spiral-CT bei polytraumatisierten Patienten differenziert nach Körperregion und Verletzungsschwere gemäß ATLS<sup>®</sup>-Konzept. *RöFo* 2008; 180(12):1117-23.

### Publikationen als Co-Autor

1. Froeling V, Meckelburg K, Schreiter NF, Scheurig-Muenkler C, Kamp J, **Maurer MH**, Beck A, Hamm B, Kroencke TJ. Outcome of uterine artery embolization versus MR-guided high-intensity focused ultrasound treatment for uterine fibroids: Long-term results. *European Journal of Radiology* 2013; 82(12):2265-9.
2. Rothe JH, Grieser C, Lehmkuhl L, Schnapauff D, Fernandez CP, **Maurer MH**, Mussler A, Hamm B, Denecke T, Steffen IG. Size determination and response assessment of liver metastases with computed tomography-Comparison of RECIST and volumetric algorithms. *European Journal of Radiology* 2013; 82(11):1831-9.
3. Froeling V, Meckelburg K, Scheurig-Muenkler C, Schreiter NF, Kamp J, **Maurer MH**, Beck A, Hamm B, Kroencke TJ. Midterm Results after Uterine Artery Embolization Versus MR-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Treatment for Symptomatic Uterine Fibroids. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2013; 36(6):1508-13.
4. Böttcher J, Hansch A, Pfeil A, Schmidt P, Malich A, Schneeweiss A, **Maurer MH**, Streitparth F, Teichgräber UK, Renz DM. Detection and classification of different liver lesions: Comparison of Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI versus multiphasic spiral CT in a clinical single centre investigation. *European Journal of Radiology* 2013; 82(11):1860-9.
5. Streitparth F, Hartwig T, Walter T, De Bucourt M, Putzier M, Strube P, Bretschneider T, Freyhardt P, **Maurer M**, Renz D, Gebauer B, Hamm B, Teichgräber UK. MR guidance and thermometry of percutaneous laser disc decompression in open MRI: an initial clinical investigation. *European Radiology* 2013; 23(10):2739-46.
6. Schäfer ML, **Maurer MH**, Synowitz M, Wüstefeld J, Marnitz T, Streitparth F, Wiener E. Low-grade (WHO II) and anaplastic (WHO III) gliomas: differences in morphology and MRI signal intensities. *European Radiology* 2013; 23(10):2846-53.
7. Freyhardt P, Hartwig T, De Bucourt M, **Maurer M**, Renz D, Gebauer B, Hamm B, Teichgräber UK, Streitparth F. MR-guided facet joint injection therapy using an open 1.0-T MRI system: an outcome study. *European Radiology* 2013; 23(12):3296-303.

8. Schreiter NF, Volkwein N, Schneider P, **Maurer MH**, Piper S, Schmitz C, Poellinger A. Optical imaging of breast cancer using hemodynamic changes induced by valsalva maneuver. *RöFo* 2013; 185(4):358-66.
9. Wagner M, Schilling R, Doebelin P, Huppertz A, Luhur R, Schwenke C, **Maurer M**, Hamm B, Taupitz M, Durmus T. Macrocyclic contrast agents for magnetic resonance imaging of chronic myocardial infarction: intraindividual comparison of gadobutrol and gadoterate meglumine. *European Radiology* 2013; 23(1):108-14.
10. Froeling V, Elgeti F, **Maurer MH**, Scheurig-Muenkler C, Beck A, Kroencke TJ, Pape UF, Hamm B, Brenner W, Schreiter NF. Impact of Ga-68 DOTATOC PET/CT on the diagnosis and treatment of patients with multiple endocrine neoplasia. *Annals of Nuclear Medicine* 2012; 26(9):738-43.
11. Renz DM, Böttcher J, Diekmann F, Poellinger A, **Maurer MH**, Pfeil A, Streitparth F, Colletini F, Bick U, Hamm B, Fallenberg EM. Detection and classification of contrast-enhancing masses by a fully automatic computer-assisted diagnosis system for breast MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 2012; 35(5):1077-88.
12. Schäfer ML, Böttcher J, Pfeil A, Hansch A, Malich A, **Maurer MH**, Streitparth F, Röttgen R, Renz DM. Comparison between amputation-induced demineralization and age-related bone loss using digital X-ray radiogrammetry. *Journal of Clinical Densitometry* 2012; 15(2):135-45.
13. Scheurig-Muenkler C, Lembcke A, Froeling V, **Maurer M**, Hamm B, Kroencke TJ. Uterine artery embolization for symptomatic fibroids: long-term changes in disease-specific symptoms and quality of life. *Human Reproduction* 2011; 26(8):2036-42.
14. Steffen J, Varon R, Mosor M, Maneva G, **Maurer M**, Stumm M, Nowakowska D, Rubach M, Kosakowska E, Ruka W, Nowecki Z, Rutkowski P, Demkow T, Sadowska M, Bidziński M, Gawrychowski K, Sperling K. Increased cancer risk of heterozygotes with NBS1 germline mutations in Poland. *International Journal of Cancer* 2004; 111(1):67-71.

## 11. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Kollegen und Betreuer dieser Dissertationsschrift, Herrn Priv.-Doz. Dr. Florian Streitparth, für die freundschaftliche Zusammenarbeit und dabei tatkräftige Unterstützung bei der Konzeption und Durchführung der einbezogenen Studie und der Manuskripterstellung der entsprechenden fünf Publikationen.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Bernd Hamm, dem Direktor der Klinik für Radiologie der Charité, der mich bei allen meinen wissenschaftlichen Projekten stets unterstützt hat.

Zudem möchte ich allen Co-Autoren der einbezogenen Studien danken, hierunter vor allem Herrn Dr. Tony Hartwig und Herrn Priv.-Doz. Dr. Alexander Disch aus dem Centrum für muskuloskeletale Chirurgie der Charité.

Eine Familie stellt immer die Basis für eine erfolgreiche berufliche Entwicklung dar. Mein besonderer Dank gilt daher meinen Eltern Dr. Gisela Maurer und Prof. Dr. Helmut Maurer sowie meinen Schwestern Priv.-Doz. Dr. Dr. Birgit Zirn und Dr. Andrea Kersebohm. Vor allem auch möchte ich meinen lieben Großeltern Resi und Hugo Kühl dafür danken, dass sie mich stets maßgeblich unterstützt haben. Hierdurch haben sie es mir ermöglicht, neben der Medizin das Studium der Betriebswirtschaftslehre sowie einen zusätzlichen Masterstudiengang in Health Business Administration erfolgreich abzuschließen.

Schließlich danke ich Claudia Thomé von ganzem Herzen für ihre unermüdliche Unterstützung, ihre Liebe und Motivation.