

Chirurgische Klinik und Poliklinik der Technischen Universität München  
Klinikum rechts der Isar  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. J. H. Kleeff)

## RFID-Technologie für das intraoperative Prozessmonitoring in der Chirurgie

Dorit Zywitza

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin an der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Medizin  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. H. A. E. J. Feußner  
2. Univ.-Prof. Dr. J. H. Kleef

Die Dissertation wurde am 13. 08.2013 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 02.04.2014 angenommen.

# Gliederung

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Darstellung der Ausgangslage.....	4
1.1.1 Klinische Bedeutung des Asset Trackings im OP .....	4
1.1.2 Personen Monitoring und Workflow Optimierung .....	7
1.2 Sozioökonomische Bedeutung .....	9
1.3 Allgemeine Funktionsweise von Radio-Frequenz-Identifizierungs-Technologie ..	10
1.4 Aktuelle Einsatzbereiche von RFID-Systemen .....	11
<b>2. Gegenstand der Arbeit und Ziel des Projekts</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>15</b>
3.1 RFID - Funktionsweise .....	15
3.2 Tracking des OP-Asset am Beispiel Bauchtuch .....	19
3.2.1 Herstellung der RFID-fähigen Bauchtücher .....	19
3.2.2 Versuchsplanung .....	20
3.2.3 Versuchsaufbau.....	22
3.2.4 Testläufe mit den Antennen für Anrichte und Abwurf .....	25
3.2.4.1 Lokalisationscheck.....	26
3.2.4.2 Einzelzählung (Erkennungsgenauigkeit).....	26
3.2.4.3 Testung der Detektions-Zuverlässigkeit.....	27
3.2.5 Testläufe mit der Antenne für den OP-Tisch.....	27
3.2.5.1 Erkennungsgenauigkeit .....	27
3.2.5.2 Antennenfeldeingrenzung .....	30
3.3 Temperaturmessungen.....	32
3.4 Tierversuch.....	32
3.5 Tracking des OP-Personals mit RFID.....	33
3.5.1 Erkennung der Transponder .....	35
3.5.2 Erkennung des Seitenwechsels.....	36

<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>37</b>
4.1 Funktionalität der Antenne für Instrumentiertisch und Abwurf .....	37
4.2 Testläufe mit einem Einzelobjekt .....	39
4.3 Detektion durch die OP-Tischantenne .....	39
4.4 Antennenfeldeingrenzung .....	43
4.4.1 Abhängigkeit von der Antennenleistung .....	44
4.4.2 Abhängigkeit von der Ausrichtung des Tags .....	45
4.4.3 Abhängigkeit von der Position im Antennenfeld .....	49
4.4.4 Abhängigkeit von der Form des Transponders .....	49
4.5 Temperaturmessungen .....	51
4.6 Ergebnisse aus dem Tierversuch .....	52
4.7 Ergebnisse aus dem Tracking des OP-Personals .....	53
4.7.1 Lokalisationserkennung .....	53
4.7.2 Seitenwechsel-Erkennung .....	54
<b>5. Diskussion</b> .....	<b>56</b>
5.1 Entwicklungsmöglichkeiten in der Chirurgie .....	56
5.2 Dokumentation des OP-Materials durch Personal .....	57
5.3 Bisheriger Stand der technischen Unterstützung .....	58
5.3.1 RFID als Lösungsansatz .....	59
5.3.2 Interpretation der Ergebnisse .....	60
5.4 Tracking und Monitoring des OP-Personals .....	62
5.5 Interpretation der Ergebnisse des Personal-Trackings .....	64
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	<b>64</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>66</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>71</b>
<b>10. Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>75</b>

# RFID-Technologie zur Verbesserung der Patientensicherheit in der Chirurgie

## 1. Einleitung

### 1.1 Darstellung der Ausgangslage

An die Leistungserbringer im Gesundheitswesen werden heute zwei Anforderungen gestellt, die sich eigentlich prinzipiell widersprechen: einerseits sollen die Kosten für die medizinischen Leistungen gesenkt, andererseits soll deren Qualität nicht nur gehalten, sondern sogar verbessert werden. Um diese beiden Forderungen gleichzeitig zu realisieren, ist der konsequente Einsatz von innovativen Technologien in Diagnostik, Therapie und Kommunikation unabdingbar. Nur dadurch ist es möglich, sowohl die Effizienz als auch die Qualität der Versorgung ständig zu verbessern. Beispielhaft sind hier moderne Objekterkennungs- und Ortungstechnologien zu nennen, welche die Patientensicherheit unmittelbar verbessern könnten, aber auch zu einer Verbesserung von Arbeitsabläufen und damit zu einer Effizienzsteigerung führen würden.

#### 1.1.1 Klinische Bedeutung des Asset Trackings im OP

Ein bis heute noch relevantes, ernstes Problem bei chirurgischen Eingriffen ist das Zurücklassen von Fremdkörpern, insbesondere von OP-Textilien (Gossypiboma). Bisher wurden schon verschiedene Ansätze entwickelt, Überwachung und Ablagekontrolle der OP-Textilien zu realisieren<sup>1,2,3</sup>. Die Standardmethode ist heute die manuelle Zählung der einzelnen textilen Materialien, z.B. der Bauchtücher. Trotz zahlreicher Protokolle und Leitlinien bezüglich des Zählens von OP-Instrumenten und OP-Tüchern treten allerdings immer wieder Fälle von vergessenen Fremdkörpern auf.

In einer Studie von Wan et al. wurden 254 Fälle von Gossypiboma (im Zeitraum von

1963 -2008) identifiziert. Das durchschnittliche Alter der betroffenen Patienten lag bei 49 Jahren (6-92 Jahre). Die meisten Fälle von vergessenen Fremdkörpern wurden nach großen viszeralchirurgischen Operationen im Abdomen gefunden (56%), gefolgt von Hüftoperationen und Thoraxeingriffen. Die mittlere Zeit bis zur Entdeckung der Bauchtücher betrug 6,9 Jahre, die meisten wurden durch eine Computertomographie (CT) entdeckt. Führende Symptome waren Schmerzen/Irritationen (42%), fühlbare Fremdkörper (27%) und Fieber, wobei 6% der betroffenen Patienten asymptomatisch waren. Zu den Komplikationen zählten Verklebungen, Abszesse und Fisteln <sup>1</sup>.

Retrospektive Studien zeigen, dass bei Fällen mit Zurückbleiben eines Fremdkörpers am Ende der OP häufig fälschlicherweise eine korrekte Anzahl von Bauchtüchern durch manuelle Zählung angegeben wurde. So beschreibt z.B. Cima et al, dass in 34 Fällen mit vergessenen Fremdkörpern in 21 Fällen eine korrekte Zählung dokumentiert wurde <sup>4</sup>. Dies führt dazu, dass einige Operateure die Frage nach dem Wert der manuellen Zählung aufbrachten. Dabei fehlen aber wichtige Daten bezüglich der Wirksamkeit, wie oft durch manuelle Zählung weitreichende Probleme aufgedeckt und verhindert werden bevor der Patient den OP-Saal verlässt. Studien zeigen weiter, dass bei bis zu 12% aller Operationen Zählungenauigkeiten auftreten <sup>3</sup>. Ein Großteil der Fehler beinhaltet neben der Fehlabbildung von Instrumenten oder Tüchern eine falsche Dokumentation. Da ein hoher Zeitbedarf notwendig ist, um eventuelle Diskrepanzen zu beheben (erneutes Zählen, intraabdominelle Inspektion) verlängert sich die OP-Zeit zwangsläufig. Die Häufigkeit von Zählungenauigkeiten steigt vor allem bei Teamwechseln <sup>3</sup>. In der aktuellen Literatur wird von einer Inzidenz zurückgelassener Fremdkörper von 1:7000 Operationen ausgegangen, wobei die Dunkelziffer deutlich höher liegt. So wurde zum Beispiel in den USA durch die Joint Commission for Accreditations for Healthcare Organizations (JCAHO) veröffentlicht, dass: „unabsichtlich vergessene Fremdkörper ohne permanenten Funktionsverlust“ des Patienten nicht notwendigerweise dokumentiert werden müssen <sup>5,6,7,8</sup>.

Durch den Einsatz von zusätzlichen Überwachungsmöglichkeiten und

Absicherungssystemen steigt das Sicherheitsgefühl des arbeitenden Personals und vermindert den Druck des OP-Teams. In Studien konnte mehrfach gezeigt werden, dass schlechtes Teamwork der größte negative Stressor für Operateure ist <sup>9</sup>. Da der auf die Operateure einwirkende Stress sowie der Umgang damit, die chirurgische Leistung entscheidend beeinflusst und somit einen wichtigen Faktor für die Qualität der Operation <sup>9</sup> und die Sicherheit des Patienten darstellt, müssen umfangreiche Maßnahmen ergriffen werden, um Stresssituationen zu vermeiden.

Da singuläres manuelles Zählen als Prophylaxe vergessener Fremdobjekte während operativen Eingriffen wie oben ausgeführt nicht ausreichend zuverlässig ist <sup>4</sup>, sollten die aktuell eingesetzten Zählprotokollen durch technische Maßnahmen ergänzt werden.

Als bisherige Absicherung der manuellen Zählung kann ein postoperatives Röntgenbild verwendet werden, wobei auch hier keine 100% Sicherheit gegeben ist. In einer Studie mit 29 postoperativen Röntgenkontrollen waren 3 falsch negativ <sup>8</sup>. Zudem entstehen hierdurch zusätzliche Kosten und für den Patienten vermeidbare Strahlenbelastungen. Wird ein vergessener Fremdkörper erst im postoperativen Verlauf entdeckt, muss dieser durch eine erneute Operation entfernt werden, was nicht nur eine Morbiditätssteigerung für den Patienten bedeutet, sondern auch für die betroffenen Ärzte weitreichende Folgen haben kann.

Es wurden bereits verschiedene Ansätze zum Tracking chirurgischer Instrumente und textilen Materialien (OP-Asset-Tracking) entwickelt. Für das Tracking des OP-Materials wurden Systeme getestet die auf dem Barcode-Prinzip basieren <sup>10</sup>, des Weiteren gibt es eine Testreihe die mit RFID-Tags und einem dazugehörigen tragbaren Lesegerät arbeitet <sup>11</sup>. Ein weiterer Lösungsansatz wird durch die Lokalisation vorher markierter Bauchtücher durch ein elektronisches System angeboten <sup>12</sup>. Die Einsatzfähigkeit von RFID wurde auch beim Tracking von Patienten mit Brustbiopsien zur besseren Vernetzung und Kommunikation der verschiedenen zusammenarbeitenden Abteilungen getestet <sup>13</sup>.

## 1.1.2 Personen Monitoring und Workflow Optimierung

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit chirurgischer Arbeitsabläufe im OP liegt in der Erfassung der Prozessdynamik. Trotz intensiver Bemühung um eine weitreichende Standardisierung der pflegerischen, anästhesiologischen und chirurgischen Handlungsabläufe zu allen Zeitpunkten eines chirurgischen Eingriffs ist der konkrete Ablauf einer Operation nach wie vor nicht vorhersagbar. Selbst einfache Kenngrößen variieren bei Routineeingriffen beträchtlich, da sie abhängig von den individuellen Gegebenheiten zur Behandlung des Patienten, dem Ausbildungsstand des beteiligten Personals und den technischen Voraussetzungen im Operationssaal sind.

Eine Möglichkeit ist es, neben dem Tracking der OP-Assets, auch die Bewegungen des OP-Teams zu verfolgen, um zusätzliche Informationen zu gewinnen, die in einem sogenannten Inventory-System verarbeitet werden können. Ein Inventory-System ermöglicht die Sammlung und Auswertung unterschiedlichster Daten und Informationen sowie deren Weiterverarbeitung. So können hiermit z.B. Beginn und Ende der einzelnen OPs sowie Positionswechsel erfasst werden.

Der tatsächliche Verlauf eines speziellen operativen Eingriffs lässt sich allerdings mit dem bisherigen Wissens- und Technisierungsgrad nur sehr beschränkt vorhersagen.

Eine möglichst präzise Planungsmöglichkeit zur Verbesserung der Ressourcenauslastung ist unter dem zunehmenden finanziellen Druck im Gesundheitssystem erstrebenswert. Ein erster Schritt in diese Richtung wäre die genaue Abschätzung der Gesamtoperationsdauer um hiermit eine bessere Auslastung der OP-Kapazitäten zu realisieren <sup>14</sup>. Der OP stellt die zentrale Einheit einer chirurgischen Klinik dar. Ein professionelles OP-Management verbessert den Arbeitsfluss im OP und beeinflusst auch umliegende Arbeitsbereiche wie z.B. Anästhesie und Intensivstation. Effiziente Arbeitsabläufe, Datenakquise sowie Kosten und Qualität sind durch ein OP-Management kontrollierbar <sup>14</sup>.

Eine mögliche Vorhersage des individuellen intraoperativen Verlaufs und den

Schwierigkeitsgrad des Eingriffes könnte über das Monitoring des OP-Teams erreicht werden.

Durch unterstützende Systeme könnte beispielsweise erkannt werden, wenn sich eine Operation dem Ende zuneigt, und dann damit automatisch weitere Prozesse angestoßen werden: OP-Personal und Anästhesist werden informiert, dass der nächste Patient für die Operation vorzubereiten ist. Es kann auch einem Reinigungsteam signalisieren, dass es sich für seinen Arbeitseinsatz bereithalten muss.

Ein wichtiger Aspekt, neben dem prädiktiven Wert des Prozess Monitorings im OP stellt die Erfassung dynamischer Handlungsabläufe dar <sup>15</sup>. Selbst unter vermeintlichen „Idealbedingungen“ (einfacher Eingriffstyp, erfahrenes OP-Team) können Sondersituationen auftreten, die den weiteren Ablauf weitgehend verändern. Durch ein Echtzeittracking des OP-Teams und dessen Monitoring können diese in einem Kontext-sensiblen System erfasst werden. Je früher derartige Sondersituationen erfasst und die erforderlichen Maßnahmen zur Korrektur eingeleitet werden können, desto eher können negative Auswirkungen (Verlängerung der OP-Dauer, Gefährdung des Patienten) vermindert werden.

Neben diesen Sondersituationen könnte aber auch die standardisierte klinische Routineversorgung durch ein perioperatives und fortlaufendes Ablaufmonitoring optimiert werden <sup>2,16</sup>.

Die Entwicklung derartiger Monitoringsysteme für den Einsatz im chirurgischen OP ist noch nicht weit fortgeschritten. Es gibt bereits erste Ansätze, indem man den OP-Bereich mit Videokameras überwacht. Hier gibt es zum einen jedoch ernste Bedenken im Bereich des Datenschutzes, zum anderen kann durch Videodokumentation nur eine retrograde Auswertung erreicht werden.

## 1.2 Sozioökonomische Bedeutung

Pro Jahr werden in Deutschland ca. 7 Mio. allgemein chirurgische Operationen durchgeführt. Im Durchschnitt werden pro OP-Minute zwischen 5 und 15 Euro aufgewendet. Wenn man vorsichtig schätzt, dass durch den Einsatz von Technologien zur Verbesserung der chirurgischen Handlungsabläufe pro Eingriff 5 Minuten gespart werden können, ergibt sich eine Kosteneinsparung von ca. 175 Mio. Euro pro Jahr, ohne dass die chirurgische Versorgung beeinträchtigt wäre. Diese Annahme ist durchaus realistisch. Es wurde z.B. nachgewiesen, dass bei bis zu jeder achten OP Zählungenauigkeiten bei der Bauchtücherzählung auftreten. Es dauert im Durchschnitt 13 Minuten bis die Ursache dafür geklärt ist <sup>16</sup>.

Die Einführung eines automatischen Inventar-Dokumentationssystems, zum Beispiel durch den Einsatz von RFID-Technologie, könnte diese Vorfälle verringern und die Sicherheit des Patienten erhöhen <sup>5</sup>.

Der potentielle Vertrauensverlust der Patienten durch vermeidbare iatrogene Fehler und mögliche rechtliche Schritte gegen Krankenhäuser und Ärzte verdeutlichen den Bedarf solcher technischen Unterstützung. Jeder einzelne Fall hat hohe Medienrelevanz und gibt immer wieder Anlass zu heftigen Attacken gegen die Ärzte.

Des Weiteren liegt ein gesundheitsökonomischer Vorteil zum Beispiel in der perioperativen Effizienzsteigerung (Materialbestellung und – aufarbeitung) und den damit verbundenen Kostensenkungen <sup>17,18,19</sup>.

Durch RFID vermitteltes Tracking der Operateure können die Arbeitsabfolgen im OP visualisiert und dokumentiert werden. Dies ist ein wichtiger Schritt um die Arbeitsabläufe (Workflow) im OP abzubilden und zu verbessern. Das große Ziel hierbei ist eine Steigerung der Effektivität durch die Verbesserung des OP-Managements zu erreichen.

## 1.3 Allgemeine Funktionsweise von Radio-Frequenz-Identifizierungs-Technologie

Alle RFID (radio-frequency-identification-device) – Systeme bestehen grundsätzlich aus einem elektronischer Datenträger (Transponder, Tag) und einem Lesegerät. Befindet sich der Transponder in Reichweite des Lesegeräts kann eine Kommunikation erfolgen. Der Datenaustausch erfolgt über elektromagnetische Wellen. Die Antenne bildet dabei das Verbindungsstück zwischen den Kommunikationseinheiten (Lesegerät, Transponder). Außerhalb des Empfangsbereiches der Antenne verhält sich der Transponder passiv.

Die Antennen senden Radiowellen aus, die vom Transponder absorbiert und umgewandelt werden. Anschließend strahlt der Transponder ein frequenzspezifisches Signal zurück. Dafür befindet sich im Inneren des Transponders eine Spule, die auf die Resonanzfrequenz des Lesegerätes abgestimmt ist und nach dem Funktionsprinzip eines Kondensators arbeitet. Diese individuellen Frequenzen werden von der Antenne rückgelesen und ermöglichen so die weitere Verarbeitung durch einen Reader sowie über eine Schnittstelle mit Software-spezifische Server (Middleware) die Erstellung einer Liste der Transponder aus dem Antennenbereich.

Als eine der ersten Anwendungsgebiete zeigte sich in den 60ziger Jahren die Diebstahlsicherung in Warenhäusern. Dabei wurde ein 1-Bit-Transponder verwendet. Befand sich dieser im elektromagnetischen Wechselfeld des Detektors, zog er ihm durch Induktion Energie ab. Diesen Energieschwund registrierte das Lesegerät als 1-Bit-Information. Somit konnte mit diesem System gemeldet werden wenn ein nicht entschärfter Transponder im Empfangsbereich war. Die Entschärfung erfolgte durch die Kassierer beim Bezahlen an der Kasse. Dafür musste der Kondensator des Transponders durch Magnetisierung zerstört werden.

## 1.4 Aktuelle Einsatzbereiche von RFID-Systemen

Die Radio Frequenz Identifikations Technologie (RFID) findet in vielen industriellen Bereichen seit mehreren Jahrzehnten in unterschiedlichem Tempo neue Einsatzmöglichkeiten: Während die Logistik und Produktion heute bereits von fundierten Erfahrungen mit diesem System profitieren, arbeitet das Gesundheitswesen erst seit ca. 10 Jahren daran, die RFID-Technologie im medizinischen Bereich weiter zu entwickeln und einsetzbar zumachen <sup>20</sup>. Marktforscher prognostizieren diesem Segment allerdings ein stolzes Wachstum.

Nachdem RFID-Systeme im industriellen Bereich früher nur in klassischen Logistikketten eingesetzt wurden, haben sich die aktuellen Einsatzbereiche deutlich erweitert.

So benutzt zum Beispiel ein Backwaren-Hersteller die RFID-Technologie um den Herstellungsprozess von Lebensmitteln zu optimieren und mögliche Fehlerquellen zu minimieren. Dabei werden die Mischbehälter zu Beginn des Fertigungsprozesses durch Transponder gekennzeichnet und an den weiteren Arbeitsstationen ausgelesen. Diese Daten werden dann mit den entsprechenden Anweisungen an das bedienende Personal der entsprechenden Zufüllstation übermittelt. Dieser erhält so die notwendigen Informationen zu der jeweiligen Ladung. Ungenaue Dosierungen oder das mehrmalige Hinzufügen einzelner Bestandteile kann somit vermieden werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Steuerung und Überwachung des Produktionsprozesses in der Automobilbranche. Die Fertigung individueller und kundenspezifischer Fahrzeuge ist eine große Herausforderung. Zur erfolgreichen Umsetzung kann mittels RFID die Koordination der Einzelschritte auf dem Montageband sowie die Koordination mehrerer Produktionslinien sichergestellt werden. Zu Beginn der Produktion wird ein Transponder am Transportrahmen der Fahrzeugkarosse angebracht. Durch diesen wird der Transportrahmen an definierten Stellen der Produktionsstraße identifiziert und zur nächsten Arbeitsstation

transportiert. So wird sichergestellt, dass das Fahrzeug die vorgeschriebenen Produktionsschritte in der korrekten Reihenfolge absolviert.

Auch bei der Zutrittskontrolle und Arbeitszeiterfassung in Firmen können die Vorteile der RFID-Systeme genutzt werden. Im Rahmen der Zutrittskontrolle sind Lesegeräte im Einsatz, die mit einem Datenband verbunden sind, auf welcher die einzelnen Mitarbeiterprofile gespeichert sind. Derselbe Transponder ermöglicht die Buchung der Arbeits- und Pausenzeiten an einem Zeiterfassungsterminal. Zu jeder Buchung hält der Mitarbeiter seinen Transponder an das Lesegerät. Die Zeiten werden vom Lesegerät erfasst, weiterverarbeitet und schließlich durch die Personalbuchhaltung ausgewertet.

Radio-Frequenz-Identifikation ermöglicht nicht nur die Lokalisierung von Equipment, Zubehör und Personen in Echtzeit, sondern bietet auch einen effizienten und akkuraten Zugang zu medizinischen Daten. Trotz dieser Vorzüge ist der Einsatz von RFID im Gesundheitssystem schleppend.

Die Vorzüge von RFID-Systemen zur Equipmentlokalisierung werden bereits eingesetzt, um die Transportwege von Tabletten ausgehend vom Hersteller bis zum Verbraucher zu gewährleisten. Dies ist ein wichtiger Schritt um den wachsenden Markt mit gefälschten Produkten einzudämmen <sup>21</sup>.

Die Identifizierung und Lokalisierung von Bluttransfusionen mittels RFID wird bereits in einzelnen Blutbanken mit guter Praktikabilität und Erfolg eingesetzt <sup>22</sup>.

Das ganze Einsatzspektrum von RFID-Technologie zeigen erste Kliniken, die RFID-basierte Tracking Systeme für Patienten und Personal einsetzen. Dabei werden dem Personal und Patienten individuelle RFID-Tags ausgehändigt, sowie RFID-Leser an strategischen Punkten in der Klinik platziert. Sobald sich Patienten und Personal durch die Leser bewegen, werden diese erkannt und an einen zentralen Computer weitergeleitet, der die einzelnen Daten in ein visuelles Programm umsetzt und damit den Personenaufenthaltort darstellen kann. Mit Hilfe dieses Systems kann dann zum Beispiel der Zeitaufwand einzelner Untersuchungen registriert, und so die

Ressourcenoptimierung vorgetrieben werden <sup>23</sup>.

Weitere Untersuchungen zeigen die Fähigkeit von RFID-Technologie dynamische und parallel ablaufende Handlungsabläufe darzustellen: in einer Studie (Parlak et al., 2012) wurde mithilfe von RFID-gestützter Technologie die komplexe Teamarbeit während Reanimationen unterstützt. Dabei wurden zuerst Reanimationsarbeitsschritte und Videos von simulierten Reanimationen analysiert. Basierend auf diesen Daten wurden Strategien und Umsetzungsmöglichkeiten diskutiert, um die optimale Umsetzung der Platzierung von Tags und Antennen umzusetzen. Anschließend erfolgte das Tracking der medizinischen Geräte sowie die Abbildung der Aktivitäten und Handlungsabläufe durch Mitarbeiter bei der Versorgung von Unfallpatienten und Reanimationen mit Hilfe von RFID-Technologie <sup>24</sup>.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von RFID werden noch nicht umfassend genug genutzt: vor allem im unmittelbaren OP-Bereich steht die Entwicklung noch am Anfang.

## 2. Gegenstand der Arbeit und Ziel des Projekts

Der Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Erfassung und Auswertung von Schlüsselobjekten und -prozessen während chirurgischer Eingriffe in Echtzeit durch den Einsatz von Radio-Frequenz Identifikations-Technologien (RFID). Der Fokus dieser Arbeit liegt dabei in der automatischen Erfassung von textilen Materialien (Bauchtüchern) und an der OP beteiligten Personen (OP-Team). Ziel ist die Etablierung eines autonomen Sicherheits-Systems, welches die Position und den Verbleib der textilen Materialien kontinuierlich registriert und die Bewegungen des OP- Teams automatisch abbildet.

Bisher wurden derartige Ansätze zur Prozessoptimierung in der Medizin noch nicht konsequent verfolgt. Zu den wesentlichen Barrieren gehört vor allem das Fehlen geeigneter Technologien für ein kontinuierliches Prozess Monitoring. Abgesehen von

wenigen Einzelaspekten bestehen noch weitreichende Defizite im Wissen und in den praktischen Kenntnissen, um die erforderliche umfassende Datenakquise unter klinischen Bedingungen zu erreichen.

Die Notwendigkeit eines integrierten Prozess Monitorings im chirurgischen OP und dem daraus resultierenden potentiellen Nutzen ist inzwischen belegt und in zahlreichen Arbeiten beschrieben<sup>25,26,27,28</sup>. So kann basierend auf dem Echtzeit-Tracking die Vorbereitung der nächsten OP-Schritte, wie zum Beispiel das Abrufen des nächsten Patienten eingeleitet und die zeitliche Auslastung der OP-Säle optimiert werden. Zudem wird durch das Zusammenspiel der technischen Überwachung und Kontrolle gepaart mit der menschlichen Arbeitskraft die Sicherheit und Qualität der Patientenversorgung und -Zufriedenheit weiter steigen.

Der Einsatz von RFID Technologie erscheint vielversprechend, um die entscheidenden Parameter von diskreten und dynamischen Funktionszuständen bei chirurgischen Eingriffen zu identifizieren und zu erfassen<sup>29,30,31</sup> mit denen später auch eine Vorhersage des individuellen Operationsverlaufes möglich ist. RFID ermöglicht eine kontaktlose Identifizierung von medizinischen Objekten<sup>32</sup>. Zudem scheint die RFID-Technologie prinzipiell für das komplexe, simultane Tracking der verschiedenen Objekte und Abläufe im OP geeignet<sup>5,13,33,34</sup>.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Prüfung und Bewertung der potentiellen Einsatzfähigkeit eines RFID basierten Systems im chirurgischen Operationssaal zur automatischen Erfassung (1) aller intraoperativ verwendeter textiler Materialien (Asset Tracking) und (2) der an der Operation beteiligten Personen (Personen Tracking), um eine umfassende Ist-Dokumentation in Echtzeit zu ermöglichen.

Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines RFID-Systems für den Einsatz im chirurgischen OP zur kontinuierlichen Erfassung von Bauchtüchern und Mitgliedern des OP-Teams. Zudem soll erfasst werden, welche spezifischen Randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Hierbei ist vor allem entscheidend, wie zuverlässig die Detektion der RFID-Tags im Umfeld eines Operationssaales arbeitet und ob

eventuell Wechselwirkungen mit anderen Geräten auftreten. Geprüft wird sowohl die allgemeine Einsatztauglichkeit von RF (Reichweite, Erkennungszeit, Ausrichtung, Wahl der Materialien) als auch die Funktion unter Operationsbedingungen (Einsatz in lebendem Gewebe, Kontakt mit Körperflüssigkeiten).

Das Erfolgskriterium ist die kontinuierliche und lückenlose Dokumentation der peri- und intraoperativen Handlungsabläufe, d.h. OP-Beginn, OP-Ende, beteiligte Personen und verwendete textile Materialien (Bauchtücher). In einem weiteren Ansatz wird zudem die automatische Erfassung von sogenannten Sondersituationen, d.h. Abweichungen vom Routineablauf des Eingriffs durch das System geprüft.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 RFID - Funktionsweise

In einem RFID System wird mit Hilfe von Radiofrequenz (RF, elektromagnetische Wellen) der Kontakt zwischen den Leseinheiten, den RFID Transpondern (sogenannte RFID-Tags oder RFID-Chips), und dem Lesegerät, den Antennen, hergestellt. Es gibt verschiedene Parameter nach denen eine Klassifizierung von RFID-Systemen vorgenommen werden kann:

- Art der Frequenzbereiche
- verwendeten Speicher der Transponder
- Energieversorgung der Transponder
- Reichweite

Die Klassifizierung nach der Reichweite kennzeichnet den Abstand zwischen dem Transponder und dem Lesegerät. Mit dieser Klassifizierung kann man am ehesten zwischen den unterschiedlichen Einsatzgebieten der RFID-Systeme unterscheiden.

Generell unterscheidet man zwischen Systemen mit geringer (s.g. Close Coupling), mittlerer (s.g. Mid Range) und großer (s.g. Long Range) Reichweite.

- Close Coupling Systeme: Reichweite: < 0,5 m; Frequenz: 125 – 135 kHz
- Mid Range Systeme:
  - Reichweite: ca. 1 m; Frequenz: 13,56 MHz
  - Reichweite: ca. 3 – 4 m; Frequenz: 860 – 950 MHz
- Long Range Systeme: Reichweite: bis ca. 15 m, Frequenz: 2,45 – 5,8 GHz

Die Systeme mit kurzer Reichweite kommen zum Beispiel bei Schließsystemen zum Einsatz. RFID-Technologie mit mittlerer Reichweite wird bei der Warenmarkierung und dem Diebstahlschutz verwendet. Die Vorteile von Systemen mit großer Reichweite zeigen sich bei Logistikanwendungen.

Ein RFID-System besteht aus vier Komponenten:

1. – einem beschreibbaren Transponder
2. – einer Antenne
3. – einem Lesegerät
4. – einem Server (Middleware)

Das Funktionsprinzip ist bei jedem System ähnlich: die Antennen senden Radiowellen aus, welche von dem Transponder absorbiert, in elektrische Energie umgewandelt und dann von dem jeweiligen Transponder frequenzspezifisch erneut ausgestrahlt werden <sup>35</sup>. Diese Frequenzen werden von der Antenne zurückgelesen. Anschließend werden diese Informationen an den Reader weitergeleitet. Daraus wird eine aktuelle Inventarliste mit allen erkannten Transpondern aus dem Antennenbereich erstellt <sup>36</sup>. Danach werden die Daten an das verarbeitende

Hintergrundsystem (Server, Middleware) übermittelt.



Abb. 1: Funktionsweise der Radio Frequenz Identifikation: Bild links außen zeigt den Tag mit integriertem RFID-Chip der über ein elektromagnetisches Feld mit der Antenne (Bild links Mitte) kommuniziert, welche dann die Informationen an den Reader (Bild rechts Mitte, SLG = stationäres Lesegerät) weiterleitet. Dieser Reader leitet die Daten an die weiterverarbeitende Middleware (Bild rechts außen) weiter.

RFID-Transponder enthalten einen Sender- und Empfängerschaltkreis (Spule) sowie einen Informationsspeicher (Mikrochip). Diese Mikrochips sind individuell und (im Gegensatz zu Barcode-Systemen) mehrfach mit Informationen beschreibbar. Die gespeicherten Informationen reichen je nach Größe des Chips von einer universellen Identifikationsnummer bis hin zu ganzen Produktinformationen. Die Erscheinungsformen der Transponder können sich vielfältig darstellen (einfache Glas- oder Plastikgehäuse, Chipkarten).

Das Gegenstück des Transponders ist die Antenne, welche über elektromagnetische Wellen die Kommunikation mit dem Transponder ermöglicht. Unterschiedliche Größen (Frequenzen) und Bauweisen sind mittlerweile verbreitet einsetzbar. Die Antenne ist entweder fest mechanisch mit einer Elektronikeinheit, dem RFID-Leser, verbunden oder durch Kabel an diesen angeschlossen. Um mehrere Einzelantennen mit einem Reader (RFID-Lesegerät) zu betreiben, muss ein Multiplexer zwischengeschaltet werden. Dessen Hauptaufgabe ist es, die einzelnen Antennen auf den Antennenverstärker weiterzuschalten. Der Leser gibt dann die Informationen des Transponders an eine Middleware (Server/Host) weiter, die alle eintreffenden Signale verdichtet und so die Identifikation der Tags ermöglicht<sup>34</sup>.

Bei den Tags unterscheidet man:

1. – aktive Tags (eigene Batterie, selbstständig sendend)
2. – passive Tags (Energie muss extern zugeführt werden).

In den nachfolgenden Tests werden zum Tracking der Tücher nur passive Tags verwendet, die sich durch eine längere Lebensdauer und Wiederverwendbarkeit, ein hohes Widerstandspotenzial (Hitze, Dampfsterilisation, Flüssigkeiten, Blut) sowie günstigere Kosten auszeichnen.

Der passive Transponder wird aktiviert, wenn er in ein radiofrequentes Feld eindringt, das durch die Antenne erzeugt wird. Das geschieht allerdings nur dann, wenn Typ des Transponders und des RFID-Lesers kompatibel sind, das heißt auf die gleiche Resonanzfrequenz abgestimmt sind. Der Transponder benutzt die eingestrahlte Energie und sendet die fest programmierte Antwort zurück an die Antenne (Hochfrequenzbereich 13,56 MHz), welche die Antwort von allen Transpondern im Lesebereich empfängt. Dabei verwendet der Transponder eine Spule als Empfangsantenne, mit dem Funktionsprinzip eines Kondensators, durch die er das Antwortsignal zurück senden kann. Somit entsteht eine Latenzzeit bis genügend Energie zur Zurücksendung des Signals bereitsteht. Der RFID-Code ist ein zeitauflösender Code, das heißt die Erkennung des Transponders ist abhängig von einer Mindestaufenthaltszeit im Lesefeld. Der passive RFID-Transponder braucht keine Batterie, da er seinen Energiebedarf aus dem elektromagnetischen Feld des RFID-Lesers entnimmt. Diese leitet die Daten an die Middleware weiter, welche die Daten erneut ergänzt und zur optischen Darstellung am PC vorbereitet <sup>37</sup>.

Aktive Transponder kommen zum Beispiel beim Personentracking zum Einsatz. Die Transponder können über eine eigene Batterie Daten aktiv zum RFID-Leser senden. Die Energie der Batterie wird benötigt, um die Funktion des integrierten Mikrochips zu sichern und um das Sendesignal zu erzeugen. Die Energiequelle des aktiven Transponders ermöglicht es, die Informationen kontinuierlich oder in regelmäßigen Abständen zu senden. Durch die eigene Energieversorgung der aktiven Transponder kann die Sendeleistung der dazugehörigen Antennen um den Faktor 10 bis 100 niedriger sein als bei der Verwendung von passiven Transpondern.

Die eigene Energieversorgung ermöglicht höhere Reichweiten und geringere zeitliche Verzögerungen bei der Signalarücksendung. Allerdings steigt auch die Größe und es bestehen höhere Kosten pro Einheit. Der Einsatz von aktiven Transpondern beim Personen-Tracking wird durch die geringere Latenzzeit, die begrenzte notwendige Stückzahl und den größeren Funktionsumfang gerechtfertigt. Der Einsatz von passiven Transpondern beim OP-Asset Tracking hat Vorteile durch die geringere Größe der Transponder, der preiswerteren Herstellung und durch die untergeordnete Bedeutung der schnellen zeitlichen Erkennung.

Um mögliche Unterschiede der Sendeleistungen der Antennen und ihre potentiellen Auswirkungen auf den Betrieb im OP-Saal zu evaluieren, wurden in der experimentellen Phase verschiedene Sendeleistungen getestet. Um potentielle Störungen mit weiteren technischen Geräten im OP-Saal zu vermeiden (z.B. mit Anästhesiegeräten), wurde ein elektromagnetisches Toleranz-Zertifikat erwirkt. Für die passiven Transponder wurde eine Frequenz von 13.56 MHz und für die aktiven Transponder von 2.45 GHz gewählt.

## 3.2 Tracking des OP-Asset am Beispiel Bauchtuch

### 3.2.1 Herstellung der RFID-fähigen Bauchtücher

In diesem experimentellen Arbeitsteil bestand der erste Schritt darin, die RFID-Transponder per Hand in die Bauchtücher einzunähen. Hierbei wurden je ein Standard-RFID-Tag (Modell Orion, DataMars, Frequenz 13,56 MHz, 22x3mm, 1.7g, HF Chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland) in ein Bauchtuch (Toptex lite RK, Größe 40 x 40 cm, Lohmann & Rauscher) eingenäht. Dazu wurde an einer Seite des Tuches die Originalnaht geöffnet, der Transponder zwischen den doppelagigen Stoff eingeführt und mit Nahtmaterial befestigt. Anschließend wurde die Naht wieder verschlossen.



Abb. 2: Transponder Modell Orion, Durchmesser: 22mm, Höhe: 3mm, Gewicht: 1.7g, enthält HF Chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland

### 3.2.2 Versuchsplanung

Zur kontinuierlichen textilen Objektverfolgung sind im OP die Bereiche Instrumentiertisch (Anrichte), OP-Tisch (Abdomen des Patienten) sowie Abwurfeimer für Messungen relevant.

Zur Testung und Auswertung des RFID Systems werden verschiedene OP-Szenarien simuliert. Vor Beginn der Operation soll die Gesamtzahl der auf dem Instrumentiertisch platzierten Bauchtücher automatisch registriert werden. Dann kann die Operation gestartet werden. Im Verlauf des simulierten Eingriffs werden die Textilien wiederholt in den OP-Situs verbracht und am Ende der Operation in den Abwurf gelegt. Der aktuelle Standort der Textilien (OP-Situs, Instrumentiertisch (Anrichte), Abwurf) wird während des gesamten Eingriffs auf einem Notebookbildschirm dargestellt. Befinden sich am Ende des simulierten Eingriffs noch Bauchtücher auf dem OP-Tisch, d.h. im Abdomen des Patienten, soll dies vom System erkannt und dem OP-Team graphisch (rote Ampel) und numerisch (Anzahl der zurückgelassenen Tücher) visualisiert werden.

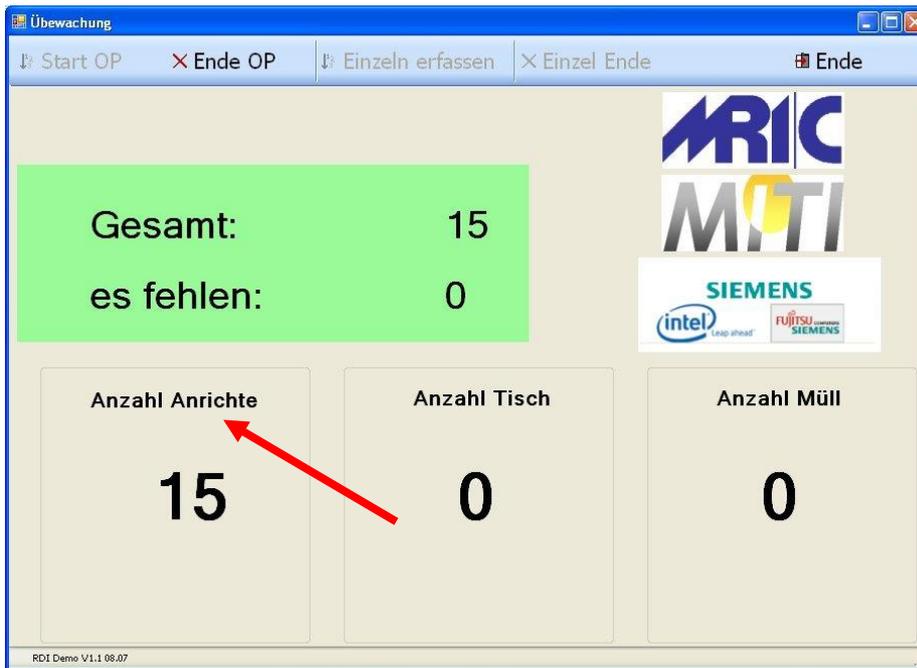


Abb. 3: RFID-Notebookbildschirm mit Echtzeitmessung: OP-Beginn (Systemstart): 15 Tüchern auf dem Instrumentiertisch (=Anrichte, roter Pfeil)



Abb. 4: RFID-Notebookbildschirm: OP-Verlauf: 11 Tücher auf dem Instrumentiertisch, 4 Tücher auf dem OP-Tisch (= im Patienten, blauer Pfeil)

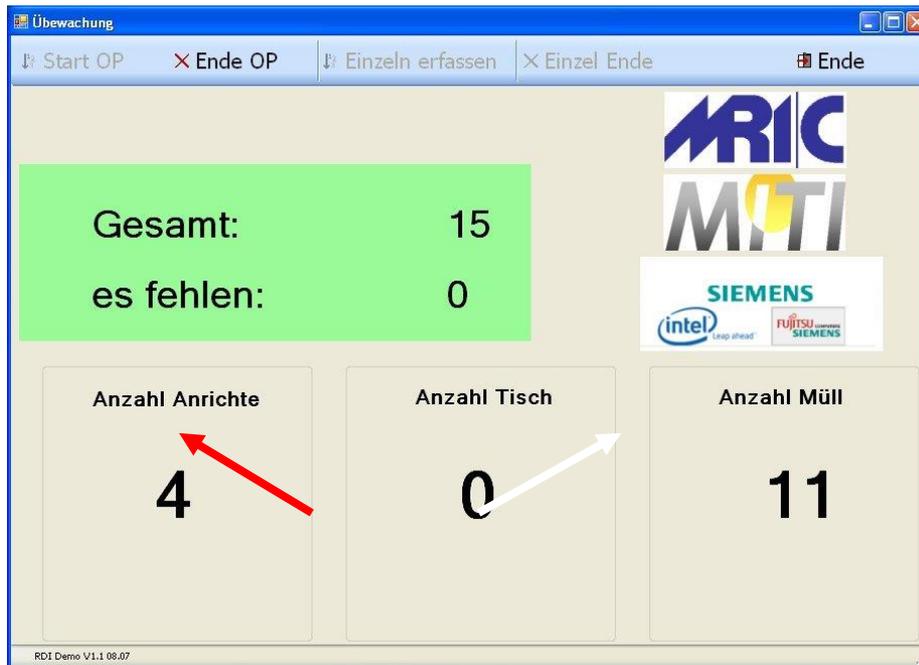


Abb. 5: RFID-Notebookbildschirm: OP Ende: 4 Tücher auf dem Instrumentiertisch (roter Pfeil), 11 Tücher im Abwurf (weißer Pfeil). Kein Bauchtuch befindet sich mehr im Patienten

Zum bisherigen Zeitpunkt basiert das RFID-System auf drei strategisch positionierten Antennen. Eine davon deckt den Instrumentiertisch (Anrichte) ab, eine weitere liegt auf dem OP-Tisch (unter dem Patientenkörper), während eine dritte den Abwurfbehälter mit den entsorgten Tüchern überwacht. Der Zahlencode aus dem passiven Transponder lässt über eine zentrale Datenbank eine eindeutige Identifizierung zu. Diese Anordnung ermöglicht dem Operateur während der gesamten OP einen Überblick über die Verteilung und Anzahl der verwendeten Bauchtücher.

### 3.2.3 Versuchsaufbau

Im Experimental-OP der MITI-Forschungsgruppe am Klinikum Rechts der Isar der Technischen Universität München wurde eine RFID-Testanordnung installiert, die den oben beschriebenen dreiteiligen Ansatz berücksichtigt. Dabei hatten die verschiedenen Antennen unterschiedliche Aufgabenbereiche abzudecken.

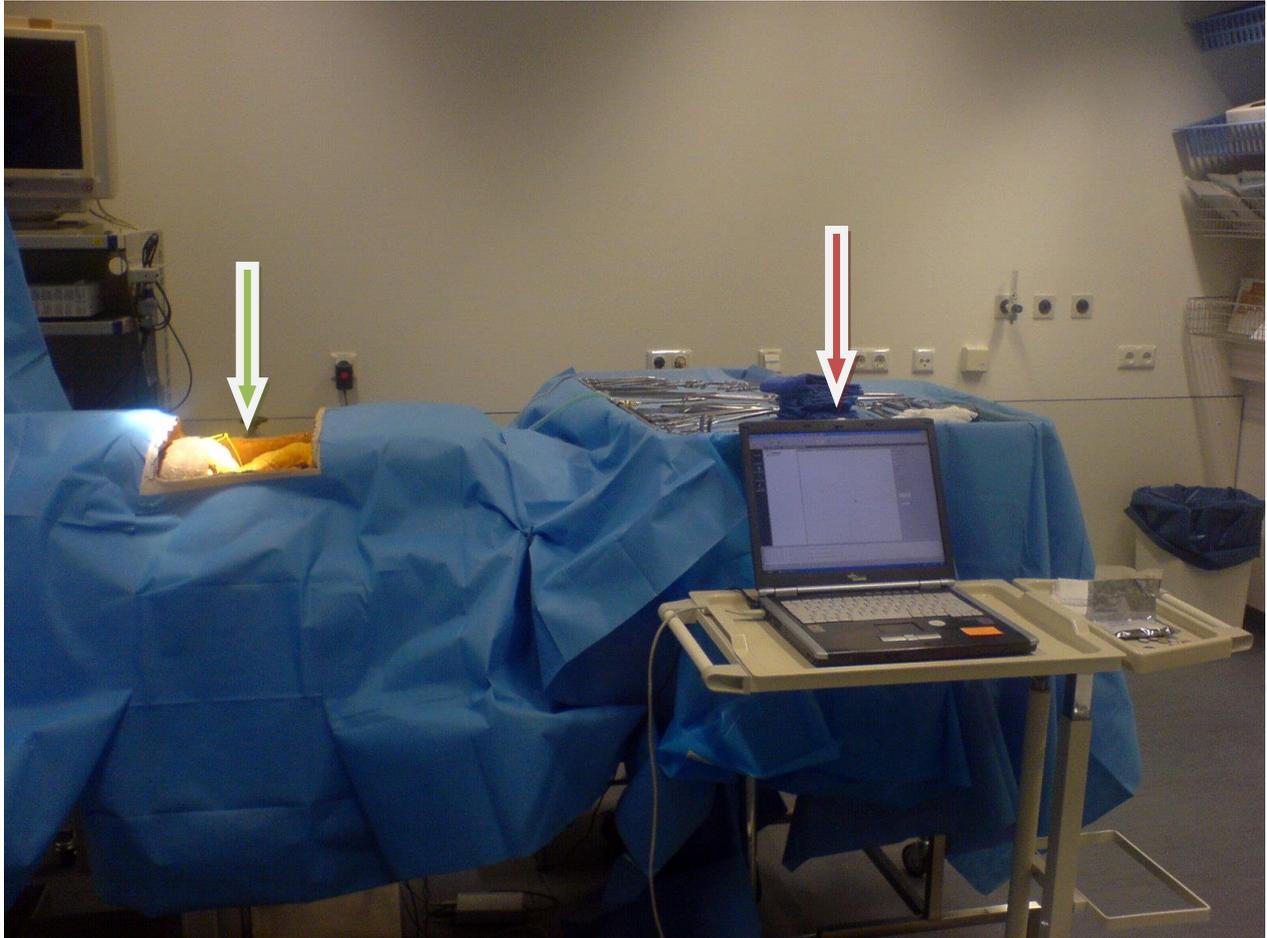


Abb. 6: Versuchsaufbau im Experimental-OP, OP-Phantom Elite (grüner Pfeil), RFID-Notebook (roter Pfeil)

Die für das Abdomen zuständige Antenne muss menschliche Haut und menschliches Gewebe durchdringen, resistent gegenüber Körperflüssigkeiten sein und spezielle Reinigungsprozesse tolerieren. Nach Vorversuchen mit diversen Lesegeräten, Transpondern und Reichweiten hat sich die Arbeitsgruppe für folgende Testanordnung entschieden: es wurde das Moby D-System von Siemens ausgewählt, welches im Hochfrequenzbereich (HF) von 13,56 MHz sendet, der im Gegensatz zur Ultrahochfrequenz (UHF) kaum störanfällig gegenüber Feuchtigkeit, Flüssigkeit und Metall ist. Für die in-vitro Versuche wurde das OP-Phantom ELITE (CLA Coburg) eingesetzt.

Die Größe der Patientenantenne ist durch den notwendigen Funkradius, der durch die Dimension des Patienten determiniert wird, bestimmt. Die zur Abdeckung des

Patientenkörpers vorgesehene Antenne hat eine Größe von 12 cm x 110 cm x 36 cm (Ringantenne, TP 4 W, Siemens Medical Solutions, Germany).

Für den Instrumentiertisch (Anrichte) wurde eine rechteckige mid-range Antenne (Größe: 34 cm x 23 cm, flache Antenne, ISC.ANT340/240, FEIG Electronic GmbH, Weilburg, Germany) und zur Überwachung und Registrierung des Abwurfs eine ringförmige Antenne (Größe: 31 x 33 x 3,5 cm, Ringantenne, ISC ANT300/300-A, FEIG Electronic GmbH, Weilburg, Germany) verwendet, die im Gegensatz zur Patientenantenne kleiner sein kann, weil die Tücher direkt auf der Antennenoberfläche zu liegen kommen. Diese beiden mid-range-Antennen arbeiten mit einer Leistung von 0,25 Watt.



Abb. 7: Antenne des Abwurfs (Ringantenne schwarz, Länge: 37 cm, Breite: 32 cm)

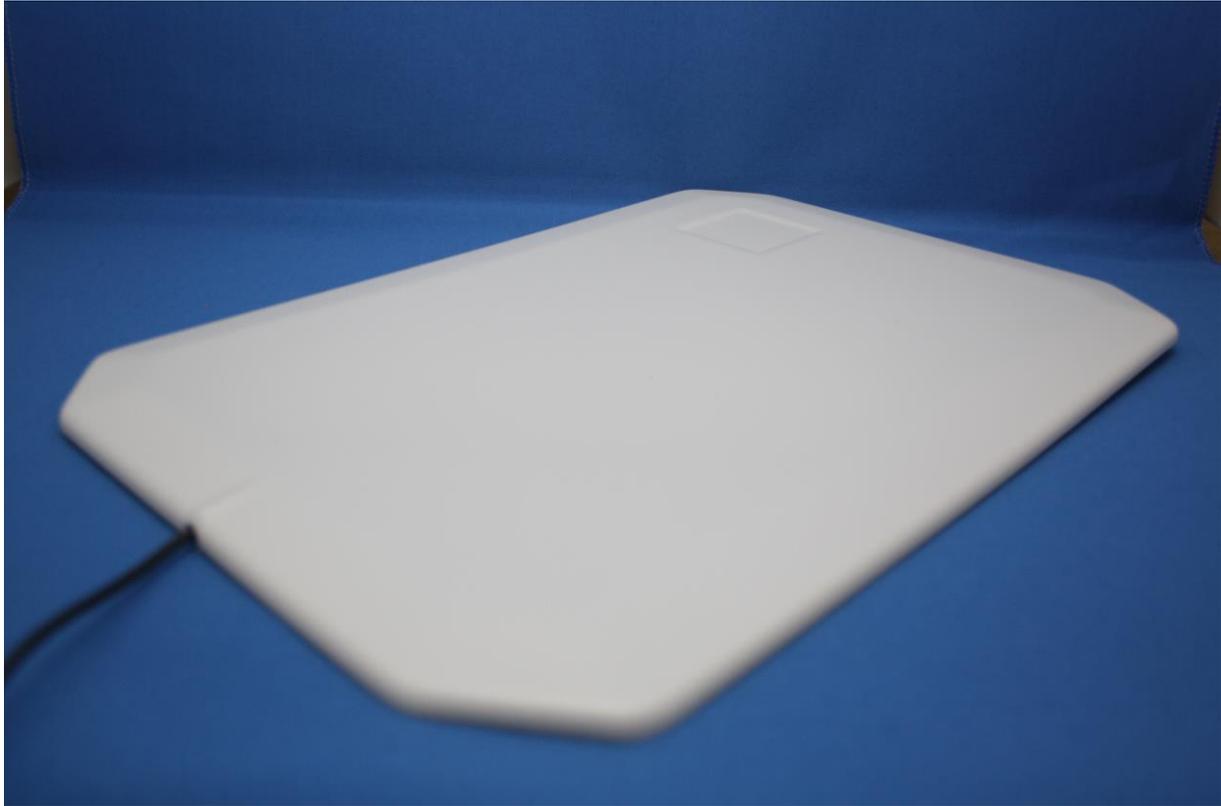


Abb. 8: Antenne der Anrichte (weiß, Länge: 37 cm, Breite: 23 cm) und

Im Experimental-OP-Saal der MITI-Forschungsgruppe wurde die Antenne der Anrichte auf einem fahrbaren Tisch platziert, die Patientenantenne direkt auf dem OP-Tisch und die Abwurf Antenne in einem Standardabwurfeimer eingesetzt und an einen Laptop (Fujitsu Siemens, Intel Celeron 1,4 GHz mit 1 GB Ram Arbeitsspeicher) mit der zugehörigen Middleware und einer speziell für die Anwendung entwickelten Software (Siemens Medical Solutions, Germany) angeschlossen. Eine externe Stromversorgung der Antennen mit 220 V ist notwendig. Die Abtastfrequenz des RFID-Feldes durch den RFID Reader liegt bei 1/10 Sekunde.

### 3.2.4 Testläufe mit den Antennen für Anrichte und Abwurf

Bei der Versuchsplanung war die exakte Leistungsfähigkeit der einzelnen Antennen in den Bereichen Lokalisation und Identifikation nicht exakt bekannt. Deswegen wurden verschiedene Testdurchläufe mit unterschiedlichen Bauchtücheranzahlen auf den einzelnen Antennentypen durchgeführt. Hierbei lag der Fokus der Testung auf

der exakten und zuverlässigen Funktion der OP-Tischantenne sowie der Anrichtenantenne.

### 3.2.4.1 Lokalisationscheck

Im ersten Arbeitsschritt wurde untersucht ob die in die Tücher eingenähten Transponder von der jeweiligen Antenne korrekt erkannt, erfasst und angezeigt werden. Dazu wurden 5 Tücher per Hand auf die Anrichte bzw. in den Abwurf gelegt. In Steigerungsschritten von je 5 Tüchern wurde die Maximalanzahl der Tücher bis auf je 30 Stück auf der Anrichte oder im Abwurf erhöht. Die Erfassung der einzelnen Tücheranzahlen (5, 10, 15, 20, 25, 30 Stück) wurde auf der Anrichtenantenne in je 10 Messdurchgängen und bei der Abwurfantenne in je 5 Durchgängen ermittelt. Da sich durch das münzförmige Design der Transponder die Fläche der Spule, welche von den Radiowellen erreicht wird, in Abhängigkeit der Transponderlage im Raum verändert, wurde die Position der Tücher in ihrem Verhältnis untereinander (einzeln oder als Stapel) als auch in ihrer Ausrichtung im Raum in unterschiedlichen Konfigurationen getestet (horizontal/vertikale Ausrichtung).

### 3.2.4.2 Einzelzählung (Erkennungsgenauigkeit)

Für den späteren Einsatz des RFID-Systems ist die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Erfassung der in dem jeweiligen Antennenbereich befindlichen Transponder von entscheidender Relevanz. Deswegen wurde im nächsten Arbeitsschritt die Sensitivität des Systems durch das Einbringen von 1 bis 10 Tüchern entweder in den Empfangsbereich der Antenne „Anrichte“ und der Antenne „Abwurf“ getestet. Auch hier wurde die Erfassung der jeweiligen Tücheranzahl bei der Anrichte in 10 Durchgängen und beim Abwurf in 5 Durchgängen bestimmt. Als Steigerung wurde die maximale Anzahl der im Erkennungsbereich abgelegten Tücher auf 20 Stück erhöht und in je 5 Testläufen validiert. In einem letzten Schritt zur Austestung der

Erfassungsgrenzen des Systems wurden bis zu 30 Tücher auf beide Antennen verteilt und die Ergebnisse festgehalten. Auch bei diesen Messungen wurde das Verhältnis und Lage der RFID bestückten Transponder untereinander verändert (Pulk/Stapel/einzeln) und auch ihre Ausrichtung im Raum variiert.

### 3.2.4.3 Testung der Detektions-Zuverlässigkeit

Entscheidend für den Einsatz zur Erkennung zurückgelassener Bauchtücher ist die Genauigkeit und Zuverlässigkeit, mit der ein einzelner verbleibender Transponder von der Antenne erkannt wird. Um dies zu erfassen wurde ein einzelnes Bauchtuch 105 mal auf die Anrichtenantenne gelegt und jeweils Erkennung und Visualisierung dokumentiert.

### 3.2.5 Testläufe mit der Antenne für den OP-Tisch

Eine besondere Bedeutung bei der Versuchsplanung wurde auf die Antenne gelegt, welche den OP-Situs abdeckt.

#### 3.2.5.1 Erkennungsgenauigkeit

Die Antenne (rechteckig, Maße: 12 cm x 110 cm x 36 cm) für den Einsatzbereich OP-Tisch unterscheidet sich von der Anrichten - und Abwurfantenne in Leistung, Größe und Form. Deswegen waren eigene Tests mit dieser Antenne notwendig. Wie bei der Anrichtenantenne wurde zu Beginn ein einzelnes Bauchtuch in 105 Testdurchläufen auf die OP-Tischantenne gelegt, und die Ergebnisse der Detektion und Identifikation dokumentiert. Im nächsten Schritt wurde, um den Körper eines Patienten zu simulieren, ein ELITE OP-Phantom (CLA Coburg) auf den OP-Tisch im MITI Experimental-OP gelegt. Zu Beginn wurden bis zu 20 Bauchtücher (Start mit 1

Tuch, Steigerung um je 1 Tuch) auf der OP-Tisch Antenne verteilt und je 5 Durchgänge erfasst. Weitergehend wurden 1-20 Tücher auf das Abdomen des OP-Phantom (Abstand zur Antenne ca. 32 cm) gelegt und auch in 5 Durchgängen ausgewertet.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Bauchtücher im Abdominalsitus des OP-Phantoms platziert. Hierzu wurden bis zu 20 Tücher in 5 Wiederholungen zwischen die Plastikorgane des OP-Phantoms positioniert. Die Position der Tücher ist hierbei nach dem Zufallsprinzip durch die Anordnung der Darmschlingen vorgegeben und kommt der realen Situation bei der Benutzung am Menschen am nächsten. Hierbei kommt die flache Seite (und somit die größte Spulenfläche) der Transponders nicht wie bei den vorherigen Probeläufen automatisch parallel zur Antenne zu liegen, sondern ist in der Ausrichtung variabel und kann in allen Richtungen des Raumes zu liegen kommen. Diese unterschiedlichen Ausrichtungen erhöhen die Schwierigkeitsanforderung an das System erheblich. Die Messungen wurden daher mit verschiedenen Leistungsstufen der Antenne (2, 4, 6, 8 und 10 Watt) durchgeführt. Ein weiterer Aspekt bei der Testung der unterschiedlichen Leistungsstufen der Antenne war die zunehmende Erwärmung einzelner Geräteteile abhängig von der Sendeleistung und Inbetriebnahmezeit. Insgesamt wurden 1500 Einzelmessungen protokolliert.

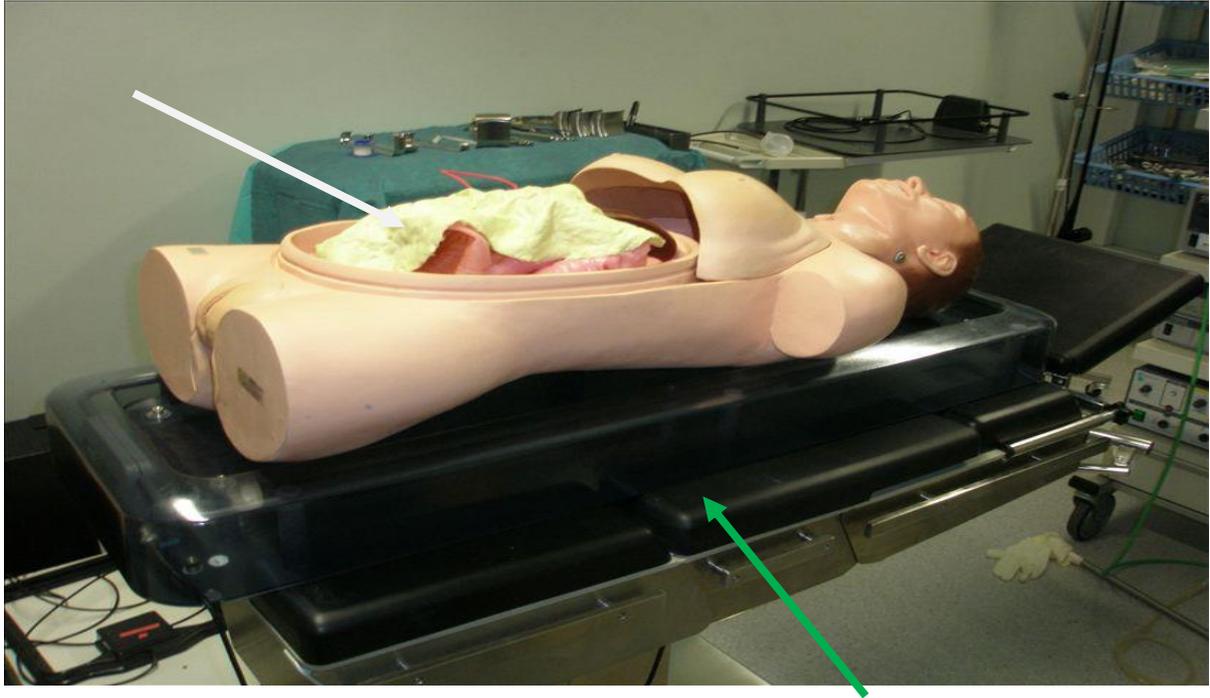


Abb. 9: OP-Phantom ELITE (weisser Pfeil) auf OP-Tisch Antenne (TP 4 W, Siemens Medical Solutions, Germany, grüner Pfeil) gelagert

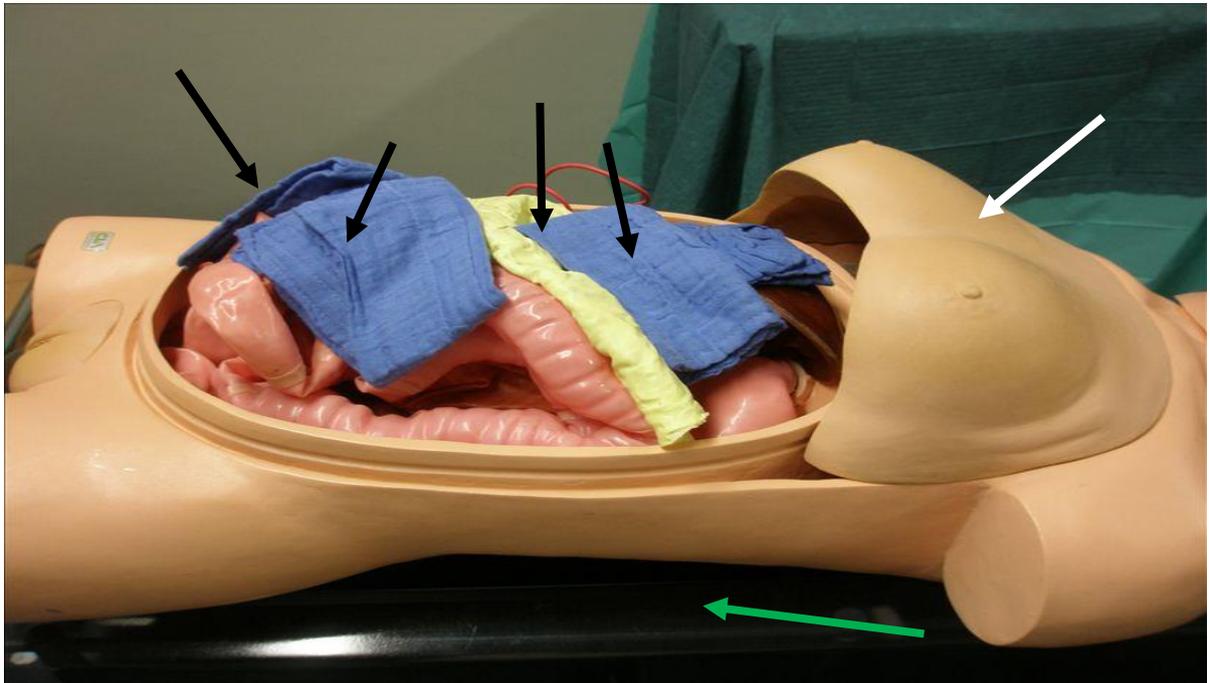


Abb. 10: Bauchtücher (schwarze Pfeile) **auf** dem Situs des OP-Phantoms ELITE (weißer Pfeil), dass auf der OP-Tisch Antenne (grüner Pfeil) gelagert ist

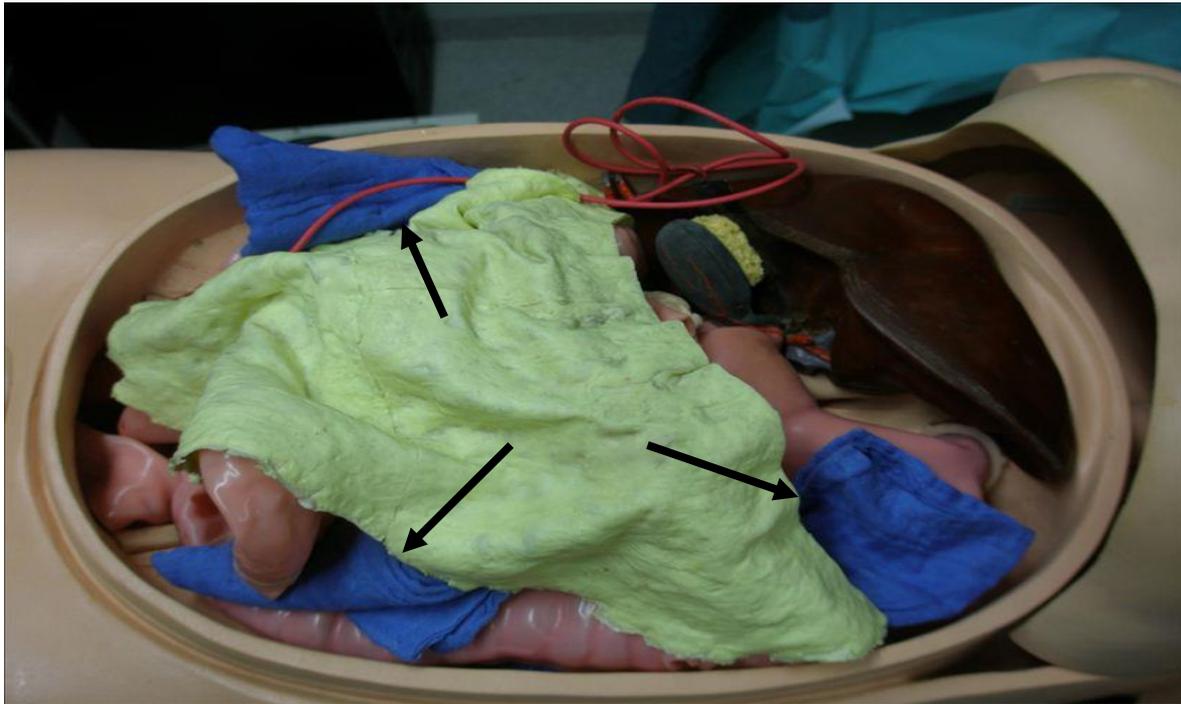


Abb. 11: Bauchtücher (schwarze Pfeile) im Situs des OP-Phantoms-ELITE verteilt, dass auf der OP-Tischantenne gelagert ist.

### 3.2.5.2 Antennenfeldeingrenzung

Zur Bestimmung der Größe des emittierten RFID-Feldes (maximaler Abstradius) der OP-Tisch-Antenne, wurde das Antennenfeld an 15 unterschiedlichen Positionen in allen Richtungen des Raumes um die Antenne herum bestimmt. Gemessen wurde der größte Abstand zur Antennenoberfläche in Zentimetern, an dem der Transponder zuletzt durchgehend 10 Sekunden von der Antenne erkannt wurde. Bei jeder Position wurde der Maximalabstand 3-mal getestet und der Mittelwert der Ausdehnung bestimmt.

Zur Erfassung von Referenzwerten und zur Einordnung der Leistung der verwendeten RFID-Transponder wurde die Reichweite des RFID-Feldes neben dem des Standardtransponders, der in die Bauchtücher eingearbeitet wurde, (22 x 3 mm, 1.7g, HF Chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland) zum Vergleich auch mit 3 weiteren Transponder Modellen bestimmt. Zwei dieser vergleichbaren Transponder

sind mit einer Größe von 8,5 cm x 5,4 cm x 0,08 cm (rechteckiges „Scheckkarten-Format“) bzw. einer Zylinderform mit einem Radius von 2,3 cm bei 0,9 mm in dieser Ausführung nicht zur Applikation an OP-Material geeignet und sollen nur für die Leistungsfähigkeit der RFID-Systeme hinweisend sein. Der dritte Transponder entspricht von der Form einer 1-Euro Münze mit einem Durchmesser von 2,5 cm von 0,07 cm und kommt daher dem Design der in den Tüchern verwendeten Tags am nächsten. Alle getesteten Transponder senden auf der gleichen Frequenz von 13,56 MHz.

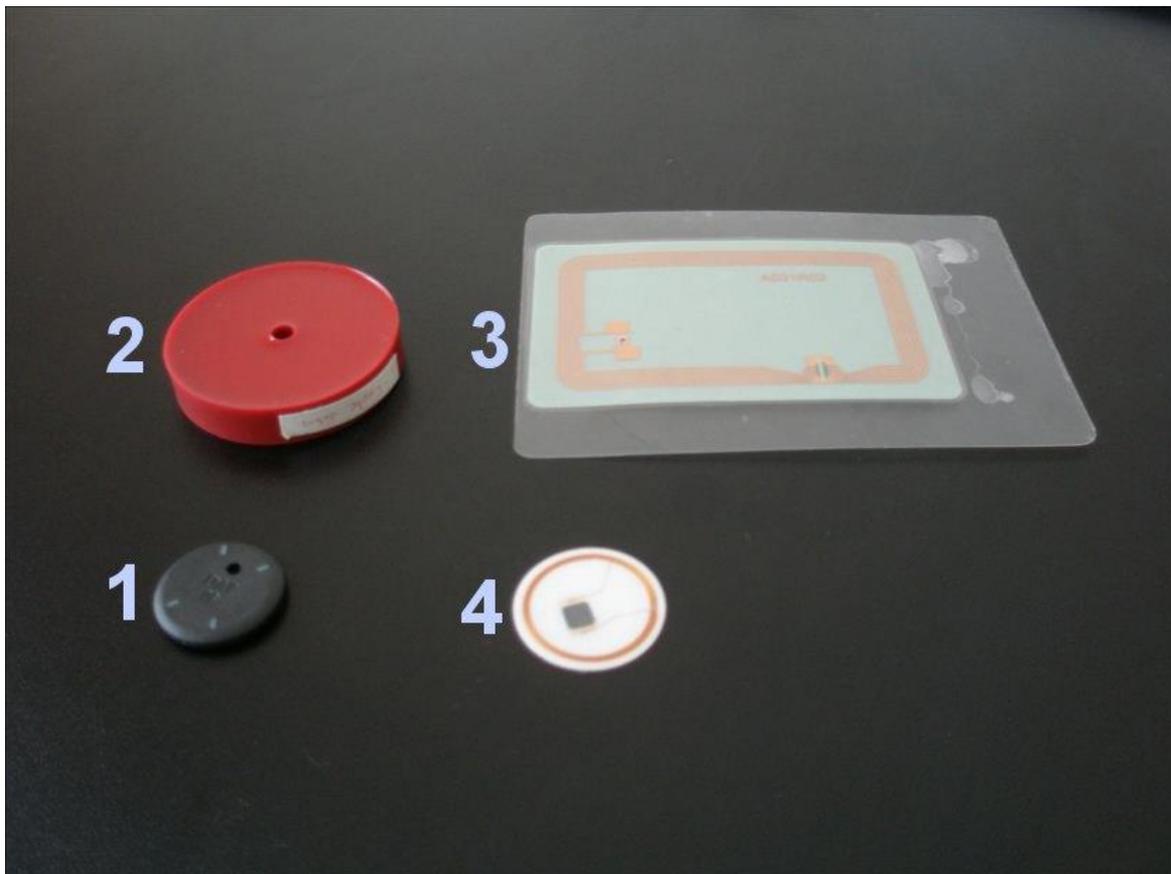


Abb. 12: 4 verschiedene getestete Transponder (1: Standardtransponder (HF Chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland, Durchmesser: 22mm, Höhe: 3mm, Gewicht: 1.7g; 2: Transponder in Zylinderform: Durchmesser: 46 mm, Höhe: 9 mm, Gewicht: 16,4 g; 3: Transponder in Scheckkartenform: Länge: 85 mm, Breite: 54 mm, Höhe: 0,5 mm, Gewicht: 1,4 g; 4: Transponder in Form einer flachen Münze: Durchmesser: 25 mm, Höhe: 0,7 mm, Gewicht: 1,2 g; Transponder 2-4: Siemens, Medical Solutions, Germany)

Zur weiteren Datenakquise wurde die Erkennungsgenauigkeit jedes Transponders in vier verschiedenen Ausrichtungen gemessen ( (1) größte Fläche des Transponders horizontal zur Antennenoberfläche, (2) größte Fläche des Transponders in einem 45° Winkel zur Antennenoberfläche, größte Fläche des Transponders vertikal parallel (3) zur langen sowie zur (4) kurzen Seite der Antenne).

Um die Leistungsfähigkeit der Antenne genauer abzubilden, wurde die Größe des Erkennungsbereichs der Antenne in Abhängigkeit von Transpondertyp und Transponderausrichtung bei jeweils 2, 4, 6, 8 und 10 Watt Leistung bestimmt.

### 3.3 Temperaturmessungen

Verschiedenen Operationen unterscheiden sich bekanntermaßen hinsichtlich ihrer Gesamtdauer. Von Interesse war es daher, mögliche Erwärmungen oder sogar kritische Erhitzungen der einzelnen RFID-Geräteteile zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Temperaturmessungen mit einem Oberflächenthermometer (Digital-Präzisionsthermometer GTH 175/ MO, Greisinger Electronic GmbH, Germany) durchgeführt. Hierzu wurde an 4 definierten Messstellen des RFID-Systems Zeitpunkt 0 (= Ausgangspunkt) sowie darauffolgend über 120 min alle 10 min und abschließend nach 240 min Laufzeit die Temperatur gemessen. Diese Messungen wurden bei je 2, 4, 6, 8 und 10 Watt Antennenleistung vorgenommen. Die Messstellen waren (1) der Multiplexer, (2) das Verbindungsgerät (zwischen Multiplexer und Steckdose), sowie (3) die Patientenantennenoberfläche (nahe des Patienten) und (4) die Patientenantennenoberfläche (entfernt des Patienten).

### 3.4 Tierversuch

Als Vorbereitung für den Einsatz des RFID-Systems im Zentral-OP des Klinikums Rechts der Isar folgten nach den in-vitro Versuchen im nächsten Schritt in vivo

Experimente im Tierversuch. Diese wurden im Rahmen anderer Forschungsprojekte durchgeführt und waren durch die zuständige Ethikkommission genehmigt. Hierzu wurde die OP-Tischantenne (TP 4 W, Siemens Medical Solutions, Germany) auf einem Standard OP-Tisch im Zentrum für präklinische Forschung (ZPF) gelegt und der zugehörige Versuchsaufbau installiert. In 5 Tierversuchen (Schweine mit einem Gewicht von 38 bis 43 Kg) wurde dann die Erkennungsgenauigkeit von jeweils bis zu 10 Tüchern im geöffneten Abdomen des laparotomierten Schweins in 5 Durchläufen getestet. Die Erfassung der Tücher wurde bei einer Leistung von 4 Watt bestimmt.

### 3.5 Tracking des OP-Personals mit RFID

Neben dem Tracking der Bauchtücher wurde in der zweiten Fragestellung dieser Arbeit der Einsatz von RFID Technologie zum Monitoring des OP-Personals getestet. Ziel dieses Arbeitsabschnittes ist die Erkennung und Überwachung der Bewegungen des OP-Teams. Das Betreten des Operationssaals kann nicht a priori mit der Funktionsaufnahme des Team-Mitglieds gleichgesetzt werden. Ein verlässlicherer Indikator ist aber das Eintreten in den Bereich, der den OP-Tisch unmittelbar umgibt. Sobald sich das Team-Mitglied (z.B. der Operateur) in die Reichweite von dort zu beiden Seiten angebrachten Antennen begibt, kann dessen Lokalisation erfolgen. Diese Zuordnung muss von dem RFID-System erkannt werden.

Durch spezifische Transponder (aktive RFID-Transponder; ZOMOFI Z-Tag, Albis Technologies Ltd., Switzerland) in der Kitteltasche der Operateure sollte die grafische Abbildung der Positionierung des OP-Personals rein automatisch erfolgen. Hierzu wurde die Positionserkennung der Transponder in den entsprechenden Zonen (rechts bzw. links von einem Standard-OP-Tisch 60 x 200 cm) untersucht. Im Gegensatz zu den Testreihen mit den Bauchtüchern wird hierbei das Augenmerk auch auf das für die Erkennung und Lokalisation notwendige Zeitfenster gelegt, welches als Messparameter verwendet wird.



Abb. 13: RFID-Sektor-Controller (Länge: 15 cm, Breite: 8 cm, Höhe: 2 cm, ZOMOFI Network Controller, Albis Technologies Ltd., Zürich, Switzerland)



Abb. 14: Aktiver Transponder (Länge: 82 mm, Breite: 38 mm, ZOMOFI Z-Tag, 2.45 GhZ, 112 Bytes, Albis Technologies Ltd., Switzerland)

Entscheidend hierbei ist die korrekte Positionierung von Sektorantennen, mit denen eine verlässliche räumliche Positionsbestimmung des jeweiligen Transponders möglich ist. Da der Aktionsradius der einzelnen Akteure am OP-Tisch relativ begrenzt ist, sind hier technisch entsprechend anspruchsvolle Antennenlösungen mit kleinen, aber für den jeweiligen Transponder spezifischen Detektionsradien

notwendig, bei denen Überlappungen der Antennenradien weitgehend vermieden werden. Zum Einsatz kamen eine RFID-Sektor-Antenne der Firma Huber + Suhner (Typ SPA 2400/70/9/0/RCP, Herisau, Switzerland).

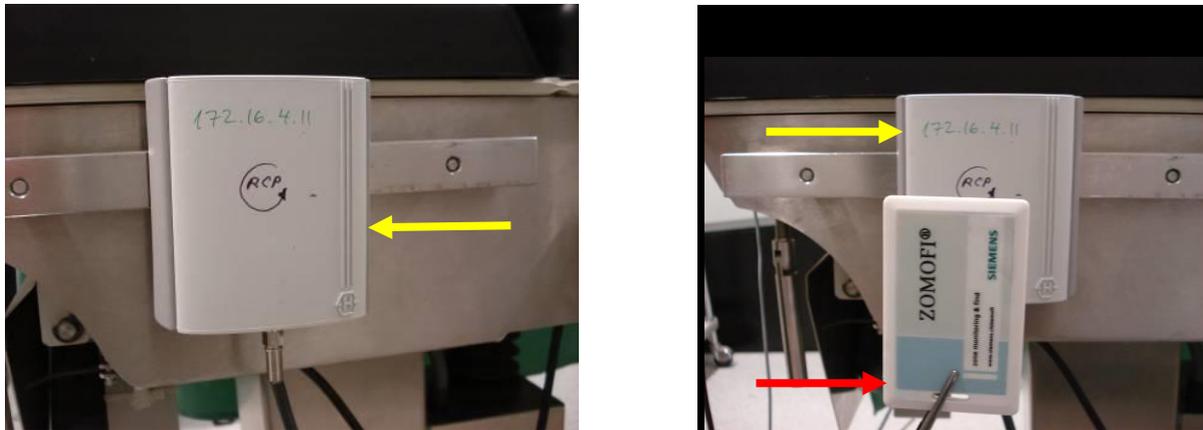


Abb. 15: Linkes Bild: RFID-Sektor-Antenne (Huber + Suhner, Typ SPA 2400/70/9/0/RCP, Herisau, Switzerland, gelber Pfeil) an der linken Seite eines Standard-OP-Tisches ( 60 x 200 cm )  
Rechtes Bild: RFID-Sektor-Antenne (gelber Pfeil) mit aktivem RFID-Transponder (Zomofi Z-Tag, Albis Technologies Ltd. Switzerland, roter Pfeil)

### 3.5.1 Erkennung der Transponder

Zur Personenerkennung wird jedes Mitglied des OP-Teams mit einem aktiven Transponder (Multifunktionstag, Benutzerspeicher 112 Bytes, Albis Technologies Ltd) in der Seitentasche der OP-Bekleidung ausgestattet. Zur Ortung des aktiven Transponders wurde an beiden Seiten des OP-Tisches mittig je ein RFID-Antenne (Albis Technologies Ltd., Switzerland) angebracht, welche mit dem RFID-Sektor-Controller verbunden waren. Somit wurde die unmittelbare Umgebung des OP-Tisches in 2 Zonen (links und rechts des OP-Tisches) unterteilt (siehe Abb. 16). Die Lokalisationserfassung und graphische Darstellung auf dem Laptop erfolgte mit einer speziell für diese Versuchsreihe entwickelten Software (Z-Demo Application mit Zonen Monitoring und Find V.1.4, Siemens Erlangen, Germany). Die aktiven Transponder arbeiten mit einer autonomen Energieversorgung auf einer Frequenz von 2,45 GHz.). Als IP Konfiguration wurde ein Netzwerk für private Benutzer gewählt, (172.16.4.xx), das Benachrichtigungsintervall wurde auf 5 Sekunden

festgesetzt und die Abschwächung des RFID-Feldes (Attenuation) bei 31dB festgelegt. Für jede Tischseite wurde zunächst separat getrennt die Dauer bis zur korrekten Lokalisation in Sekunden gemessen. Insgesamt wurden maximal 6 aktive Personensender positioniert. Pro Seite und Transponderanzahl wurde die Zeit in 5 Durchgängen gemessen. Mehrere Transponder wurden (nicht überlappend) mit einem Abstand von durchschnittlich 30 cm zur Antenne gehalten. Darüber hinaus wurde die Idealpositionierung der Controller untersucht.

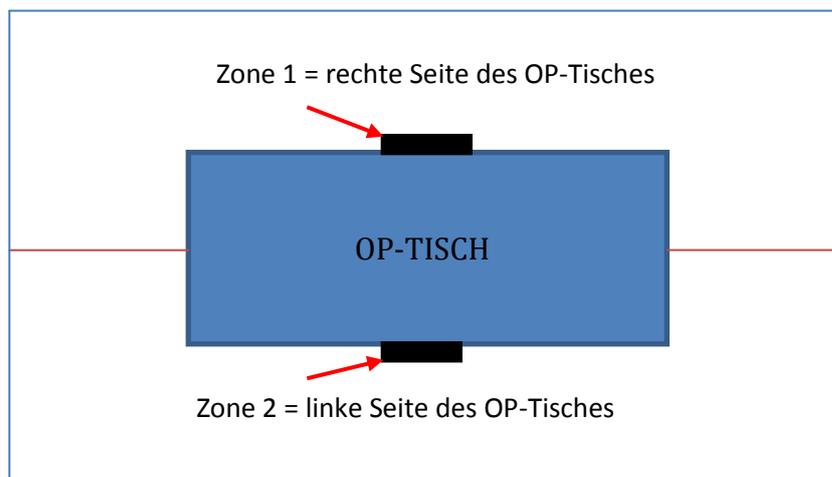


Abb. 16: Schematische Darstellung des OP-Tisches (Aufsicht von oben), der beiden Controller (rote Pfeile) die jeweils seitlich an der Mitte des OP-Tisches angebracht sind, sowie die Zonen die durch die Controller abgedeckt werden

Die korrekte Einordnung der Position der Transponder erfolgt über Registrierung von sogenannten „Blinks“. Diese „Blinks“ sind jeweils einzelne Kommunikationssignale zwischen Transponder und Antenne. Um die aktuelle Lokalisation des Transponders zu bestimmen, verrechnet das System die Blinks über einen bestimmten Zeitraum mit einander und bestimmt daraus die korrekte Positionierung.

### 3.5.2 Erkennung des Seitenwechsels

Weiterführend wurde die Erkennungsgenauigkeit bei einem Seitenwechsel der Transponder am OP-Tisch getestet. Hierfür wurden  $n = 1$  bis 6 Transponder

entsprechend folgendem Ablauf zu beiden Seiten des Tisches positioniert (Tab.1).

Tab. 1: Darstellung der Verteilung der Transponder rechts und links des OP-Tisches

rechte Tischseite	1	2	3	4	5
linke Tischseite	5	4	3	2	1

Hierbei hat mindestens 1 Sender nach korrekter Erkennung seine Position gehalten, während 1-5 weitere Sender (nach korrekter Erkennung) einen Seitenwechsel vollzogen haben. Die Durchgänge wurden identisch mit Wechseln von der rechten auf die linke OP-Tischseite sowie in umgekehrter Richtung durchgeführt.

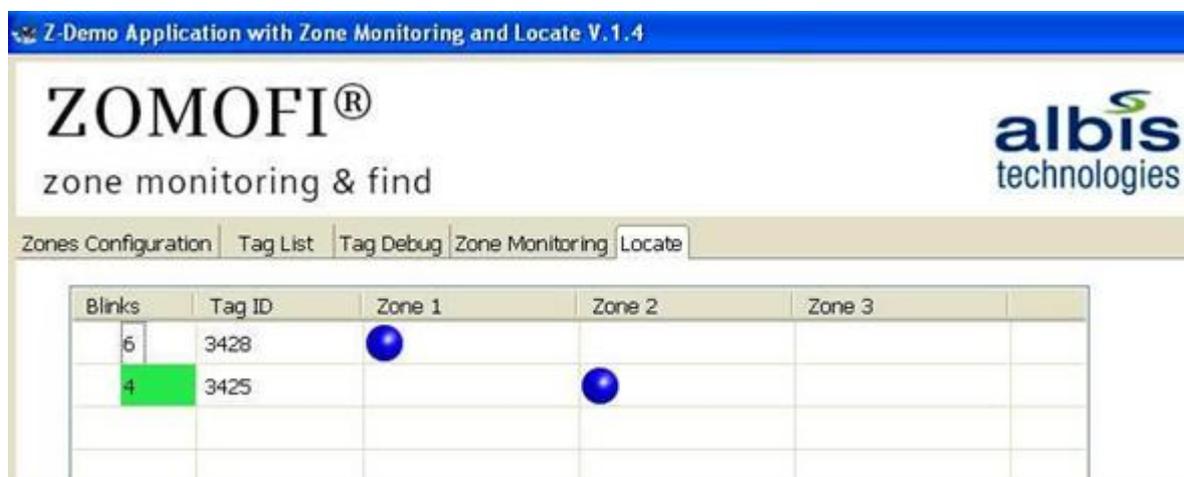


Abb. 17: Echtzeittracking des OP-Personals (Screenshot): Zone 1 = rechte Seite des OP-Tisches; Zone 2 = linke Seite des OP-Tisches; auf jeder Seite des OP-Tisches ist jeweils ein aktiver Transponder lokalisiert (Tag ID 3428/3425); der Tag 3428 hatte 6 „Blinks“ (= Kommunikationssignal zwischen Transponder und Antenne; der Tag ID 3425 hatte 4 „Blinks“

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Funktionalität der Antenne für Instrumentiertisch und Abwurf

Die Tests zur Bestimmung der Erkennungsgenauigkeit der auf dem Instrumentiertisch und im Abwurf positionierten Antennen wurden mit einem Lokalisationscheck begonnen. Dabei wurden maximal 30 Bauchtücher (6 Stapel mit

je 5 Bauchtüchern) in 5er Schritten in das RFID-Feld der einzelnen Antennen eingebracht. Bis zu einer Anzahl von 15 Bauchtüchern (3 Stapel mit je 5 Bauchtüchern) lag die Erkennungsgenauigkeit bei 93,3%, eine falsche Anzahl bzw. keine Erkennung wurde in je 3,3% der Tests beobachtet. Die fehlerhafte Erkennung wurde bei 15 Bauchtüchern an der Abwurf- Antenne beobachtet. Nach Verbringung von 15 Tüchern in den Bereich der OP-Tisch Antenne (OP-Phantomsitus), wurden bis zu  $n = 15$  nachgelegte Bauchtücher auf der Instrumentiertisch Antenne wieder erkannt. Ab 20 gleichzeitig positionierten Tüchern (= 4 Packungen) auf einer Antenne (Instrumentiertisch Antenne oder Abwurf Antenne) arbeitete das System nicht mehr zuverlässig. Von den Stapeln mit  $n = 20 / 25 / 30$  Bauchtüchern wurden nur 9,9% korrekt erkannt, bei 29,9 % wurde eine falsche Anzahl angezeigt, 60,9 % wurden nicht erkannt (in der Anzeige erschienen sie als 0 Bauchtücher im System). Wenn eine falsche Anzahl an Bauchtüchern angezeigt wurde, war diese Anzahl zu niedrig. Falsch positive Anzahlen (mehr Bauchtücher als in das Antennenfeld eingebracht waren) wurden nicht beobachtet.

Im nächsten Schritt wurden  $n = 1 - 10$  Bauchtücher (in 1er Schritten, je Antenne) auf den zwei Antennen verteilt in 5 Testdurchgängen fehlerfrei erkannt.

Weitergehend wurde die Anzahl der Bauchtücher auf bis zu 20 Tücher im System – maximal je 10 Bauchtücher auf der Instrumentiertisch Antenne und auf der Abwurf Antenne – erhöht. Die Anzahl wurde in 1er Schritten gesteigert und abwechselnd auf Instrumentiertisch und im Abwurf positioniert. Bis zu einer Anzahl von 5 Bauchtüchern lag die Erkennungsrate bei 100%. Bei  $> 5$  Bauchtücher wurden 84 % primär korrekt und 4% nach Umlagern erkannt. Bei 12 % der Testläufe wurde eine zur geringe Anzahl Bauchtücher angezeigt (1 Bauchtuch zu wenig).

Im letzten Testlauf dieses Versuches wurden 30 Bauchtücher auf der Instrumentiertisch-Antenne und einzeln (in 1er Schritten) in den Abwurf gelegt. Hierbei waren 15 Tücher als Schwellenwert zu erkennen. Bis zu einer Anzahl von 7 Bauchtüchern lag die Erkennung bei 100%.

Bei einer Tuchzahl von 8 – 15 lag die korrekte Erkennungsrate bei 92,9 %, in 1,1 % zeigte sich eine falsche (zu niedrige Anzahl) und in 6,0 % erst nach Umlagern eine korrekte Anzahl.

Bei 16 und mehr Bauchtüchern lag die Erkennungsgenauigkeit nur noch bei 10,4 %, 9,5 % der Tücher wurden erst nach Umlagern korrekt erkannt, in 30,6 % der Fälle wurde eine falsche ( zu niedrige ) Anzahl angezeigt, in 49,5% wurden die Tücher nicht erkannt (Anzeige: 0 Bauchtücher im System).

Tab. 2: Darstellung der Erkennungswahrscheinlichkeit auf der Anrichten- und der Abwurfantenne

Bauchtücheranzahl	1 bis 7	8 bis 15	16 bis 30
Detektion/Identifikation korrekt	100%	92,90%	10,40%
falsche Anzahl angezeigt	-	1,10%	30,60%
korrekte Anzahl nach Umlagern	-	6,00%	9,50%
kein Bauchtuch angezeigt	-	-	49,50%

## 4.2 Testläufe mit einem Einzelobjekt

Richtungsweisend ist die Erkennungsgenauigkeit des RFID-Systems in Bezug auf ein einzelnes Tuch. Zur Überprüfung dieser Fragestellung wurden in je 105 Durchgängen auf der Instrumentiertisch-Antenne und der Patientenantenne die Detektionsrate für n = 1 Tuch getestet. Das einzelne Tuch wurde hierbei in allen Durchgängen umgehend von der jeweiligen Antenne erkannt.

## 4.3 Detektion durch die OP-Tischantenne

Die Bauchtücher wurden bis zu einer maximalen Anzahl von 20 Stück

- auf der Antenne
- auf die Oberfläche des OP-Phantoms
- im Abdomen des OP-Phantoms verteilt.

Die Detektionsgenauigkeit wurde bei unterschiedlichen Sendeleistungen der Antenne bestimmt.

Ein wesentlicher Faktor für die Erkennung (sofort oder nach umlagern) der Bauchtücher ist neben der Tuchanzahl auch die Position der RFID-Tags auf bzw. zu der Antennenoberfläche. Resultierend aus 1500 Einzelmessungen ergaben sich positionsabhängig klare Grenzwerte.

a) Die Erkennungsgenauigkeit auf der OP-Tischantenne (OP-Phantom) wurde mit  $n = 1 - 20$  Bauchtücher (in 1er Schritten steigend) in 500 Durchgängen bei 2 – 10 Watt Antennenleistung getestet. Dabei wurde in 99,6 % der Testdurchgänge die korrekte Anzahl erfasst. In 0,2 % wurde bei 19 Bauchtüchern (Leistung 8 Watt) eine falsche Anzahl beobachtet. Weitere 0,2 % zeigten eine falsche Anzahl bei 20 Bauchtüchern (Leistung 10 Watt).

b) Die Erkennungsgenauigkeit auf der OP-Phantomoberfläche lag bei  $n = 1 - 7$  Tüchern bei 100 %. Bei der Detektion von 8 und mehr Bauchtüchern erhöhte sich die Anzahl der Ungenauigkeiten sendeleistungsabhängig. Von 300 Testdurchläufen wurde bei 170 Messungen (56,6 %) ein korrektes Ergebnis dokumentiert. Auch die Sendeleistung der Antenne ist für die Detektionsrate von Relevanz. Bei einer Leistung von 4 bis 10 Watt der Antenne liegt die Erkennungsgenauigkeit bei einer Anzahl von bis zu 12 Tüchern bei 98,0 % (bei 240 Tests war 5 mal keine Erkennung möglich (bei 9,10,11,11 und 12 Tüchern). Bei 2 Watt wurde eine 100 % Erkennungsgenauigkeit bei einer Anzahl von bis zu 7 Bauchtücher gemessen. Im Vergleich dazu zeigte sich bei 6 Watt Sendeleistung eine 100 % Detektionsrate bei bis zu 11 Bauchtüchern.

c) Der Schwellenwert bei Bauchtüchern, die im Abdomen des OP-Phantom verteilt wurden, liegt bei 7 Tüchern. Hierbei wurde in 171 der 175 Messungen (97,7%) die korrekte Anzahl der Bauchtücher erfasst, bei 4 Messungen war keine Erkennung möglich. Bei  $>8$  Bauchtüchern sinkt die Erkennungsgenauigkeit abhängig von der Sendeleistung. Während bei 10 Watt die größte Erkennungsrate (90% bei bis zu 16 Bauchtüchern) gemessen wurde, lag diese bei 2 Watt nur bei 75,6 %. Das Material der Organe des OP-Phantoms hat keine Auswirkungen auf die Detektionsgenauigkeit. Im Gegensatz hierzu bedingt eine größere Entfernung der

Tücher zur Antennenoberfläche sowie die durch das Organpaket des Phantoms bedingte veränderte Rotationsausrichtung der RFID-Chips eine Verminderung der Erkennungsgenauigkeit.

Für die Instrumentiertisch-Antenne wurden im Leistungsbereich 2 - 10 Watt identische Ergebnisse bei der Detektion erzielt. Dahingegen war die Detektionsgenauigkeit der OP-Tisch Antenne in Abhängigkeit der Transponder Verteilung a) auf OP Phantom – b) im OP Phantomsitus verteilt vermindert (Tab. 3).

Tab. 3: tabellarische Auswertung der Testläufe mit der Patientenantenne, Anzahl der erkannten (sofort und nach Umlagern) Tücher aus je 5 Messvorgängen (Daten-Dimension „ Messvorgang 1-5“ durch „zählen-wenn“ verdichtet)

Tücher	Ort Leistung														
	direkt auf der Antenne platziert					auf dem Situs platziert					zwischen Viszeralorganen platziert				
	2 W	4 W	6 W	8 W	10 W	2 W	4 W	6 W	8 W	10 W	2 W	4 W	6 W	8 W	10 W
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
8	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	3	5	3	4
9	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	3	4	3	4	5
10	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	4
11	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	3	2	4
12	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	3	2	2	3	4
13	5	5	5	5	5	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4
14	5	5	5	5	5	3	3	5	4	3	2	2	3	3	4
15	5	5	5	5	5	2	5	4	4	3	2	2	3	2	3
16	5	5	5	5	5	2	4	3	3	3	1	1	3	2	4
17	5	5	5	5	5	1	4	4	3	3	0	1	2	3	2
18	5	5	5	5	5	1	4	4	4	5	0	0	2	3	3
19	5	5	5	4	5	1	4	3	4	2	0	0	2	2	1
20	5	4	5	5	5	2	2	4	3	3	0	0	1	1	2

Der Schwellenwert der Detektion liegt bei einer Anzahl von 7 Tüchern. In 473 Messdurchgängen (90,1%) wurde das Ergebnis sofort und korrekt angezeigt. In 48 Messungen (9,15%) war ein Umlagern der Tücher zur Erkennung notwendig. Lediglich bei 4 von 525 Messungen (0,7%) wurden diese nicht korrekt angezeigt. Ab einer Anzahl von 8 Tüchern wurden bei 523 von 975 (56,5%) Messungen alle

Tücher ohne Probleme erkannt. Bei 215 von 975 (23,2%) Durchgängen war ein Umlagern erforderlich und bei 237 Tests wurde nicht die korrekte Anzahl angezeigt (siehe Tab. 3).

Die Verarbeitungsunterschiede und Resultate für Messungen mit mehr oder weniger als 7 Tüchern werden in der nächsten Grafik verdeutlicht (Abb. 11.1).

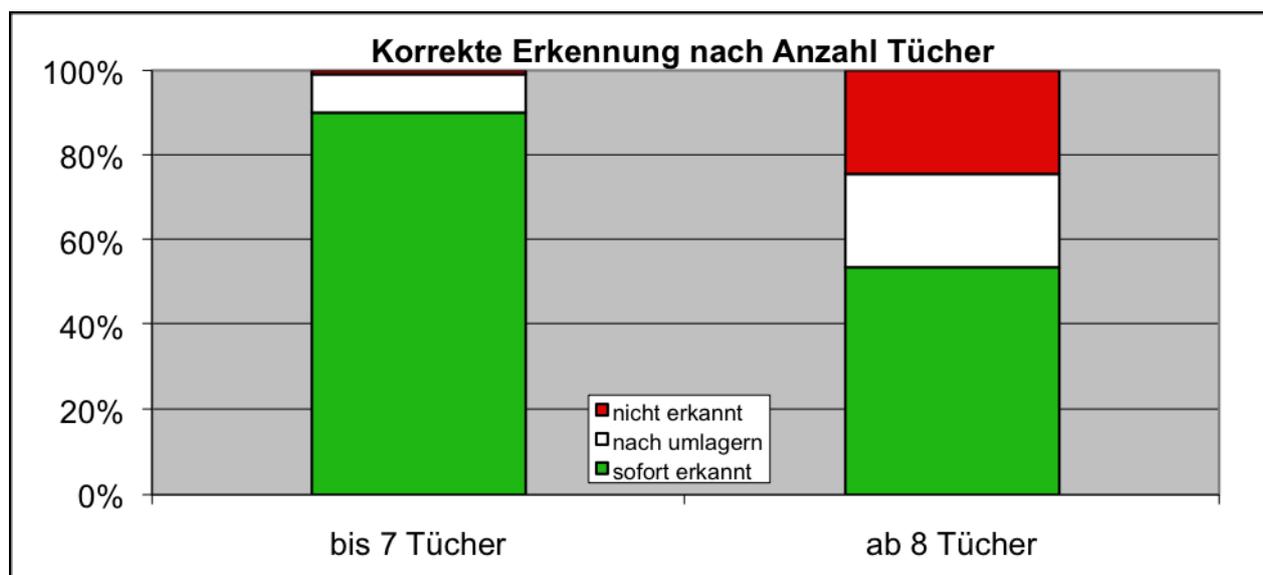


Abb. 18: Abbildung der Tücherdetektion der Antenne, unterteilt in bis 7 und mehr als 7 Tücher, Darstellung enthält Messungen bei allen Antennenleistungen (2,4,6,8,10 Watt)

Zusammenfassend zeigte sich bei 0 bis 2 Tüchern eine Detektionsgenauigkeit von 100%. 3-7 Tücher wurden zu 99% korrekt detektiert. Ab >8 Tücher verringerte sich die Detektionsgenauigkeit auf 56,5%.

Die Änderung der Sendeleistung (2 – 10 Watt) der Patientenantenne zeigte keinen Einfluss auf die Erkennungsgenauigkeit.

Eine Übersicht über die Ergebnisse in diesem Versuchsaufbau zeigt die Abbildung 18.

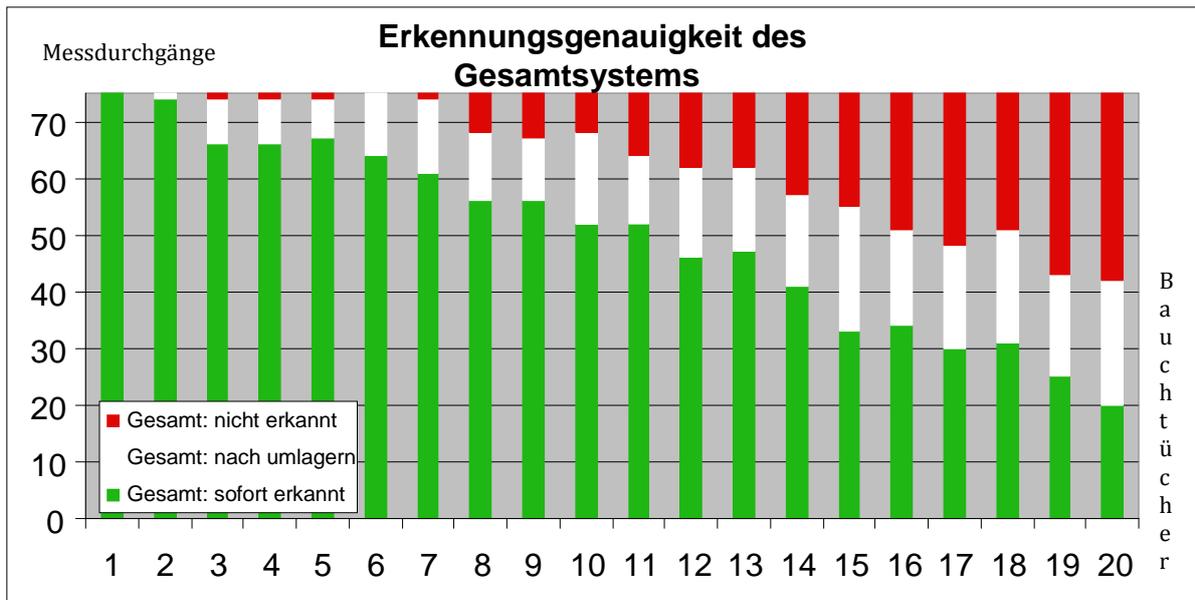


Abb. 19: Kombinierte Auswertung aller Durchgänge auf Antenne, auf der Phantomoberfläche und im Phantomsitus verteilt; Ordinate: Anzahl der Messungen; Abszisse: Anzahl der Bauchtücher

#### 4.4 Antennenfeldeingrenzung

Zur räumlichen Einschätzung des Detektionsfeldes welches die OP-Tisch Antenne („Wolke“) umgibt, wurden Versuche mit unterschiedlichen Transpondern und Reichweiten durchgeführt. Hierbei wurden 4 verschiedene Transponder getestet. Gemessen wurde an 15 Positionen der Antenne, wobei 6 Positionen das Feld abdecken, in dem der Patient gelagert werden soll.

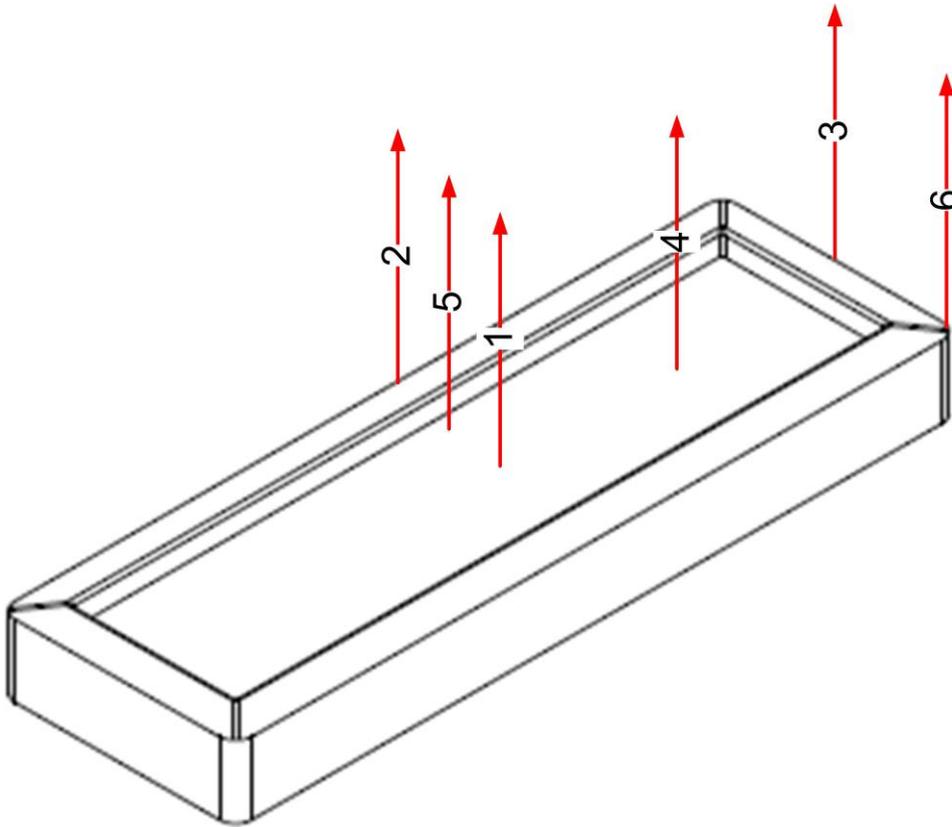


Abb. 20: Darstellung der 6 Messpositionen die den Bereich des Patientenkörpers abdecken; Messpunkt 1: zentral im Mittelpunkt der Antenne; Messpunkt 2: Mitte der langen Antennenseite; Messpunkt 3: Mitte der kurzen Antennenseite; Messpunkt 4: in der Mittellinie der kurzen Seite ( $\frac{1}{4}$  der langen Seite); Messpunkt 5: Mittellinie der langen Seite ( $\frac{1}{4}$  der kurzen Seite); Messpunkt 6: Ecke zwischen kurzer und langer Antennenseite

Die restlichen 9 Messpositionen vervollständigen die Reichweitenabdeckung. Auch unterschiedliche Leistungen der Antenne (Watt) und unterschiedliche Ausrichtungen der Transponder im Raum waren in der Versuchsdurchführung enthalten.

#### 4.4.1 Abhängigkeit von der Antennenleistung

Die Antennenleistung zeigte keinen Einfluss auf die Größe des Antennenfeldes. Nur bei 3 Messungen bei 8 Watt mit dem „Scheckkarten“-Transponder zeigte sich eine größere Abweichung in der Reichweite ( $MW > 9$  cm).

Bei 93 von 96 Messwertgruppen ist eine Standardabweichung von weniger als 10 cm im Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Transponder bei unterschiedlicher Antennenleistung aufgetreten. Bei 3 Messwertgruppen lag die Standardabweichung bei 13 cm (Ausrichtung des Transponders: vertikal, lange Seite parallel zur kurzen Seite der OP-Tisch Antenne). Die Reichweiten sind von der Transponder-Form und Größe sowie der räumlichen Ausrichtung abhängig. Bei einer Leistung von 4 Watt traten die geringsten Abweichungen auf, weshalb diese Antennenleistung für die Messungen im Tierversuch gewählt wurde.

#### 4.4.2 Abhängigkeit von der Ausrichtung des Tags

Die Detektionsrate der 4 verschiedenen Transponder wurden in Abhängigkeit von 4 unterschiedlichen Positionen bestimmt:

- 1.) horizontal
- 2.) 45° zur OP-Tisch Antennenoberfläche
- 3.) vertikal, parallel zur langen Seite der OP-Tisch Antennenoberfläche
- 4.) vertikal, parallel zur kurzen Seite der OP-Tisch Antennenoberfläche

Die unterschiedliche Ausrichtung der Transponder hat deutliche Reichweitenunterschiede bei allen Antennenleistungen gezeigt. Der größte Einfluss zeigte sich bei den vertikalen Messungen, hier wurden in einigen Messdurchgängen die Transponder nicht erkannt (Reichweite: 0 cm; keine Erkennung durch die Patientenantenne). Der schmalste Transponder („Standard flach“) wurde bei 40% der Messungen nicht erkannt, der breiteste („Zylinder“) wurde bei 8,3 % nicht detektiert.

Lediglich an Messposition Nummer 6 (Siehe Abb. 20) ist die Erkennung und Reichweite bei vertikaler Transponder Ausrichtung konstant. Diese Beobachtung ist mit der Überschneidung der Feldlinien an dieser Position zu erklären.

Diese relevanten Unterschiede in Erkennung und potentieller Reichweite betrifft alle Transponder-Typen gleichermaßen.

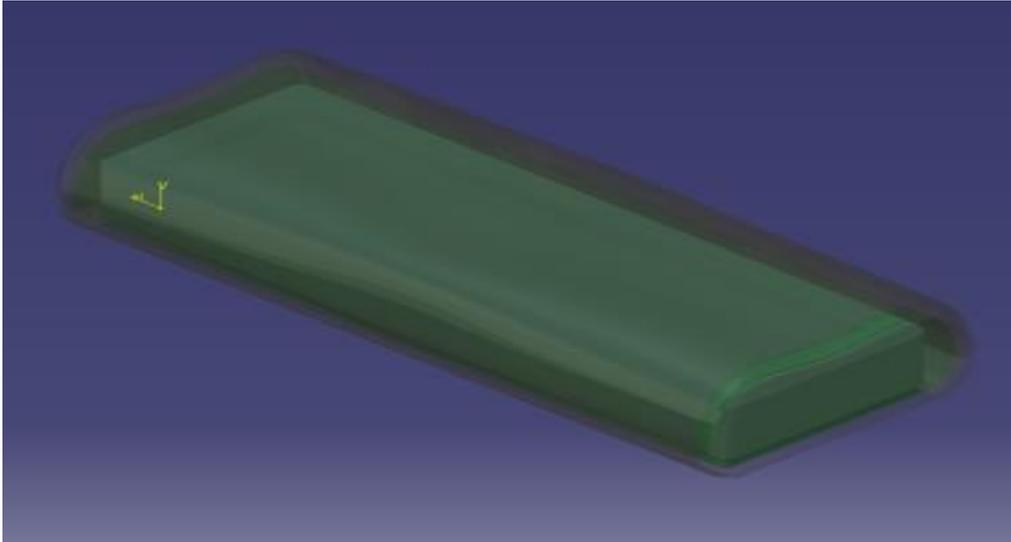


Abb. 21: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei 45° Ausrichtung, Ansicht von der Seite oben, Standardtransponder = innere grüne Wolke, Scheckkarten-transponder = äußere blaue Wolke

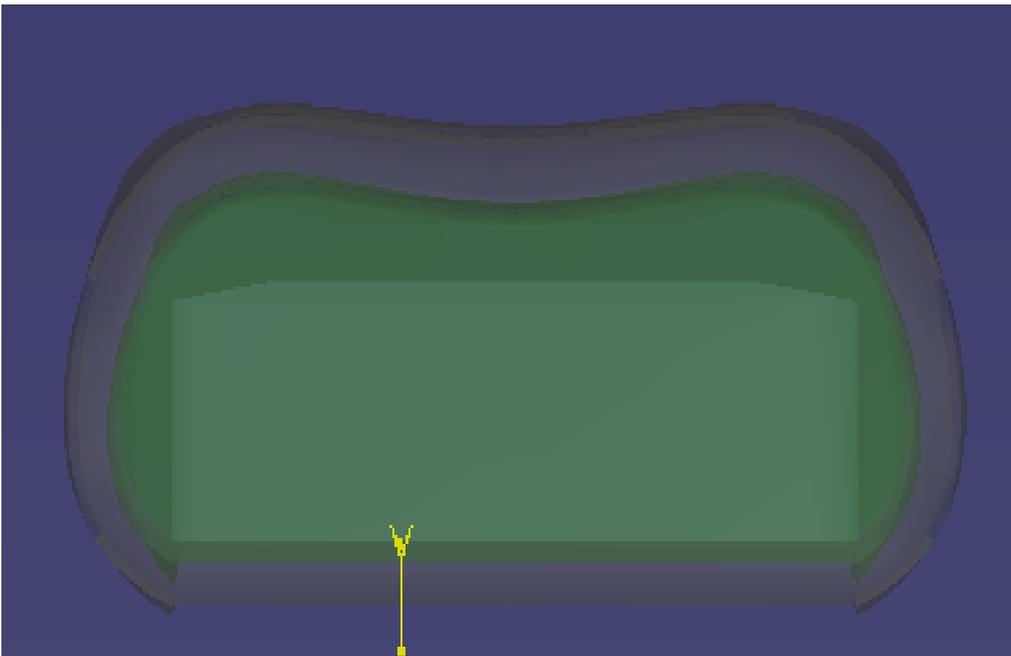


Abb. 22: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei 45° Ausrichtung, Aufsicht von vorne, Standardtransponder = innere grüne Wolke, Scheckkarten-transponder = äußere blaue Wolke, die Reichweite des Scheckkartentransponders im Vergleich zur Reichweite des Standardtransponders ist bei 45° Ausrichtung des Transponders in etwa doppelt so groß.

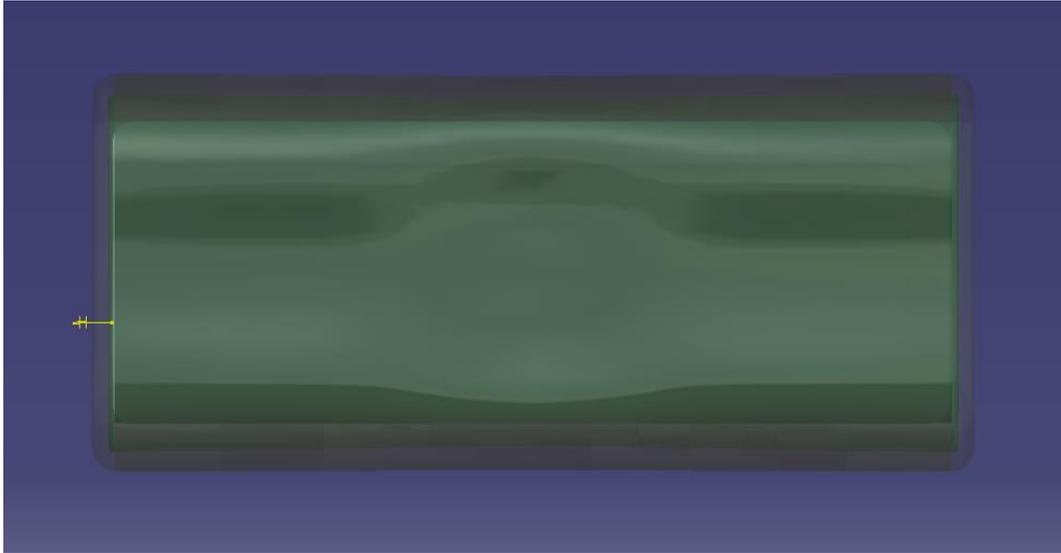


Abb. 23: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei 45° Ausrichtung, Ansicht von oben, innere grüne Wolke ist der Standardtag, äußere blaue Wolke ist der Scheckkartentransponder

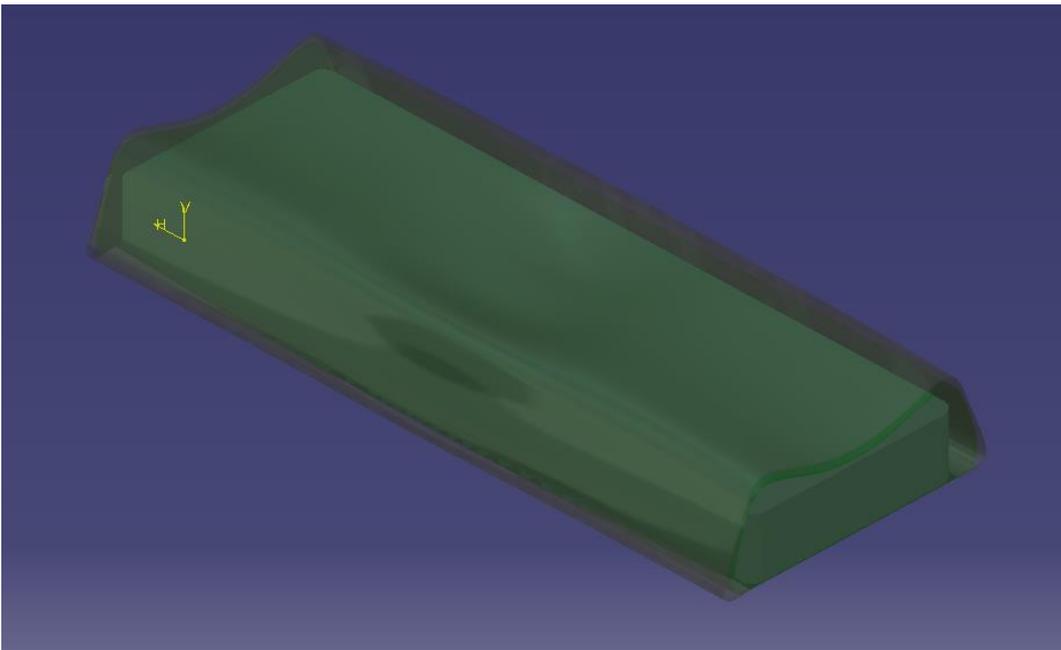


Abb. 24: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei vertikaler Ausrichtung, Ansicht von der Seite oben, innere grüne Wolke ist der Standardtransponder, äußere blaue Wolke ist der Scheckkartentransponder; im Vergleich zur 45 ° Ausrichtung ist die Reichweite deutlich kleiner, sowie v.a. im Mittelbereich der Antenne noch geringer als an den Rändern

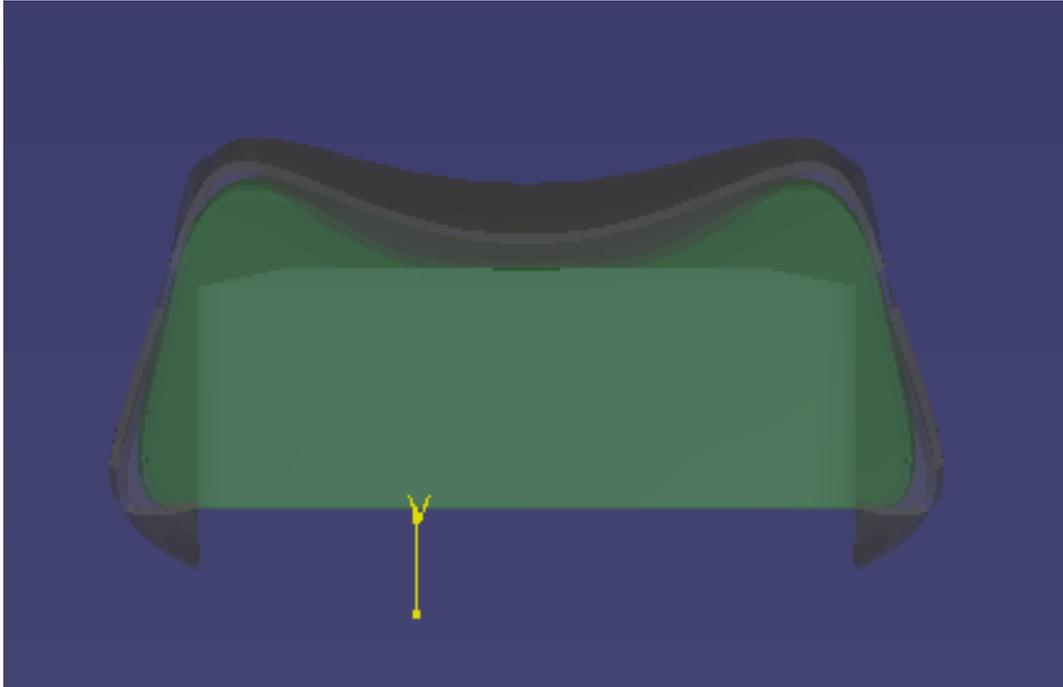


Abb. 25: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei vertikaler Ausrichtung, Ansicht von vorne, innere grüne Wolke ist der Standardtransponder, äußere blaue Wolke ist der Scheckkartentransponder, im Vergleich zu Abb. 12b wird die deutlich verringerte Detektionsreichweite sichtbar, v.a. im Mittelbereich der Antenne

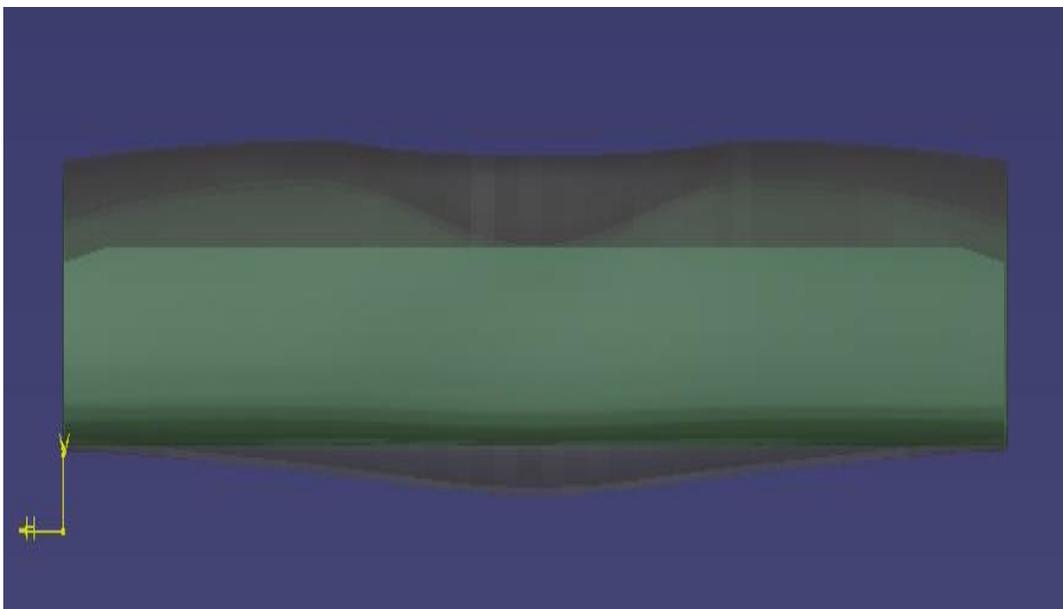


Abb. 26: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder bei vertikaler Ausrichtung, Ansicht von der Seite, innere grüne Wolke ist der Standardtag, äußere blaue Wolke ist der Scheckkartentransponder. Im Vergleich mit Abb. 12a wird wieder die deutlich reduzierte und stark schwankende Detektionsreichweite sichtbar

### 4.4.3 Abhängigkeit von der Position im Antennenfeld

Es wurden 15 Messpunkte zur Bestimmung der Antennenreichweite festgesetzt, davon decken 6 den Bereich über der Antenne ab (siehe Abb. 11). Während die Position bei den Ausrichtungen „45°“ und „horizontal“ keinen Einfluss auf die Messwerte hat, ergeben sich bei den vertikalen Positionen teilweise erhebliche Abweichungen. Die Standardabweichung der Messpunkte bei horizontaler und 45° Ausrichtung ist immer <10 cm (MW: 4 – 9 cm, SD: 6,3 cm), während die Standardabweichung bei den rein vertikalen Messwerten immer >10 cm war (MW: 10 – 23 cm, SD: 14,1 cm). Die größten Detektionsschwierigkeiten bestanden, wenn ein Transponder parallel zur Längsseite der Antenne gehalten wurde.

### 4.4.4 Abhängigkeit von der Form des Transponders

Getestet wurden verschiedene Transponderformen, die sich sowohl in ihrer Form als auch in der resultierenden Reichweite zur Antenne unterscheiden. Hierbei wurden teilweise doppelte Reichweiten auf vergleichbaren Messpositionen erreicht. Die größte Reichweite zeigte hier die Checkkarte (Größe von 8,5 cm x 5,5 cm): bei den 6 Messpositionen (die den Bereich des Patientenkörpers abdecken) wurden Detektionsabstände bei horizontaler Ausrichtung mit einem Mittelwert von 67,5 cm (60 cm bis 70 cm) gemessen. Der Standardtag zeigte bei gleicher Ausrichtung und Messposition einen mittleren Detektionsradius von 29,5 cm (20 cm bis 35 cm).

Generell zeigte sich, dass die vertikalen Ausrichtungen unabhängig vom Chip-Typ schwer zu erkennen sind (bei 29,1 % aller vertikalen Messpunkte ist „0“ cm Reichweite gemessen worden). Kein Chip-Typ ist in sämtlichen Positionen oder Ausrichtungen gut zu erkennen. Sogar die Checkkarte (weiteste Reichweite) hat von 15 Messpunkten 3 mal „0“ cm und 3 mal nur eine geringe Reichweite gezeigt.

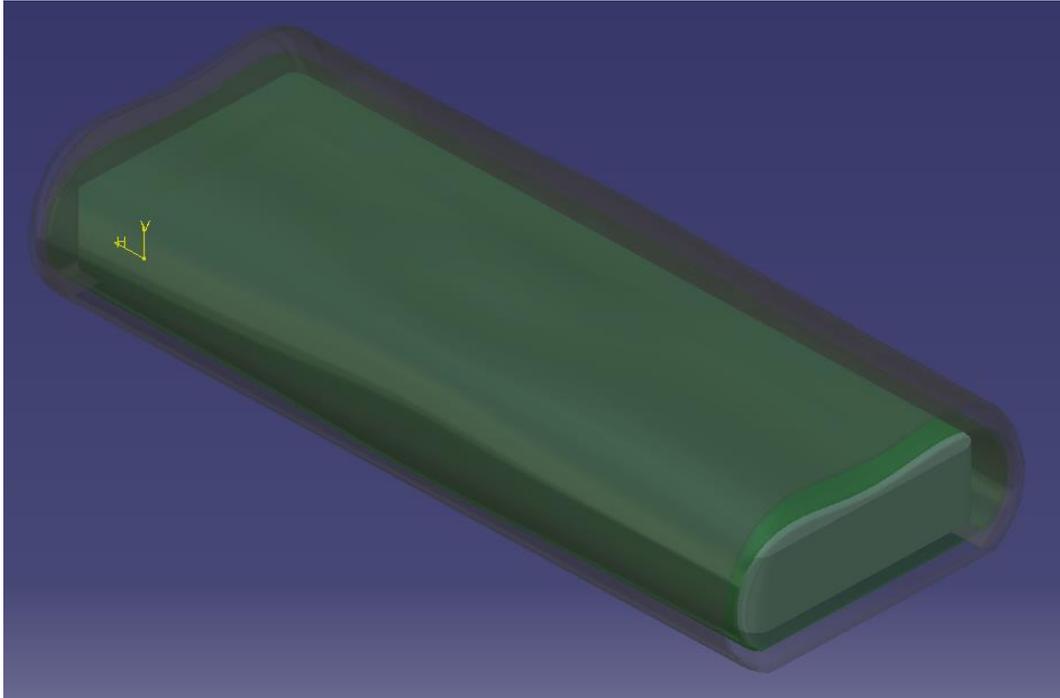


Abb. 27: Vergleich der Reichweite maximalen Reichweite, unabhängig von der Ausrichtung, Ansicht von der Seite oben, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtransponders dar, die äußere Wolke die des Scheckkartentransponders

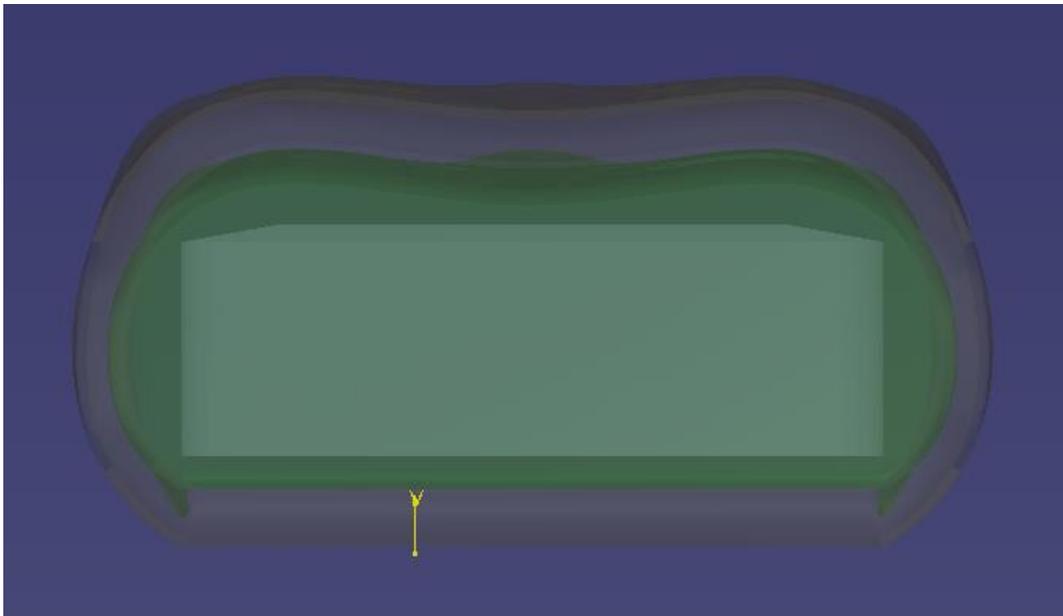


Abb. 28: Vergleich der Reichweite maximalen Reichweite, Ansicht von vorne, unabhängig von der Ausrichtung, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtransponders dar, die äußere Wolke die des Scheckkartentransponders, die Reichweite des Scheckkartentransponders ist in allen Richtungen deutlich größer als die Reichweite des Standardtransponders

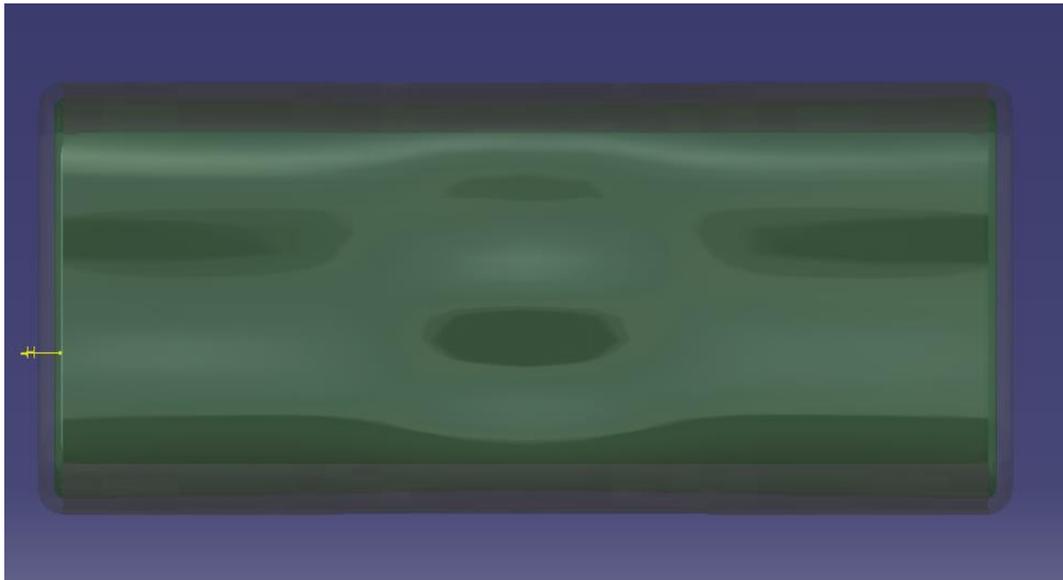


Abb. 29: Vergleich der Reichweite maximalen Reichweite, unabhängig von der Ausrichtung, Ansicht von oben, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtransponders dar, die äußere Wolke die Reichweite des Scheckkartentransponders

## 4.5 Temperaturmessungen

Die Oberflächentemperaturen wurden bei folgenden Geräten und Positionen in Abhängigkeit von der Betriebsdauer gemessen:

- an der Patientenantennenoberfläche (nahe am Patienten, Antenne I)
- an der Patientenantennenoberfläche (entfernt vom Patienten, Antenne II)
- am Mixer ( Multiplexer)
- am Netzteil (Mixer-Dose-Verbindung) zwischen Mixer und Steckdosenanschluss

Dabei wurden 4 unterschiedliche Messpunkte über einen Zeitraum von 4 Stunden verfolgt. Das Ergebnis ist eine stabile Temperaturverlaufskurve bei 120 bzw. 240 min. Sämtliche gemessenen Temperaturen sind im unkritischen Bereich. Bei einer durchschnittlichen Oberflächenausgangstemperatur von 24° Celsius wurde nach 240 min. bei 4 Watt Antennenleistung maximal 30° C Patienten fern und 26° C Patienten nah gemessen. Die größte Erwärmung der Antenne nach 240 min bei 10 Watt lag bei

36° C und somit immer noch unter der Körpertemperatur des Menschen.

Allein der Geräteteil „Mixer-Dose“ hatte eine höhere Oberflächentemperatur von 48° C nach 240 min in Betrieb (die Temperaturen waren im Durchschnitt 18,1° C höher als die Messungen auf der Antennenoberfläche). Die Position dieses Gerätes (OP-Boden) bringt jedoch bei Gerätetemperaturen bis 48°C keine Auswirkungen mit sich.

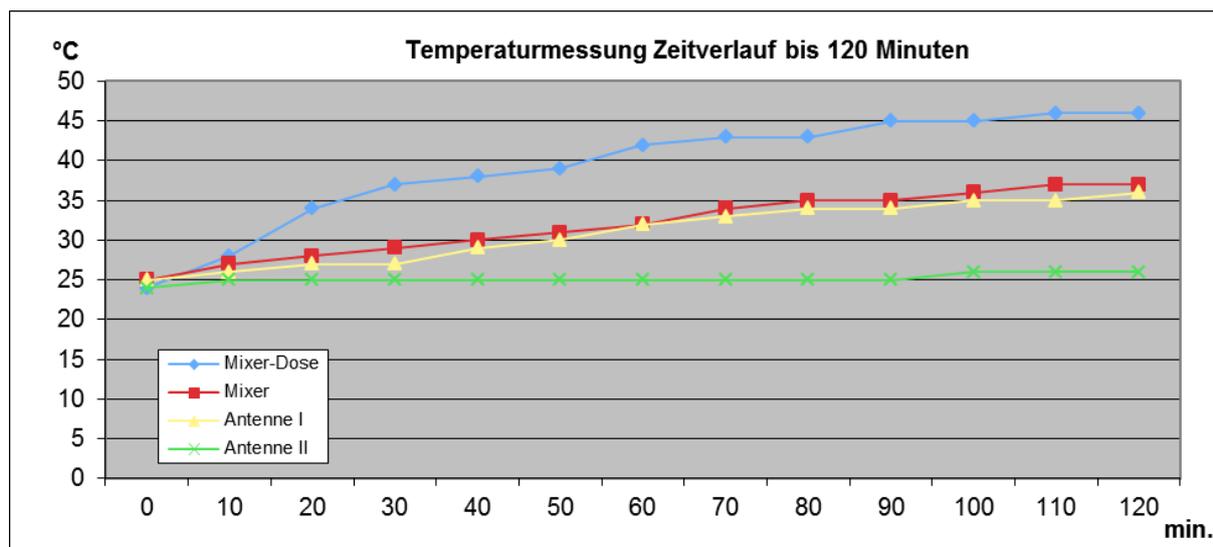


Abb. 30: Temperaturmessungen über 120 min bei 10 Watt Leistung an 4 verschiedenen Positionen

## 4.6 Ergebnisse aus dem Tierversuch (TV)

Die Testung der Ringantenne im TV mit Standardtransponder zeigte folgende Ergebnisse. Bis zu 5 Bauchtücher wurden im Situs des laparotomierten Schweines korrekt detektiert. Bei den Testläufen mit 6 Bauchtüchern wurden 92% korrekt erkannt, die beiden Fehlanzeigen traten bei den beiden schwersten Schweinen (43 Kg bzw. 40 Kg) auf. Ein Zusammenhang zwischen Detektionsrate und Gewicht der Schweine konnte nicht gezeigt werden, da der schlechteste Messwert (1 korrekte Erkennung aus 5 Durchgängen bei der Positionierung von 10 Tüchern) bei dem Schwein mit dem 2. geringsten Gewicht (38 Kg) gemessen wurde.

Tab. 4: Ergebnisse der Tierversuche mit der Patientenantenne

Versuch Anzahl Tücher	Datum	Gewicht	Summe korrekter Durchgänge	korrekt erkannte Anzahl Tücher aus je 5 Durchgängen									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TV1	26. Jan	43 kg	42	5	5	5	5	5	4	3	4	3	3
TV2	02. Feb	37 kg	42	5	5	5	5	5	5	4	3	2	3
TV3	09. Feb	39 kg	42	5	5	5	5	5	5	3	4	3	2
TV4	16. Feb	38 kg	42	5	5	5	5	5	5	4	3	4	1
TV5	23. Feb	40 kg	40	5	5	5	5	5	4	3	3	3	2
Summe				25	25	25	25	25	23	17	17	15	11

## 4.7 Ergebnisse aus dem Tracking des OP-Personals

### 4.7.1 Lokalisationserkennung

Zunächst wurde die Erkennung und korrekte Lokalisationsdarstellung von 1 bis 6 aktiven Transpondern (Sender) von der Sektorantenne am OP-Tisch gemessen. Die Erfassung der Transponder („Erkennen“) verläuft schnell, mit geringen zeitlichen Bandbreiten und auch bei größeren Stückzahlen ohne relevante Verzögerungen. Ein einzelner Sender wurde mit einem Mittelwert von 10,6 Sekunden (Standardabweichung 3,8 Sek) erkannt; alle 6 Sender wurden mit einem Mittelwert von 26,4 Sekunden (SD 5,9 Sek) detektiert. Die maximale Erkennungszeit betrug 30 Sekunden.

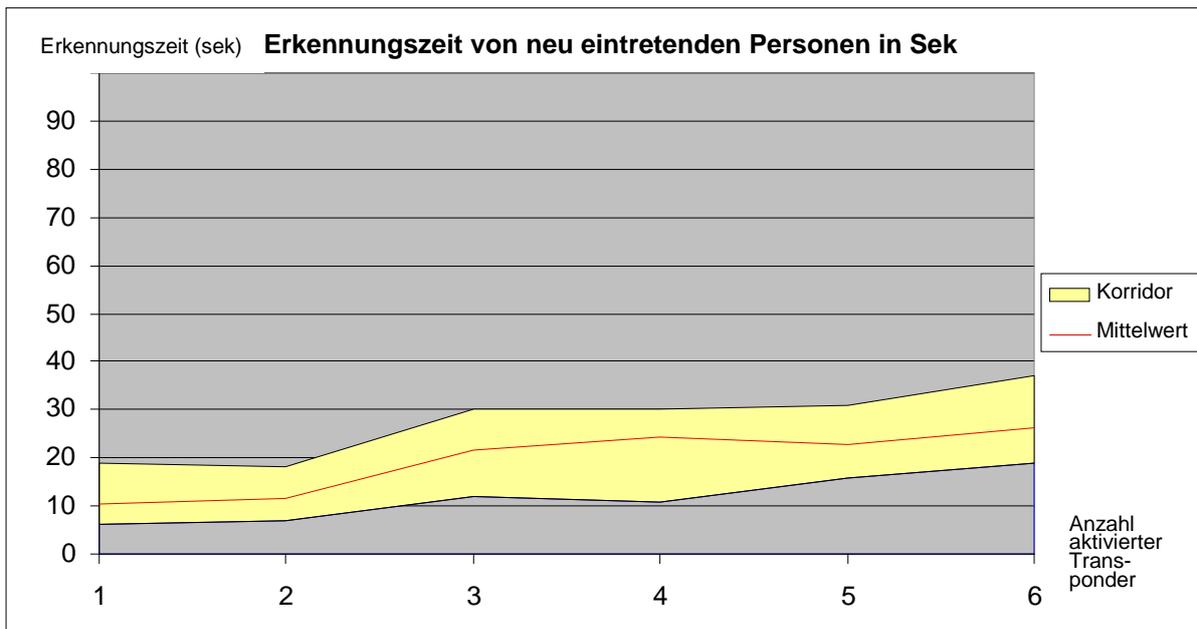


Abb. 31: Darstellung der Erkennungszeiten (in Sekunden) mit Mittelwert (Abszissenachse: Anzahl Transponder, Ordinatenachse: Zeit der Erkennung in Sekunden)

#### 4.7.2 Seitenwechsel-Erkennung

Hierbei wurden Durchgänge protokolliert, bei denen 1 bis 6 Sender in 1er Schritten die Seiten wechseln (rechts nach links; links nach rechts). Dabei erfolgte die Erkennung der Wechsel aller Sender mit erheblicher Verzögerung im Vergleich zur ersten Lokalisation der Transponder. Die Werte hatten sich in etwa verdoppelt. 83% der gemessenen Werte lagen in einem Bereich zwischen 30 und 60 Sekunden Erkennungszeit; 6% lagen unter 30 Sekunden; 11% benötigten mehr als 60 Sekunden. Bei dem Seitenwechsel von 1 Sender lag die mittlere Lokalisationsdauer bei 36,8 Sekunden (SD 1,0 Sek). Bei einem Seitenwechsel von 6 Sendern lag der hierzu benötigte Mittelwert bei 49,2 Sekunden (Dauer min: 32 Sek; Dauer max.: 90 Sek). Bei steigender Anzahl der wechselnden Sender zeigte sich eine verlängerte Detektionsdauer, wobei der Mittelwert fast konstant bleibt.

Von den 560 Messwerten (hierbei haben  $n = 1 - 5$  Sender die Seite gewechselt,

während  $n = 1 - 5$  fest positioniert waren; insgesamt  $n = 6$ ) sind 49 kleiner als 30 Sekunden (9% aller Messungen) während 48 Messungen (9% aller Messungen) länger als 60 Sekunden dauerten. Die Messungen wurden getrennt für Wechsel von der rechten auf die linke OP-Tischseite und umgekehrt gemessen. Durch diese Unterteilung der Seitenwechselrichtung wurde jedoch keine relevante Änderung festgestellt.

Eine Verteilung der Messwerte zeigt Abbildung 32 und 33.

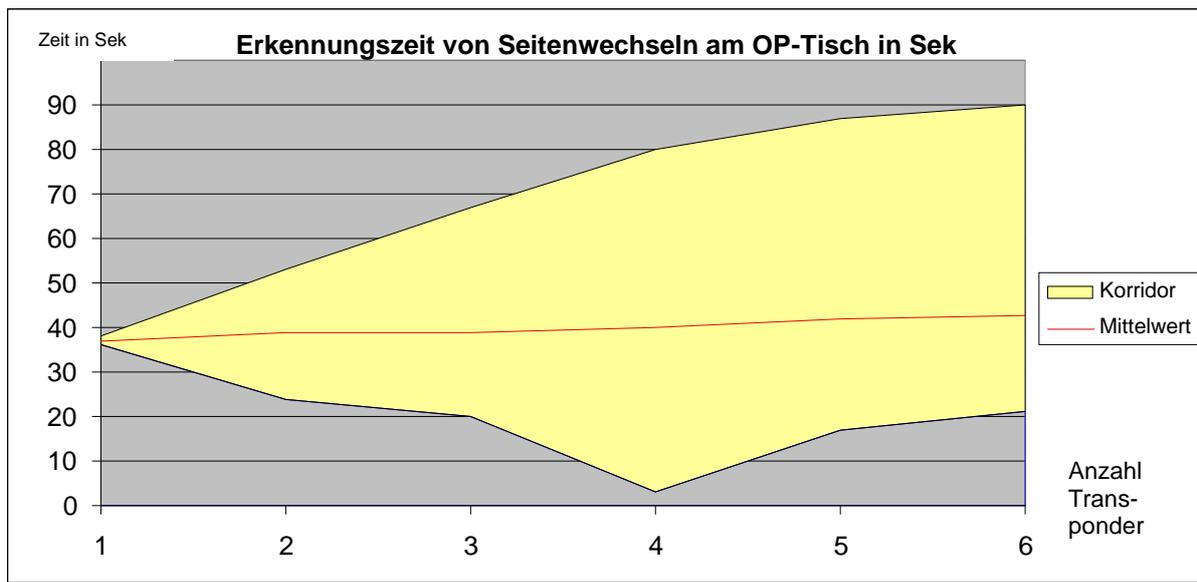


Abb. 32: Zeit ( in Sekunden) bis zur Erkennung des Seitenwechsels (Abszissenachse: Anzahl Transponder, Ordinatenachse: Zeit in Sekunden)

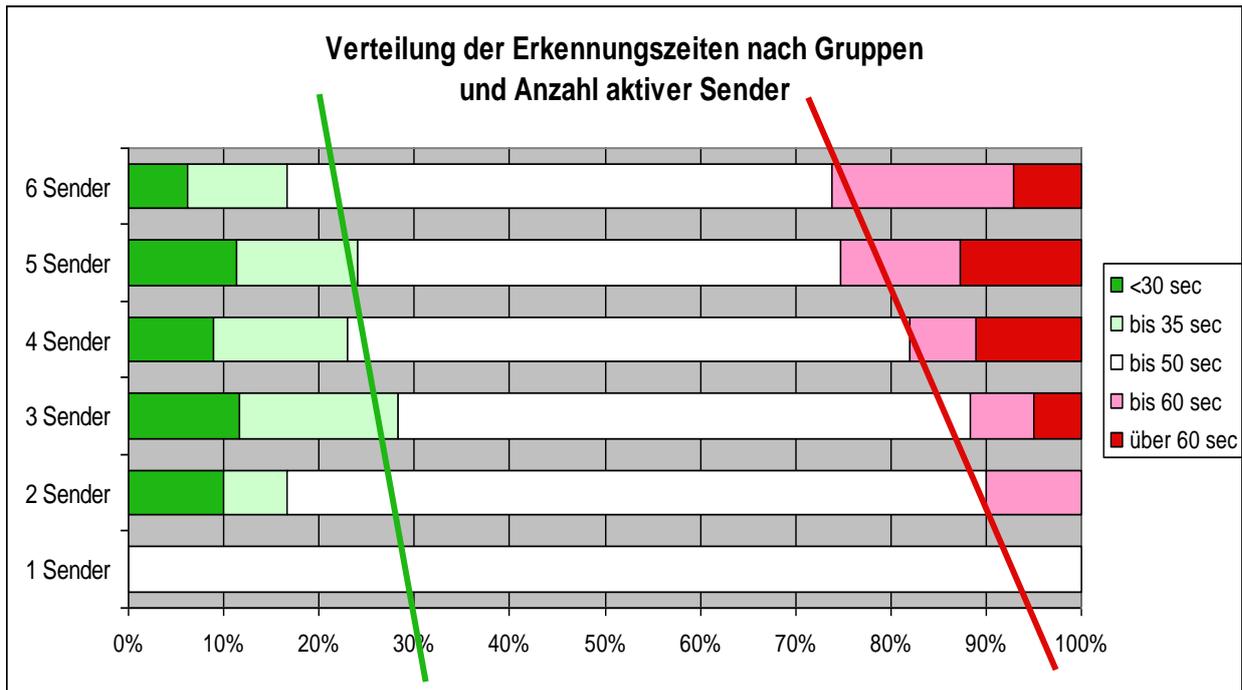


Abb. 33: prozentuale Verteilung der Erkennungszeiten abhängig von der Anzahl der Transponder (Sender)

## 5. Diskussion

### 5.1 Entwicklungsmöglichkeiten in der Chirurgie

In der Chirurgie konnte in den letzten Jahrzehnten ein früher kaum vorstellbarer technischer Fortschritt erzielt werden, um die chirurgische Versorgung noch wirkungsvoller (z.B. hinsichtlich der Prognoseverbesserung), schonender für den Patienten und teilweise auch kosteneffizienter zu machen.

Diese Ziele scheinen auf den ersten Blick praktisch nicht gleichzeitig erreichbar zu sein. Die individuelle Leistungsfähigkeit des Chirurgen ist begrenzt. Seine manuelle Geschicklichkeit und kognitiven Fähigkeiten können nicht beliebig gesteigert werden. Trotz optimalen Trainings können Fehlleistungen im Einzelfall nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Aus diesen Gründen scheint schon die Verbesserung der chirurgischen Effizienz (Heilerfolg, Traumareduktion, Sicherheit) schwierig.

Hilfestellung hierzu bietet der Einsatz innovativer technischer

Unterstützungsprogramme.

Indem man im OP die Prozesse durch technische Unterstützung verbessert, wird die Sicherheit steigen und die Qualität zunehmen.<sup>38</sup>

Der Einsatz der RFID-Technologie gilt als geeignet, das Sicherheitsniveau zu erhöhen (und somit die Qualität der chirurgischen Versorgung zu steigern) und die organisatorischen Abläufe zu vereinfachen (und somit zur Kosteneffizienz beizutragen). In dieser Arbeit sollte daher systematisch untersucht werden, ob und unter welchen Bedingungen RFID-Systeme im OP konkret einsetzbar sind.

## 5.2 Dokumentation des OP-Materials durch Personal

Die zurzeit gängige Methode, den Überblick der OP-Saal eingesetzten Instrumente und textile Materialien zu behalten, ist die manuelle Zählung. Diese Methode bedarf keiner besonderen technischen Voraussetzung. Sie stellt jedoch eine nicht zu unterschätzende mentale Belastung des zuständigen Personals dar, da dieses immer den Überblick haben muss, wie viele und welche Instrumente und textile Materialien zu jedem Zeitpunkt eingesetzt werden.

Studien über im Patienten zurückgelassene textile Materialien (Gossypibomas) konnten zeigen, dass die meisten dieser Fälle auftreten, obwohl das Personal von einer korrekten Zählung ausgeht<sup>14,16</sup>. Die aktuelle Häufigkeit für Gossypibomas liegt bei 1:5500 Operationen. Die Dunkelziffer dürfte aber noch deutlich höher liegen, da die durchschnittliche Zeit bis zur Entdeckung knapp 10 Jahre beträgt und bis zu 6% der betroffenen Patienten asymptomatisch bleiben<sup>1</sup>.

Zählungenauigkeiten - hervorgerufen durch menschliche Fehler - treten bei bis zu jeder achten Operation auf. All diese (wenn auch kurzfristigen) Unklarheiten über den Verbleib von OP-Material repräsentieren einen potentiellen Fall von zurückgelassenen Fremdkörpern<sup>16</sup>.

Der Faktor von ärztlichen Fehlern besteht schon bei Standard-OPs und wird in Notfalloperationen noch verstärkt. Die Wahrscheinlichkeit eines „vergessenen Objektes“ in Not-OPs steigt um das 9-fache <sup>14</sup>. Weiter steigt die Wahrscheinlichkeit bei Notfallpatienten mit mehreren, zeitgleich erfolgenden chirurgischen Prozeduren <sup>34</sup>.

Weiterführend wird durch eventuelle Zählungenauigkeiten der Druck und Stress von der zuständigen „Zähl“-Schwester auf das weitere OP-Personal übertragen, was die Anfälligkeit für weitere Fehler erhöht <sup>1</sup>.

Die alleinige Zähl-Kontrolle der vorgehaltenen (textilen) Materialien kann somit als teilweise ungenau und nicht 100% zuverlässig angesehen werden.

### 5.3 Bisheriger Stand der technischen Unterstützung

Im Vordergrund steht bisher die postoperative Röntgenkontrolle. Hierzu sind in den verwendeten Bauchtüchern röntgenpositive Materialien eingearbeitet. Metallische Instrumente müssen nicht weiter bearbeitet werden. Diese Methode hat eine Detektionswahrscheinlichkeit von mehr als 98% <sup>1</sup>, stellt aber sowohl eine zusätzliche Arbeitsbelastung für das Personal, als auch eine zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten dar.

Daneben existieren Barcode-Systeme zur intraoperativen Zählung von Bauchtüchern, die mit einem Barcodestreifen ausgestattet sind. Dieses Barcode-System wurde z.B. von Greenberg et al im Vergleich zur manuellen Zählung getestet. Hierbei wurden während der OP mehr Zählungenauigkeiten erfasst, als durch alleiniges Zählen einer OP-Schwester (32 statt 13 Diskrepanzen bei insgesamt 300 OPs). Es wurden sowohl Fehler bei der Zählung als auch bei der Lokalisation durch das Barcode-System identifiziert. Dieses System ist jedoch auch mit technischen Schwierigkeiten behaftet (2,04 defekte Tücher aus 1000 getesteten Tüchern), die in dieser Studie jedoch nicht näher bezeichnet wurden. Weiter wurde

durch den Barcodeinsatz die durchschnittliche Zeit zum Erfassen der Tücher verlängert (5,3 Minuten statt 2,4 Minuten). Die Bewertungsbögen des OP-Personals zeigten keinen Unterschied betreffend der Verlässlichkeit, dass alle Tücher erkannt wurden <sup>10</sup>.

Dem in dieser Arbeit dargestellten RFID-Unterstützungssystem am nächsten kommt ein von Maccario et al <sup>11</sup> publiziertes tragbares RFID-Erkennungsgerät. Im Gegensatz zu dem permanenten Antennenaufbau bei unseren Planungen, wurde bei dieser Studie allerdings nur zum Abschluss der OP das tragbare Gerät über den Patienten bewegt und damit die RFID-ausgestatteten Tücher erkannt. In die Studie eingeschlossen waren 8 Patienten, es wurde keine falsch positiven oder falsch negativen Identifizierungen dokumentiert, sondern alle Tücher korrekt erkannt. Bei dieser Studie kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass durch unsachgemäße Handhabung der Geräte, der Verbleib eines Bauchtuches möglich ist <sup>11</sup>.

### 5.3.1 RFID als Lösungsansatz

Es wäre in der heutigen Zeit wünschenswert neben Zählprotokollen zusätzliche Sicherungsprotokolle einzusetzen. Studien haben vermehrt gezeigt, dass alleiniges Verlassen auf menschliche Zählung zur Vermeidung von zurückgelassenen Fremdkörpern nicht ausreichend ist und neue Technologien entwickelt werden müssen um den Verbleib der Assets zu dokumentieren <sup>4</sup>.

Untersuchungen haben gezeigt, dass durch zusätzliche Röntgenkontrollen die Sicherheit erhöht wird. Röntgenkontrollen bringen jedoch gesundheitliche Nachteile für den Patienten, sind arbeitsintensiv für das Personal sowie kostenintensiv.

Mit dem Einsatz von RFID-gestützten Zählsystemen könnte ein ähnlicher Effekt erzielt werden, wobei die negativen Aspekte wie z.B. die Strahlenbelastung und Kosten entfallen <sup>30,31</sup>.

Die in dieser Arbeit entwickelte stationäre Antennenanordnung (Instrumentiertisch, OP-Tisch (Patientenantenne), Abwurf) ist unter Umständen unabhängiger von menschlicher Bedienung (vor allem Fehlbedienung) und somit weniger stör- und fehleranfällig als tragbare Geräte. Durch den dreiteiligen Aufbau ist ein konstantes und simultanes Tracking und Zählen der benutzten Tücher möglich. Weiter ist ein automatisches Gegenzählen der Tücher möglich (zum Beispiel: Ausgangswert minus Tücher auf Anrichte und Abwurf sind die verbleibenden Tücher im Situs).

Die aufgetretenen Limitierungen bei unserem Versuchsaufbau sind durch technische Veränderungen, z.B. der Antennenform, noch weiter optimierbar. Für den festen Einbau der notwendigen technischen Geräte und Kabel muss nach den individuell unterschiedlichen Voraussetzungen der einzelnen OP-Säle eine Lösung gefunden werden <sup>39</sup>. Die aktuelle Studienlage über eine potentielle Interaktion und Beeinträchtigung anderer medizintechnischer Geräte durch RFID-Systeme ist nicht eindeutig. Die Mehrheit der Studien weist jedoch auf den potentiellen Einfluss auf medizinische Geräte hin. Hierbei ist auffällig, dass durch passive Signale mehr Störungen gemessen wurden als durch aktive. Um diesen Aspekt einzugrenzen wären internationale Standards erforderlich <sup>40,41</sup>.

Der Zugewinn an Sicherheitsinformationen und die Entlastung des OP-Personals stehen bei neuen Technologien stets im Vordergrund und rechtfertigen die hierbei zunächst entstehenden Mehrkosten. Um die Akzeptanz von RFID-Technologie im Gesundheitswesen zu steigern, ist allerdings der Einsatz von gut geplanten RFID-Systemen bei niedrigen Kosten entscheidend <sup>42</sup>.

### 5.3.2 Interpretation der Ergebnisse

#### *Antennenaufbau Instrumentiertisch und Abwurf*

Die Ergebnisse des Lokalisationschecks und der Bauchtücherdetektion (bis maximal 15 Bauchtücher) kann als positive Bestätigung des Gesamtsystems (Antenne; Datenbank; Inventarliste; grafische Anzeige) gesehen werden. Die Erkennungs-

genauigkeit bei  $n = 1 - 10$  liegt bei 100 %. Bei einer Anzahl von  $n = 15 - 30$  zeigten die Versuche nicht befriedigende Ergebnisse, die bis zum zuverlässigen Einsatz noch verbessert werden müssen. Dies könnte z.B. durch eine Änderung der Antennenposition, eine bessere Abschirmung des RFID-Feldes von der metallischen Umgebung des Instrumentiertisches oder durch eine Erhöhung der Sendeleistung, die im Vergleich zur Patientenantenne sehr gering ist, erreicht werden. Da die Detektion im Abwurf bis zu einer Anzahl von 15 Bauchtücher zuverlässig erfolgte, wäre eine weitere Option die Kapazität der Abwurfantenne auf 15 Bauchtücher zu limitieren und diese dann von der Zählung zu entfernen.

#### *Antennenaufbau Patientenantenne*

Richtungsweisend für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Systems ist die Detektion der letzten (eventuell verbleibenden) Bauchtücher im Patienten, die beim versehentlichen Zurücklassen eine potentielle Gefahr darstellen. Hier lag die Detektionsrate ( $n = 1 - 2$  Tücher) bei 100%.

Lediglich aufgrund der Form und Größe ist die Patientenantenne noch nicht für den Routine OP-Einsatz geeignet.

In den Messreihen wurde die unterschiedliche Detektionsgenauigkeit der Antenne abhängig von der Transponder Ausrichtung im Raum (horizontal; vertikal;  $45^\circ$ ) deutlich. Dieses Ergebnis lässt sich mit den Feldlinien des magnetischen Feldes erklären, in dem die Antenne zum Transponder steht. Die Erkennung der Transponder ist hierbei umso besser, je mehr Fläche (Spule) den Feldlinien in einem annähernd  $45^\circ$  Winkel entgegensteht. Die größten Detektionsschwankungen wurden bei der streng vertikalen Ausrichtung (lange Seite des Chips parallel zur langen Seite der Patientenantenne) sichtbar, da bei vertikal ausgerichteten Spulen nur eine geringe Fläche von den Feldlinien zur Detektion benutzt werden kann. Dieser physikalische Hintergrund erklärt auch die Messergebnisse wenn eine steigende Anzahl von Bauchtüchern im Phantomabdomen verteilt wurde. Mit steigender Bauchtücheranzahl sank die Erkennungsgenauigkeit bedingt durch die steigende

Wahrscheinlichkeit einer vertikalen Transponderlage. Eine mögliche Verbesserungsoption für zukünftige Versuchsreihen wäre eine schräge (V-förmige) Antennenkonstruktion. Die ausgestrahlten Feldlinien würden dann auch vertikal ausgerichtete Spulen erfassen.

### *Personentracking*

Es wurde eine maximale Anzahl von 6 aktiven Transpondern getestet da die Anzahl der gleichzeitig operierenden Personen diese Anzahl in der Regel nicht überschreitet. Bei dieser Versuchsreihe erhöhte sich mit steigender Anzahl auch die Maximal-Zeit bis zur Erkennung aller beteiligten Sender. Dabei wurde beobachtet, dass die Erkennungszeit für den letzten Transponder ausschlaggebend ist. Mit steigenden Transpondermengen nimmt auch die Streubreite der Erkennungszeiten zu. Generell ist feststellbar, dass die Erkennung der veränderten Position umso länger dauert, je mehr Sender gleichzeitig einen Seitenwechsel vollziehen. Da im Normalfall zumeist nur Operateur und Assistent die Seite wechseln und in der neuen Position wieder für einen längeren Zeitraum verbleiben, spielt die Zeitverlängerung bei der Detektion für den OP-Einsatz eine untergeordnete Rolle.

## 5.4 Tracking und Monitoring des OP-Personals

Intraoperative Dokumentation wird für das Qualitätsmanagement in der Chirurgie immer wichtiger. Zurzeit gehen die Ansätze vieler unterschiedlicher Forschungsgruppen in die gleiche Richtung, nämlich Qualität und Effizienz im Operationssaal zu verbessern<sup>43</sup>. Hierbei liegt ein Augenmerk auf den Optimierungen des OP-Ablaufes (Workflow).

Intraoperative Prozessanalysen werden zumeist mittels zeit- und personalaufwendigen Observationen durchgeführt. Dabei konnten sie Verbesserungsmöglichkeiten identifizieren, die durch die Neuentwicklung technischer

Informationssysteme genutzt werden können <sup>44</sup>.

Tracking-Systeme (z.B. zur Lokalisationsbestimmung von Objekten oder Personen) werden immer relevanter in klinischen Umgebungen, stellen bis jetzt aber noch keinen Standard dar. In dieser Arbeit wurden die Grundzüge eines RFID basierten Systems evaluiert, das helfen soll, den perioperativen Workflow am Beispiel von Bauchtuch- und Personentracking zu erfassen, zu dokumentieren und einzuschätzen. Lokalisationsinformationen werden durch das automatische Erkennen der RFID- Transponder gewonnen und visuell präsentiert. Das System erkennt den Seitenwechsel der Operateure und erlaubt so Rückschlüsse auf evtl. Veränderungen des OP- Ablaufs.

Plötzliche Seitenwechsel durch Mitglieder eines OP-Teams können z.B. eine Risikosituation andeuten. Durch die zusätzliche Ergänzung dieser Information mit weiteren Sensordaten (z.B. Vitalparameter der Anästhesie wie Blutdruck oder Sauerstoffsättigung) könnte es in Zukunft vielleicht möglich sein, solche Situationen automatisch zu erkennen und entsprechende Hilfsmaßnahmen frühzeitig einzuleiten. Die positiven Auswirkungen auf Patientensicherheit durch schnelles Eingreifen (zum Beispiel: Konsultation eines zweiten Oberarztes) sind erkannt und beschrieben <sup>45</sup>.

Mit steigenden Anforderungen an die Effizienz im Krankenhaus, steigt der Bedarf nach einem System zur Analyse und Modifikation von chirurgischen Arbeitsabläufen <sup>46</sup>. Eine vollständige Ausleuchtung, Betrachtung und Evaluation des Workflows ist eine unabdingbare Voraussetzung um ein kontext-sensibles Service System in zukünftigen OP-Sälen zu schaffen <sup>28</sup>. Mit der Entwicklung eines elektronischen Systems, das diese Informationen erfolgreich auswerten kann, wäre ein weiterer wichtiger Schritt zur Effizienzverbesserung im OP gemacht.

RFID gesteuertes Tracking der Operateure, wie in dieser Arbeit beschrieben, ist einer der ersten Schritte um einen genauen Ablauf der einzelnen Operationen automatisch zu dokumentieren, mit dem übergeordneten Ziel den Workflow und die Effizienz im OP zu verbessern.

## 5.5 Interpretation der Ergebnisse des Personal-Trackings

Die korrekte Positionserkennung des OP-Teams an beiden Seiten des OP-Tisches konnte durch den Einsatz von aktiven RFID Transpondern in dieser Arbeit gezeigt werden. Die Messreihen ergaben nur geringe zeitliche Schwankungen in der Detektionszeit bei einer Maximalanzahl von 6 Sendern pro Tischseite. Die Ergebnisse aus den Versuchsreihen mit Seitenwechsel der Transponder zeigen bei der Detektionszeit noch Verbesserungspotential. Mittlere Erkennungszeiten der Seitenwechsel liegen im Bereich von 30 bis 60 Sekunden und sind damit noch nicht sensitiv genug, um ein real-time Tracking zu gewährleisten. Da im Normalfall aber zumeist nur zwei Personen pro Zeiteinheit (Operateur und Assistent) gleichzeitig die Seite wechseln und in der neuen Position wieder für einen längeren Zeitraum verbleiben, spielt diese Zeitverlängerung bei der Detektion für den OP-Einsatz des Systems eine eher untergeordnete Rolle.

Festzuhalten bleibt, dass mit dieser Methode relevante Positionsinformationen ohne zusätzliche Arbeitsbelastung (durch observierendes und manuell dokumentierendes Personal) und ohne Einschränkung des OP-Teams gewonnen werden können.

## 6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die grundsätzliche Eignung der RFID Technologie sowie die Einsatzmöglichkeiten für ein intraoperatives Prozess Monitoring am Beispiel der Bauchtuch und Personenerfassung untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass beim passiven Tracking der OP-Assets (Bauchtücher) vor allem die Wahl einer geeigneten Transponder-Antennen Kombination für eine ausreichend hohe Detektionsgenauigkeit entscheidend ist. Diese lag für im Abdomen zurückgelassene

Bauchtücher bei 100%. Maßgeblich ist daneben auch die Orientierung des Transponders im Raum, welche die Reichweite der Erkennung beeinflusst. Temperaturmessungen ergaben, dass keine Gefährdung für den Patienten vorliegt. Die Testreihen im Tierversuch zeigten, dass die Transponder auch nach Kontakt mit Körperflüssigkeit im tierischen Gewebe von der Antenne erkannt werden. Die Position des OP- Teams wurde durch das aktive Tracking zuverlässig abgebildet. Für den geplanten Einsatz im Zentral OP des Klinikums rechts der Isar wurde das System erfolgreich einer elektromagnetischen Verträglichkeitsprüfung (EMV Zertifikat) unterzogen. Der verwendete Systemaufbau ist als Prototyp zu werten. Die potentielle Eignung von RFID-basierten Systemen in den beschriebenen Bereichen wurde in dieser Arbeit nachgewiesen.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Wan W, Le T, Riskin L, Macario A, (2009), Improving safety in the operating room: a systematic literature review of retained surgical sponges; *Curr Opin Anaesthesiol*; 22(2):207-214.
2. Riedl S, Ott G, Graf B, Fleischer F, (2005), OR-Planning and OR-management conditions for an effective workflow in operation theatres; *Viszeralchirurgie*; 40:117-122.
3. Greenberg CC, Regenbogen SE, Lipsitz SR, Diaz-Flores R, Gawande AA, (2008), The frequency and significance of discrepancies in the surgical count; *Ann Surg*; 248(2):337-341.
4. Cima RR, Kollengode A, Garnatz J, Storsveen A, Weisbrod C, Deschamps C, (2008), Incidence and characteristics of potential and actual retained foreign object events in surgical patients; *J Am Coll Surg*; 207(1):80-87.
5. Rogers A, Jones E, Oleynikov D, (2007), Radio frequency identification (RFID) applied to surgical sponges; *Surg Endosc*; 21(7):1235-1237.
6. Bani-Hani KE, Gharaibeh KA, Yaghan RJ, (2005), Retained surgical sponges (gossypiboma); *Asian J Surg*; 28(2):109-115.
7. Gawande AA, Studdert DM, Orav EJ, Brennan TA, Zinner MJ, (2003), Risk factors for retained instruments and sponges after surgery; *N Engl J Med*; 348(3):229-235.
8. Kaiser CW, Friedman S, Spurling KP, Slowick T, Kaiser HA, (1996), The retained surgical sponge; *Ann Surg*; 224:79-84.
9. Arora S, Hull L, Sevdalis N, Tierney T, Nestel D, Woloshynowych M, Darzi A, Kneebone R, (2010), Factors compromising safety in surgery: stressful events in the operating room; *Am J Surg*; 199(1):60-65.

- 10.Greenberg CC, Diaz-Flores R, Lipsitz SR, Regenbogen SE, Mulholland L, Mearn F, Rao S, Toidze T, Gawande AA, (2008), Bar-coding surgical sponges to improve safety: a randomized controlled trial; *Ann Surg*; 247(4):612-616.
- 11.Macario A, Morris D, Morris S, (2006), Initial Clinical Evaluation of a Handheld Device for Detecting Retained Surgical Gauze Sponges Using Radiofrequency Identification Technology; *Arch Surg*; 141:659-662.
- 12.Fabian CE, (2005), Electronic tagging of surgical sponges to prevent their accidental retention; *Surgery*; 137(3):298-301.
- 13.Mark Meyer, Pamela Fairbrother, Marie Egan, Henry Chueh, Warren S. Using Location Tracking Data to Assess Efficiency in Established Clinical Workflows.
- 14.Herfarth C, (2003), „Lean“ surgery through changes in surgical work flow; *Br J Surg*; 90(5): 513-514.
- 15.Billinghurst M, Savage J, Oppenheimer P, Edmond C, (1996), The expert surgical assistant. An intelligent virtual environment with multimodal input; *Stud Health Technol Inform*; 29: 590-607.
- 16.Overdyk FJ, Harvey SC, Fishman RL, Shippey F, (1998), Successful strategies for improving operating room efficiency at academic institutions; *Anesth Analg*; 86:896-906.
- 17.Stiehl JB, Jackson S, Szabo A, (2009), Multi-factorial analysis of time efficiency in total knee arthroplasty; *Comput Aided Surg*; 26:1-5.
- 18.Hunter JG, (2009), Reducing U.S. health care spending: is it realistic or even desirable?; *Plast Reconstr Surg*; 123(1):403-408.
- 19.Bleyl JU, Heller AR, (2008) Standard operating procedures and operating room management: Improvement of patient safety and the efficiency of processes; *Wien Med Wochenschr*; 158(21-22):595-602.
- 20.Lahtela A, Hassinen M, (2009), Requirements for radio frequency identification

in healthcare; Stud Health Technol Inform; 150:720.

21. Catarinucci L, Colella R, De Blasi M, Patrono L, Tarricone L, (2011), Enhanced UHF RFID Tags for Drug Tracing; 2011 Nov 3. PMID: 22048779.
22. Hohberger C, Davis R, Briggs L, Gutierrez A, Veeramani D, (2012), Applying radio-frequency identification (RFID) technology in transfusion medicine; 40(3):209-213.
23. Chen JC, Collins TJ, (2012), Creation of a RFID Based Real Time Tracking (R-RTT) System for Small Healthcare Clinics; 2012 May 5; PMID: 22562667.
24. Parlak S, Sarcevic A, Marsic I, Burd RS, (2012), Introducing RFID technology in dynamic and time-critical medical settings: requirements and challenges. J Biomed Inform; 45(5):958-74.
25. Padoy N, Blum T, Essa I, Feussner H, Berger MO, Navab N, (2007), A boosted segmentation method for surgical workflow analysis; Med Image Comput Comput Assist Interv; 10(Pt 1):102-109.
26. Ryckman FC, Yelton PA, Anneken AM, Kiessling PE, Schoettker PJ, Kotagal UR, (2009), Redesigning intensive care unit flow using variability management to improve access and safety; Jt Comm J Qual Patient Saf; 35(11):535-543.
27. Fuji Lai, Louw D, (2007), Surgical robotics for patient safety in the perioperative environment: realizing the promise; Surg Innov; 14(2):77-82.
28. Ahmadi SA, Sielhorst T, Stauder R, Horn M, Feussner H, Navab N, (2006), Recovery of surgical workflow without explicit models; Med Image Comput Comput Assist Interv; 9(Pt 1):420-428.
29. Nagy P, George I, Bernstein W, Caban J, Klein R, Mezrich R, Park A, (2006), Radio frequency identification systems technology in the surgical setting; Surg Innov; 13(1):61-67.
30. Booth P, Frisch PH, Miodownik S, (2006), Application of RFID in an integrated

healthcare environment; Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc; 1:117-119.

31. Mehrjerdi YZ, (2011), Radio frequency identification: the big role player in health care management; J Health Organ Manag; 25(5):490-505.
32. Rieche M, Komensky T, Husar P, (2011), Radio Frequency Identification (RFID) in medical environment: Gaussian Derivative Frequency Modulation (GDFM) as a novel modulation technique with minimal interference properties; Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc; 2011:2180-2183.
33. Ting SL, Kwok SK, Tsang AH, Lee WB, (2011), Critical elements and lessons learnt from the implementation of an RFID-enabled healthcare management system in a medical organization; J Med Syst; 35(4):6573-68.
34. Chen CC, Wu J, Crandall RE, (2007), Obstacles to the adoption of radio frequency identification technology in the emergency rooms of hospitals; Int J Electron Healthc; 3(2):193-207.
35. Clampitt HG, Jones EC (eds), (2006), RFID Certification Textbook; PWD Group Inc., Houston, TX.
36. Shepard S, (2005), RFID: Radio Frequenz Identification; McGraw-Hill, New York.
37. Schoblick R, Schoblick G, (2005), Radio Frequenz Identification; Franzis Verlag: S.13-14.
38. Meyer M, Fairbrother P, Egan M, Chueh H, Sandberg WS, (2006), Using Location Tracking Data to Assess Efficiency in Established Clinical Workflows, AMIA Annu Symp Proc; 1031.
39. Koneczny S, (2009), The operating room: architectural conditions and potential hazards; Wor; 33(2):145-164.
40. Lui CF, Hwang HG, Kuo KM, Hung WF, (2011), A call for safer utilization of radio frequency identification in the e-health era; Telemed J E Health;

17(8):615-619.

41. Van der Togt R, van Lieshout EJ, Hensbroek R, Beinat E, Binnekade JM, Bakker PJ, (2008), Electromagnetic interference from radio frequency identification inducing potentially hazardous incidents in critical care medical equipment; JAMA; 299(24):2884-2890.
42. Yao W, Chu CH, Li Z, (2011), The Adoption and Implementation of RFID Technologies in Healthcare: A Literature Review; J Med Syst; 2011 Oct 19. PMID: 22009254.
43. Parker SE, Laviana AA, Wadhera RK, Wiegmann DA, Sundt TM 3rd, (2010), Development and evaluation of an observational tool for assessing surgical flow disruptions and their impact on surgical performance; World J Surg; 34(2):353-361.
44. Fowler PH, Craig J, Fredendall LD, Damali U, (2008), Perioperative workflow: barriers to efficiency, risks, and satisfaction; AORN J; 87(1):187-208.
45. Rumstadt B, Schilling D, (2008), Optimizing time management after perforation by colonoscopy results in better outcome for the patients; Hepatogastroenterology; 55(85):1308-1310.
46. Strauss G, Fischer M, Meixensberger J, Falk V, Trantakis C, Winkler D, Bootz F, Burgert O, Dietz A, Lemke H, (2006), Workflow analysis to assess the efficiency of intraoperative technology using the example of functional endoscopic sinus surgery; HNO; 54(7):528-535.

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Funktionsweise der Radio-Frequenz-Identifikation

Abb. 2: Transponder Modell Orion22x3mm, 1.7g, HF chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland

Abb. 3: RFID-Notebookbildschirm: OP-Beginn (Systemstart): 15 Tüchern auf dem Instrumentiertisch

Abb. 4: RFID-Notebookbildschirm: OP-Verlauf: 11 Tücher auf dem Instrumentiertisch, 4 Tücher auf dem OP-Tisch (= im Patienten)

Abb. 5: RFID-Notebookbildschirm: OP Ende: 4 Tücher auf dem Instrumentiertisch, 11 Tücher im Abwurf. Kein Bauchtuch befindet sich mehr im Patienten

Abb. 6: Versuchsaufbau im Experimental-OP, OP-Phantom Elite, RFID-Notebook

Abb. 7: Antenne des Abwurfs

Abb. 8: Antenne der Anrichte

Abb. 9: OP-Phantom ELITE auf OP-Tisch Antenne (TP 4 W, Siemens Medical Solutions, Germany)

Abb. 10: Bauchtücher auf Situs des OP-Phantoms ELITE, dass auf der OP-Tischantenne gelagert ist

Abb. 11: Bauchtücher im Situs des OP-Phantoms ELITE, dass auf der OP-Tischantenne gelagert ist.

Abb. 12: 4 verschiedene getestete Transponder (1: Standardtransponder (22x3mm, 1.7g, HF Chip T-BT1320 HT ORION, Datamars, Switzerland, 2: Transponder in Zylinderform,3: Transponder in Scheckkartenform,4: Transponder in Form einer flachen Münze)

Abb. 13: RFID-Sektor-Controller

Abb. 14: aktiver Transponder (ZOMOFI Z-Tag, Albis Technologies Ltd., -Tisches  
Rechtes Bild: RFID-Sektor-Antenne mit aktivem RFID-Transponder (Zomofi Z-Tag,  
Albis Technologies Ltd. Switzerland)

Abb. 15: RFID-Sektor Antenne seitlich am OP-Tisch

Abb. 16 : Schematische Darstellung des OP-Tisches mit beiden Sektorantennen und  
den durch sie abgedeckten Zonen

Abb. 17: Echtzeittracking des OP-Personals (Screenshot): Zone 1 = rechte Seite des  
OP-Tisches; Zone 2 = linke Seite des OP-Tisches; auf jeder Seite des OP-Tisches ist  
jeweils ein aktiver Transponder lokalisiert ( Tag ID 3428/3425 )

Abb. 18: Abbildung der Tücherdetektion der Antenne, unterteilt in bis 7 und mehr als  
7 Tücher

Abb. 19: Kombinierte Auswertung aller Durchgänge auf Antenne, auf der  
Phantomoberfläche und im Phantomsitus verteilt; Ordinate: Anzahl der Messungen;  
Abszisse: Anzahl der Bauchtücher

Abb. 20: Darstellung der 6 Messpositionen die den Bereich des Patientenkörpers  
abdecken.

Abb. 21: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder  
bei 45°

Abb. 22: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarten- und Standardtransponder  
bei 45° Ausrichtung, Standardtransponder=innere grüne Wolke

Abb. 23: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarte und Standardtag bei 45°  
Ausrichtung, innere grüne Wolke ist der Standardtag, Aufsicht von oben

Abb. 24: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarte und Standardtag bei

vertikaler Ausrichtung, innere grüne Wolke ist der Standardtag

Abb. 25: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarte und Standardtag bei vertikaler Ausrichtung, innere grüne Wolke ist der Standardtag, Aufsicht von vorne

Abb. 26: Vergleich der Reichweite zwischen Scheckkarte und Standardtag bei vertikaler Ausrichtung, innere grüne Wolke ist der Standardtag, Aufsicht von der Seite

Abb. 27: Vergleich der maximalen Reichweite, unabhängig von der Ausrichtung, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtags dar, die äußere Wolke die des Checkkartentags

Abb. 28: Vergleich der Reichweite maximalen Reichweite, unabhängig von der Ausrichtung, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtags dar, die äußere Wolke die des Checkkartentags, Aufsicht von vorne

Abb. 29: Vergleich der Reichweite maximalen Reichweite, unabhängig von der Ausrichtung, die innere grüne Wolke stellt die Reichweiten des Standardtags dar, die äußere Wolke die des Checkkartentags, Aufsicht von oben

Abb. 30: Temperaturmessungen über 240 min an 4 verschiedenen Positionen

Abb. 31: Darstellung der Erkennungszeiten (in Sekunden) mit Mittelwert (Abszissenachse: Anzahl Transponder, Ordinatenachse: Zeit der Erkennung in Sekunden)

Abb. 32: Zeit ( in Sekunden) bis zur Erkennung des Seitenwechsels (Abszissenachse: Anzahl Transponder, Ordinatenachse: Zeit in Sekunden)

Abb. 33: prozentuale Verteilung der Erkennungszeiten abhängig von der Anzahl der Sender

## 9. Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Darstellung der Verteilung der Transponder rechts und links des OP-Tisches

Tab. 2: Darstellung der Erkennungswahrscheinlichkeit auf der Anrichten- und der Abwurfantenne

Tab. 3: tabellarische Auswertung der Testläufe mit der Patientenantenne (Daten-Dimension „Messvorgang 1-5“ durch „zählen-wenn“ verdichtet)

Tab. 4: Ergebnisse der Tierversuche mit der Patientenantenne

## 10. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
°C	Celsius
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
ggf.	gegebenenfalls
GHz	Gigahertz
MHz	Megahertz
Min	Minuten
mm	Millimeter
s.g.	so genannte
Tab	Tabelle
z.B.	zum Beispiel