

Problemstellung Navigierte Leberchirurgie

Inhalt

2.1	Motivation	5
2.2	Funktionelle Anatomie der Leber	7
2.3	Leberresektionen	9
2.4	Navigierte Chirurgie	11

2.1 Motivation

Ein Anwendungsgebiet der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren ist der Bereich der navigierten Leberchirurgie. Dazu wollen wir an dieser Stelle einen kurzen Blick auf die medizinische Problemstellung werfen sowie unterschiedliche, chirurgische Eingriffe zur Leberresektion vorstellen. In einem letzten Absatz beleuchten wir die Anforderungen an Navigationssysteme im Bereich der navigierten Leberchirurgie und stellen exemplarisch drei unterschiedliche Systeme vor.

Eine Leberresektion, also das operative Entfernen eines Teils der Leber, kann aufgrund verschiedener Erkrankungen der Leber erforderlich werden. Die Fälle, die im Anwendungsteil dieser Arbeit betrachtet werden, sind Tumor-Erkrankungen der Leber.

Primäre und sekundäre Lebertumore stellen mit jährlich mehr als 5 Millionen neu auftretenden Fällen weltweit eine Erkrankung mit hoher klinischer Relevanz dar. Im Gegensatz zu den sekundären Tumoren (Lebermetastasen anderer Tumoren) sind primäre Lebertumoren in Europa seltener, in den südostasiatischen jedoch Ländern sehr häufig [Bettag et al., 2010].

Da die Leber im Organismus als Filter für Zellen aus dem Blutkreislauf dient, kann jede Art von Krebs zu Leberkrebs führen. In der Leber können diese Zellen wachsen und zu Tumoren werden. Schätzungen zufolge entstehen bei 70% aller Menschen mit unbehandeltem Krebs früher oder später sekundäre Lebertumore oder Metastasen. Metastasen sind Tumore, die durch primäre Krebszellen aus anderen Tumoren entstehen. Bei Vorliegen nonkolorektaler Lebermetastasen, also Metastasen, die nicht aus dem Darmkrebs stammen, ist noch unklar ob die Resektion hier auch die beste Therapieform ist.

Das kolorektale Karzinom, also Darmkrebs, ist die zweithäufigste maligne Todesursache in den westlichen Ländern [Hamady et al., 2004]. Bei Vorhandensein dieser Karzinome ist in 40 – 60% der Fälle mit Fernmetastasen zu rechnen. In 80% der Fälle handelt es sich dabei um Lebermetastasen [Grünberger et al., 2008].

Die chirurgische Resektion von kolorektalen Karzinomen der Leber ist bis heute die einzige anerkannte kurative Therapieform [Bechstein, 2007, Fong et al., 1999]. Circa 30 – 50% der behandelten Patienten bilden allerdings nach Resektion kolorektaler Karzinome erneut Metastasen in der Leber. In diesem Fall müsste dann eine Re-Resektion erfolgen. Als mögliche Ursachen werden fehlerhafte Resektionsgrenzen oder nicht erkannte Metastasen in der Restleber genannt [Grünberger et al., 2008]. Bei Vorliegen nonkolorektaler Lebermetastasen, also Metastasen, die nicht aus dem Darmkrebs stammen, ist noch unklar, ob die Resektion hier auch die beste Therapieform ist. Aufgrund der Inhomogenität der Patienten und der unterschiedlichen Tumoren ist eine allgemeingültige Aussage hier nur schwer möglich [Klempnauer & Lehner, 2008]. Seit

einigen Jahren ist zusätzlich die interventionelle Tumorablation als Therapieoption zur Behandlung von Lebermetastasen hinzugekommen. Auch dieser wird ein kuratives Potential zugesprochen [Golling et al., 2006]. Die bei anderen Krebsarten erfolgsversprechenden Chemo- oder Bestrahlungstherapien sind bei Leberkrebs typischerweise nicht kurativ [Schenk et al., 2011].

Im Rahmen dieser Dissertation wurden sowohl Verfahren für die konventionelle, offene Leberchirurgie als auch für die Laparoskopische, minimal-invasive Leberchirurgie entwickelt. Für beide Resektionstechniken, also die konventionelle und die laparoskopische Resektion hängt der Therapieerfolg wesentlich von

- der Sicherung eines tumorfreien Resektionsrandes (R_0 -Resektion),
- der Maximierung des funktionellen Restvolumens des verbleibenden Leberparenchyms

ab. Weiteres zentrales Ziel, welches zum Therapieerfolg beiträgt, ist die Minimierung des Patiententraumas.

Zur Sicherstellung dieser Kriterien ist eine genaue Kenntnis des funktionellen, anatomischen Aufbaus der Leber erforderlich [Bismuth, 1982, Blumgart & Belghiti, 2000, Vauthey et al., 2000].

2.2 Funktionelle Anatomie der Leber

Die *klassische* beschreibende Anatomie der Leber stützt sich auf die äußerlich sichtbaren Merkmale der Leber. Für die Planung einer Leberresektion ist jedoch die funktionelle Anatomie von Interesse. Basierend auf der funktionellen Gefäß-Anatomie der Leber lässt sich diese nach Couinaud [Couinaud, 1957] in acht Segmente unterteilen. Diese Segmente sind funktionell voneinander unabhängig und jedes dieser Segmente lässt sich behandeln, oder auch entfernen, ohne die anderen Segmente zu beeinträchtigen. Durch die Verzweigungen der Portalgefäße und die

dazwischenliegenden Lebervenen, Arterien und Gallengänge wird die Leber in ihre Segmente unterteilt. Abbildung 2.1 zeigt eine Darstellung der Portalgefäße (grau), Lebervenen (gelb) und Arterien (rot). Jedes Segment besitzt jeweils einen eigenständigen portalvenösen Zufluss [Lang & Schenk, 2011]. Mittlerweile hat sich die Sicht über die von Couinaud vorgeschlagene Einteilung in die Segmente geändert. Man geht nicht mehr von acht, sondern von deutlich mehr Segmenten aus [Fasel, 2008, Fasel et al., 2010].

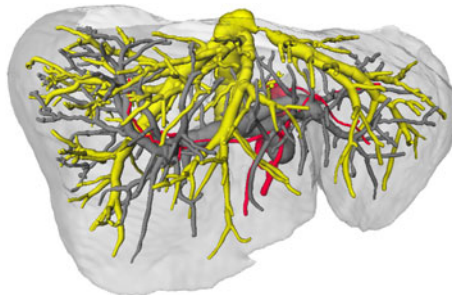


Abbildung 2.1: Visualisierung der Portalgefäße (grau), Lebervenen (gelb) und Arterien (rot) einer durch MeVis Medical Solutions segmentierten Patientenleber.

Das Modell von Couinaud nimmt an, dass die Aufteilung der intrahepatischen, also der Gefäße im Inneren der Leber, einer Regel folgt. Tatsächlich weiß man aber heute aus anatomischen und radiologischen Untersuchungen, dass diese Regelmäßigkeit nur eine idealisierte schematische Einteilung darstellt. Hinsichtlich Größe als auch Anzahl der Segmente existieren zahlreiche Variationen. Die auf der Leberoberfläche vorhandenen Orientierungspunkte, wie zum Beispiel die Portalfissuren, haben für den Resektionseingriff untergeordnete Bedeutung, da die darunterliegenden Gefäßsysteme die Lebersegmente bestimmen. Aus diesem Grund ist zur Durchführung einer Leberresektion eine patientenindividuelle Resektionsplanung basierend auf den vorhandenen Gefäßsystemen erforderlich. Im Rahmen des FUSION-Projektes wurde diese patientenindividuelle

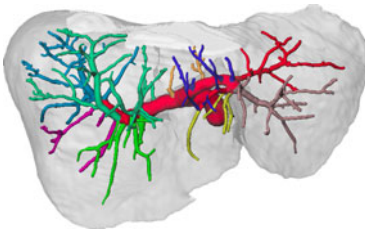
Resektionsplanung von der Firma MeVis Medical Solutions (MMS) erstellt. Abbildung 2.2 zeigt beispielhaft die bestimmten Lebersegmente, in Abhängigkeit der beiden venösen und des arteriellen Gefäßsystems, im Rahmen der Planung. Insgesamt beinhaltet die Planung nicht nur die Einteilung der Leber in ihre Segmente, sondern auch Vorschläge zur Resektion und basierend darauf durchgeführte Risikoanalysen [Schenk et al., 2011]. Für eine nicht vorgeschädigte Leber gilt als Richtwert, dass etwa 25 – 30% des funktionellen Restvolumens erhalten bleiben muss [Lang & Schenk, 2011], beziehungsweise 1% der Körpermasse [Castaing et al., 2007].

2.3 Leberresektionen

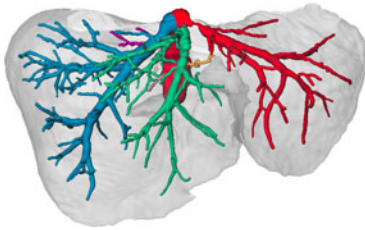
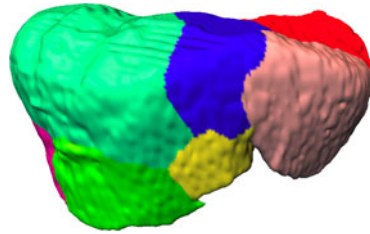
Zur Resektion von Tumoren der Leber werden unterschiedliche Verfahren genutzt. Die drei häufigsten Verfahren werden nachfolgend kurz beschrieben.

Offene Leberchirurgie Bei der klassischen, offenen Leberchirurgie erfolgt die Öffnung der Bauchdecke durch einen großen Schnitt. Auf diese Weise können große Werkzeuge zur Resektion verwendet und auf mögliche Komplikationen, wie zum Beispiel Blutungen schnell und adäquat reagiert werden. Auch kann der Chirurg während der Intervention die Lage der Tumore mit seinen Händen ertasten [Castaing et al., 2007].

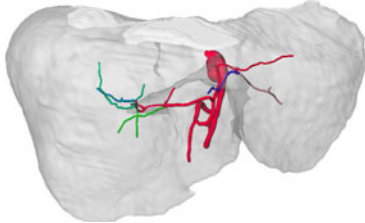
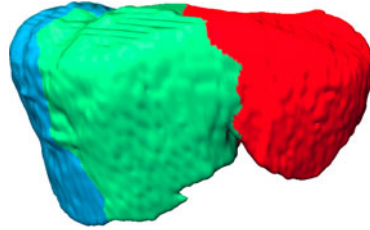
Laparoskopische Leberchirurgie Für die laparoskopische Chirurgie sind nicht alle Tumore der Leber gleichermaßen geeignet. Vor allem kleine Tumore in den linkslateralen Segmenten und den anterioren Segmenten des rechten Leberlappens sind für den minimal-invasiven Zugang prinzipiell geeignet [Kleemann, 2009]. Die Vorteile des minimal invasiven Eingriffs sind die folgenden: Das Patiententrauma ist im Vergleich zum offenen Eingriff reduziert und der Krankenhausaufenthalt verkürzt [Kleemann, 2009]. Zur laparoskopischen Leberchirurgie nutzt man drei bis vier kleine Zugänge.



Portalvenöses Gefäßsystem



Venöses Gefäßsystem



Arteriell Gefäßsystem

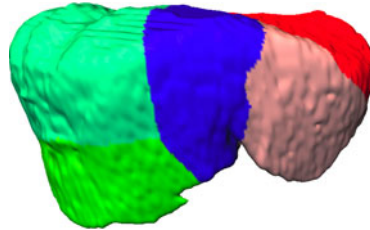


Abbildung 2.2: Beispielhafte Planungsdaten der Firma MeVis Medical Solutions, Bremen. Zu sehen sind die Segmentierungen der einzelnen Gefäßsysteme und die farbliche Codierung der abgeleiteten Segmente.

Neben den Operationsinstrumenten werden diese auch für das Einführen von Licht und Kameras verwendet. Um in der Bauchhöhle arbeiten zu können, wird diese mittels CO_2 -Gas aufgeblasen.

Ablation Bei der Radiofrequenz-Ablation (RFA) wird unter Kontrolle von Ultraschall und/oder Computertomografie eine Nadel in die

Leber des Patienten eingeführt, über deren Spitze elektromagnetische Wellen in das Gewebe abgegeben werden. Dadurch wird das betroffene Gewebe zerstört. Alternative zur RFA ist die Laserinduzierte Thermoablation (LITT). Hier bringen Lichtwellenleiter in Verbindung mit speziellen Applikatoren hohe Energiemengen in eine Zielregion ein [Lehmann & Weihusen, 2011]. Ablationsverfahren gewannen in den letzten ca. 15 Jahren an Bedeutung. Im Gegensatz zur Resektion ist allerdings nach erfolgter Ablation keine histologische Untersuchung möglich und damit auch nicht die Sicherstellung der vollständigen Tumorzerstörung. Bisher gibt es noch keine Studie, die nachweist, dass die beschriebene Ablation als potenziell kuratives Verfahren bei kolorektalen Metastasen geeignet ist, jedoch deuten einzelne Beobachtungsstudien darauf hin [Lehmann & Weihusen, 2011].

In dieser Arbeit werden Verfahren mit Fokus auf die Resektionsverfahren vorgestellt. Prinzipiell sind die Methoden aber auch zur Unterstützung der navigierten RFA geeignet.

2.4 Navigierte Chirurgie

Das Ziel der navigierten Leberchirurgie ist es, dem Chirurgen während der Intervention einen genauen Überblick über den intra-operativen Situs zu ermöglichen. Da die Leber, wie eingangs schon festgestellt, über nur wenig äußere Landmarken mit Aussagekraft über das Gefäßsystem in der Leber verfügt, soll dem Chirurgen während der Operation die Operationsplanung als Hilfestellung dienen. Die alleinige Visualisierung der Planungsdaten, wie sie prä-operativ erzeugt wurden reicht hier allerdings nicht, da sich die Leber nach Öffnung des Situs und vor allem nach ihrer Mobilisation stark deformiert. Idee der auch im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren ist es, die Planungsdaten der Leber an die aktuelle, intra-operative Situation anzupassen, um dem Chirurgen eine Hilfestellung zu geben. Intra-operativ ist es bis heute in der Leberchirurgie Standard, die Gefäßsysteme und die vorhandenen Tumore

in der Leber mittels Ultraschall darzustellen. Bei den nicht-navigierten Eingriffen, vor allem im Abdomen, erfolgt eine Navigation ausschließlich über die Ultraschallbildgebung. Diese ist jedoch gerade dort häufig nicht ausreichend. Im Abdomen liegen weiche, verformbare Strukturen vor, die eine präzise intra-operative Lokalisation eines Tumors nicht immer erlaubt [Preim & Rode, 2011].

Hier setzen die computerassistierten, navigierten Verfahren an.

2.4.0.1 Navigationssysteme

Das Ziel computergestützter Navigationssysteme ist es, dem Chirurgen intra-operative Hilfestellung bei der Durchführung bestimmter Interventionen zu geben. In den von uns betrachteten Systemen wird dies über die zur Verfügungstellung angepasster prä-operativer Planungsdaten realisiert. Diese Planungsdaten sollen mit den in dieser Arbeit entwickelten Verfahren im Bereich der navigierten Leberchirurgie nicht nur visualisiert, sondern auch an den aktuellen Status der Operation angepasst (nachgeführt) werden. Beller et al. formulieren in [Beller et al., 2011] die Anforderungen an ein ideales System wie folgt:

Ein **ideales Navigationssystem** unterstützt die Arbeit des Operateurs durch zusätzliche Informationen, ohne den konventionellen Ablauf der Intervention zu behindern.

Im Bereich der Neurochirurgie und auch der orthopädischen Chirurgie sind Navigationssysteme in der chirurgischen Anwendung längst etabliert [Vetter et al., 2001]. Das erste Navigationssystem zur neurochirurgischen Navigation gab es bereits 1980 [Jaques et al., 1980].

Die Anforderungen zur Navigation in der Leberchirurgie wurden von Vetter et al. in [Vetter et al., 2001] untersucht. In Zusammenarbeit mit Leberchirurgen aus Heidelberg, München und Mainz wurden sie erarbeitet. Ein Ergebnis war, dass die Erwartungen an ein Navigationssystem bei offener oder laparoskopischer Operationstechnik sehr unterschiedlich

sind: Während die Navigationssysteme in der offenen Leberchirurgie vor allem für tief liegende Tumore gewünscht werden - da oberflächennahe Tumore auch ertastet werden können, ist die Anforderung für die laparoskopischen Eingriffe den fehlenden Tastsinn während der Intervention durch das Navigationssystem auszugleichen. Die Hoffnung ist, dass es durch die Navigation ermöglicht wird, mehr Tumore als bisher für den Patienten schonend auch laparoskopisch zu entfernen.

Die Gründe für den Einsatz von Trackingsystemen in der Viszeralchirurgie (Bauchchirurgie) insgesamt sind vielseitig. Kleemann et al. formulierten in [Kleemann et al., 2005] die folgenden Ziele:

- Steigerung der Zielgenauigkeit,
- kleinerer Zugangsweg,
- Übertragung prä-operativer Planungsdaten,
- Semi-Automation von Operationsschritten,
- Kameraführung,
- zielgenaue Kombination endoskopisch-laparoskopischer Eingriffe,
- Simulation und
- Ausbildung.

Wir möchten uns in dieser Arbeit auf den Aspekt der Übertragung der prä-operativen Planungsdaten beschränken. Mittels getrackter Ultraschallsonden werden 2D oder 3D-Ultraschalldaten akquiriert (mehr zu Ultraschall siehe Abschnitt 3.2). Die Anpassung der Planungsdaten erfolgt über einen oder mehrere Bildregistrierungsschritte (mehr dazu im Abschnitt 5).

Durch die Verwendung der Ultraschallbildgebung zur Navigation ist es möglich, dass weitere Metastasen während der OP gefunden werden. In diesem Fall ist es möglich, diese neuen Metastasen in eine erneute Operationsplanung einfließen zu lassen, um dem Chirurgen einen aktualisierten Vorschlag zur Resektion zu unterbreiten. Gleichzeitig kann nochmals

das Volumen der verbleibenden funktionellen Leber bestimmt werden, um das Risiko neu abzuschätzen. In circa 10 – 25% der Interventionen kann davon ausgegangen werden weitere bisher unbekannte Läsionen zu finden [Kleemann, 2009].

In diesem Abschnitt möchten wir die verfügbaren Navigationssysteme lediglich kurz beschreiben, um generelle Möglichkeiten aufzuzeigen. Für diese Arbeit standen Daten von insgesamt drei verschiedenen Systemen zur Verfügung. Die Daten wurden sowohl in offenen als auch in laparoskopischen Interventionen akquiriert.

Zusätzlich zu den getrackten Ultraschallsonden stehen intra-operativ auch getrackte Zeigeeinstrumente, bzw. getrackte Schneidewerkzeuge zur Verfügung, die dem Chirurgen zusätzlich eine Orientierung im Inneren der Leber in Bezug auf die Planungsdaten ermöglichen. Daten dieser Instrumente fließen nicht in die Algorithmen ein, die im Rahmen dieser Arbeit entstanden sind.

Die Darstellung der gewonnen Informationen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Bei laparoskopischen Eingriffen ist es denkbar die Planungsdaten im Sinne einer Augmented Reality direkt über dem Kamerabild dazustellen [Preim & Bartz, 2007, Schlichting, 2008]. Alternativ können auch hier, die Planungsdaten mit den intra-operativen Daten in einem eigenen Bildschirmfenster überlagert werden.

Eine Übersicht verschiedener chirurgischer Navigationssysteme findet sich in [Beširević et al., 2007] und in [Cleary & Peters, 2010]. Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Navigationssysteme sind die folgenden:

LapAssistent: Für laparoskopische Interventionen im Rahmen des FUSION-Projekts durch das Institut für Robotik, der Universität zu Lübeck sowie die Klinik für Chirurgie am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck entwickelt. Eine Übersicht über die Funktionalität bieten [Martens et al., 2010] sowie [Schlichting, 2008]. Das System verwendet elektromagnetisches Tracking zur Positionsbestimmung einer getrackten 2D-Ultraschallsonde. Die Abbildungen (a) und (b) aus Abbildung 2.3 zeigen ein Foto des

Bildregistrierung für die navigierte Chirurgie
Spezialisierte Ansätze zur Anwendung in der navigierten
Leberchirurgie

Olesch, J.

2014, XIII, 267 S. 119 Abb., 46 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-05654-4