
Technische Universität München
Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik

**CIO – Computer Integrated Operationroom -
Neue Konzepte und Systeme für einen
Computer-Integrierten Operationsaal**

Stephan Nowatschin

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Kristina Shea, Ph.D.

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Tim C. Lüth
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender

Die Dissertation wurde am 11.03.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 21.07.2009 angenommen.

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik von Prof. Dr. rer. nat. Tim C. Lüth an der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Tim C. Lüth (Ordinarius des Lehrstuhls für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik an der Technischen Universität München) danke ich sehr herzlich für die fachliche Betreuung. Insbesondere danke ich für die ausgezeichnete Förderung und die zahlreichen Entwicklungsmöglichkeiten, die mir während der Promotion geboten wurden.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender (Ordinarius des Lehrstuhls für Informationstechnik im Maschinenwesen an der Technischen Universität München) möchte ich mich ausdrücklich für die Betreuung der Arbeit als Zweitgutachter bedanken.

Bei Frau Prof. Dr. Kristina Shea (Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Technischen Universität München) möchte ich mich sehr bedanken für die Bereitschaft den Prüfungsvorsitz zu übernehmen.

Herrn Prof. Dr. Stefan Weber dank ich ganz besonders für seine Geduld und die abwechslungsreiche Zusammenarbeit in den ersten 3 Jahren in München. Mathias Markert dank ich besonders für zahlreiche Diskussionen und Anregungen während dieser 3 Jahre.

Ich danke allen Kollegen am Lehrstuhl für die Unterstützung, für fachliche und nicht fachliche Diskussionen sowie für ihre Anregungen. Mein besonderer Dank gilt Mathias Markert und Max Krininger für die Durchsicht und Kontrolle der Arbeit. Des Weiteren danke ich meinen Kollegen Thomas Wenger, Marcus Fischer und Heba Aguib für viele Diskussionen und nicht fachliche Anregungen. Meinen Kollegen Lorenzo d'Angelo, Axel Czabke, Jiayi Shi und Roland Stenzel und meinem ehemaligen Kollegen Dr. Sebastian Stopp und Dr. Ralf Tita danke ich für ihre stetige Hilfsbereitschaft. Außerdem danke ich den Studenten Erik Löwe, Alex Savic, Jakob Neuhäuser, Paul Schmitgen und Paul Neugebauer für ihre engagierte Arbeit.

Besonders herzlich danke ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und Großeltern für den Rückhalt und die Möglichkeit einer sehr guten und sorgenfreien Ausbildung. Allen Menschen, die mich auf meinem Weg bis hierhin begleitet haben und so ihren Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, gilt mein Dank.

Stephan Nowatschin, Juli 2009

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. PROBLEMSTELLUNG	2
2.1 PROBLEMSTELLUNG AUS MEDIZINISCHER SICHT.....	2
2.1.1 <i>Motivation am Beispiel einer navigierten FESS OP</i>	4
2.2 PROBLEMSTELLUNG AUS TECHNISCHER SICHT	6
2.3 ZIELSETZUNG DER ARBEIT.....	7
3. STAND DER TECHNIK	9
3.1 KOMMERZIELLE COMPUTERUNTERSTÜTZTE OP ANWENDUNGEN	9
3.2 FORSCHUNGSPROJEKTE IM BEREICH COMPUTERUNTERSTÜTZTE OPERATIONSSÄLE.....	11
3.2.1 <i>Optimierung von Operationsabläufen zur Reduzierung von OP-Zeiten</i>	12
3.2.2 <i>Datenrouting und Verschaltung von bildgebenden Systemen</i>	14
3.2.3 <i>Experimentelle Operationssäle</i>	16
3.2.4 <i>Anforderungen an zukünftige Operationssäle</i>	18
3.3 BEDIENKONZEPTE UND EINGABEGERÄTE.....	19
3.4 STANDARDISIERUNG IN DER MEDIZINTECHNIK.....	22
3.5 COMPUTER-INTEGRIERTE KLINIK	23
3.6 MULTI-AGENTEN-SYSTEME.....	24
3.7 CIM – COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING	29
3.8 SYSTEMUNABHÄNGIGE INFORMATIONSPROTOKOLLE UND SCHNITTSTELLEN	33
3.9 GERÄTESPEZIFIKATION UND OFFENE STANDARDISIERTE GERÄTEINTEGRATION	36
3.10 DEFIZITE AM STAND DER TECHNIK	38
4. MODELL DER COMPUTER-INTEGRIERTEN KLINIK	40
5. NEUE KONZEPTE UND SYSTEME FÜR EINEN COMPUTER-INTEGRIERTEN OPERATIONSSAAL (CIO)	43
5.1 EIGENER ANSATZ	43
5.2 ABGRENZUNG.....	44
5.3 AUFBAU DER ARBEIT.....	45
6. SYSTEMENTWURF	46
6.1 MODELLBILDUNG DES COMPUTER-INTEGRIERTEN OPERATIONSSAALS	46
6.2 GERÄTESPEZIFIKATION.....	49
6.2.1 <i>Geräte zur Erzeugung und Verarbeitung von medizinischen Bilddaten</i>	51
6.2.2 <i>Computergestützte Instrumente und Werkzeuge</i>	52
6.2.3 <i>Geräte zur Überwachung und Steuerung von Vitalparameter</i>	53
6.2.4 <i>Systeme der OP-Infrastruktur</i>	53
6.3 FORMALE BESCHREIBUNG DER GERÄTEKLASSEN	54
6.4 VERSCHALTUNG VON GERÄTEN	57
6.4.1 <i>Multi-Agenten Netzwerk</i>	57
6.4.2 <i>Verschaltung von Eingabegeräten mit zu steuernden Geräten</i>	59
6.5 ZUSTANDSANALYSE.....	60
6.6 BEDIENKONZEPT	61
6.7 ZULASSUNGSTECHNISCHE ASPEKTE	63

7.	IMPLEMENTIERUNG DER GERÄTESPEZIFIKATION	66
7.1	VERHALTENSBESCHREIBUNG.....	67
7.2	PHYSIKALISCHE BESCHREIBUNG	68
7.3	EINHEITLICHE GERÄTESPEZIFIKATION	69
7.3.1	<i>Gerätespezifisches Identifikationsmodul.....</i>	<i>71</i>
7.3.2	<i>Gerätespezifische Kommunikationsanforderungen.....</i>	<i>72</i>
8.	IMPLEMENTIERUNG EINER VERSCHALTUNG VON GERÄTEN	74
8.1	VERSCHALTUNG VON BILDGEBENDEN GERÄTEN UND EINGABEGERÄTEN.....	74
8.2	ANFORDERUNGSBASIERTE VERSCHALTUNG VON VIDEOQUELLEN MIT EINGABEGERÄTEN	75
8.3	VERSCHALTUNG VON GERÄTEN ZUR MOTORSTEUERUNG UND EINGABEGERÄTEN	79
8.3.1	<i>Anforderungsbasierte Verschaltung von Geräten zur Motorsteuerung mit Eingabegeräten</i>	<i>80</i>
9.	IMPLEMENTIERUNG EINER ZUSTANDKONTROLLE UND VISUALISIERUNG	82
10.	IMPLEMENTIERUNG UNTERSCHIEDLICHER BEDIENKONZEPTE	85
10.1	BEDIENUNG ÜBER TOUCHBILDSCHIRME IM STERILEN BEREICH	85
10.2	BEDIENUNG ÜBER EIN KABELLOSES EINGABEGERÄT	86
10.3	BEDIENUNG ÜBER EIN MULTIFUNKTIONALES EINGABEGERÄT	90
11.	PROTOTYPISCHE REALISIERUNGEN	92
11.1	VIDEO- UND EINGABEVERSCHALTUNG (NAVIGATION DIRECTOR UNIT)	92
11.1.1	<i>Statische Systembeschreibung.....</i>	<i>92</i>
11.1.2	<i>Dynamische Systembeschreibung.....</i>	<i>94</i>
11.1.3	<i>Softwarestruktur</i>	<i>95</i>
11.1.4	<i>Funktionalitäten</i>	<i>98</i>
11.2	EIN INTEGRIERTES BEDIENSYSTEM (OMNICONTROL)	101
12.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	103
13.	GLOSSAR.....	105
14.	LITERATUR	109

1. Einleitung

In vielen chirurgischen Disziplinen gehören computergestützte Assistenzsysteme heute zum klinischen Alltag. Diese Systeme können bildgebende Systeme (C-Bogen, Ultraschall, intraoperatives CT/MRT, Endoskop), Assistenzsysteme für die chirurgische Navigation, Steuermodule für Pumpen und chirurgische Instrumente, Roboter oder Systeme der Infrastruktur eines Operationssaals (Kamera, OP-Tisch, Dokumentationsrechner) sein. Sie gibt es in unterschiedlichen Ausprägungen (Schnittstellen, Funktionalitäten, Anwendungen) und von unterschiedlichen Herstellern und werden während der Operation je nach Bedarf an den Operationstisch gebracht und verwendet. Dazu werden sie eventuell an die vorhandene OP-Infrastruktur, wie Bildschirme oder Dokumentationssysteme, angeschlossen.

Um Geräte und die zugehörigen Informationen während eines Eingriffs jederzeit zur Verfügung zu haben und so teure Zeit im Operationssaal einsparen zu können, müssen die Systeme der unterschiedlichen Hersteller und Anwendungen so in die OP-Infrastruktur eingebunden werden, dass sie teilweise automatisiert oder manuell Daten austauschen und miteinander interagieren können. Dabei sollen die Systeme je nach Operationssetup und Operationstyp modular miteinander verwendet werden.

Zusätzlich zur Integration verschiedener Geräte spielt die Steuerung und Bedienung der Geräte innerhalb des chirurgischen Workflows eine wichtige Rolle. Bei den verfügbaren Systemen können die Bedienkonzepte und Bedienfunktionalitäten eines Herstellers nicht ohne weiteres auf Geräte anderer Hersteller übertragen werden, was dazu führt, dass bereits heute eine Vielzahl von Eingabegeräten im Operationssaal vorhanden sind. Diese Anzahl wird sich mit zukünftigen Entwicklungen von computerunterstützten Systemen im Operationssaal voraussichtlich weiter erhöhen.

Neben der mechanischen Integration von unterschiedlichen Systemen (z.B. Kombination von Deckenhalterungen für OP-Beleuchtung und Navigationskamera für chirurgische Assistenzsysteme oder Zusammenspiel von Position des OP-Tisches und intraoperativem CT/MRT) spielt die informationstechnische Integration und Verschaltung der Systeme eine wichtige Rolle. Es existieren in den meisten Kliniken mit den vorhandenen PACS-Systemen bereits Teillösungen für den Austausch medizinischer Bilddaten. Sie basieren darauf, dass auf einem zentralen Rechner die Bilddaten abgelegt und von den unterschiedlichen Systemen in der Klinik per TCP/IP Kommunikation abgerufen werden können. Nachteile können dabei in der klinischen Routine mögliche Ausfälle des PACS-Servers sowie die lange Wartezeit sein, die benötigt wird, um intraoperative Bilddaten auf dem Server abzulegen und sie dann auf ein anderes Assistenzsystem zu laden. Es existieren bisher keine kommerziell verfügbaren Werkzeuge und Schnittstellen, um Systeme unterschiedlicher Hersteller in ein integriertes Gesamtkonzept für einen computerunterstützten Operationssaal einzufügen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden daher Konzepte und verschiedene Implementierungen entwickelt, die die geräteunabhängige, informationstechnische Integration von computerassistierten Systemen in einem Operationssaal ermöglichen. In diesem Konzept werden unabhängig vom Hersteller der einzelnen Systeme die Schnittstellen des Systems betrachtet und so eine Klassifizierung des Systems in Geräteklassen vorgenommen. Über die Trennung von Bedienkonzept und physikalischem Eingabegerät werden zusätzlich kliniktaugliche Eingabesysteme und ein anforderungsbasiertes Verschaltungskonzept entwickelt.

2. Problemstellung

In diesem Kapitel werden die Probleme erläutert, aufgrund derer der Einsatz neuer integrierter, computerunterstützter Operationssäle in der Chirurgie notwendig und sinnvoll erscheint. Die Anforderungen werden aus Sicht des Anwenders, d.h. des Chirurgen und des OP-Personals, sowie aus technischer Sicht dargestellt.

2.1 Problemstellung aus medizinischer Sicht

Um die Kosten für einen Eingriff möglichst gering zu halten, ist es erforderlich, Operationen bei Ressourceneinsatz effizienter durchzuführen. Ca. 25-50% der gesamten Fallkosten eines Patienten im Krankenhaus entfallen auf die Behandlung im Operationssaal. Die Personalkosten im Operationssaal liegen bei ca. 250-500 Euro pro Stunde, Sachkosten bei 125-250 Euro pro Stunde und die eigentlichen Betriebskosten belaufen sich auf 500-1000 Euro pro Tag (Geldner *et al.*, 2003). Um die Kosten zu reduzieren oder zumindest nicht weiter anwachsen zu lassen, müssen neue Konzepte und Systeme für ein effizientes OP-Management in die klinische Routine eingeführt werden.

Dazu werden immer mehr computerunterstützte Assistenzsysteme in den Operationssaal eingeführt, die bei gleicher oder sogar höherer Präzision eine effizientere Durchführung einer Operation ermöglichen sollen. Trotz der geforderten Effizienz und möglichst hoher Auslastung bei geringerem Personaleinsatz bieten die computerunterstützten Systeme neben den wirtschaftlichen Aspekten auch klinische Vorteile. Durch neue Entwicklungen und Kombinationen von Produkten eröffnen sich dem Chirurgen neue Therapieverfahren und eine erhöhte Sicherheit des Eingriffs. In Abbildung 2.1 sind die Anforderungen und Erwartungen an einen immer stärker computerunterstützten Operationssaal abgebildet.

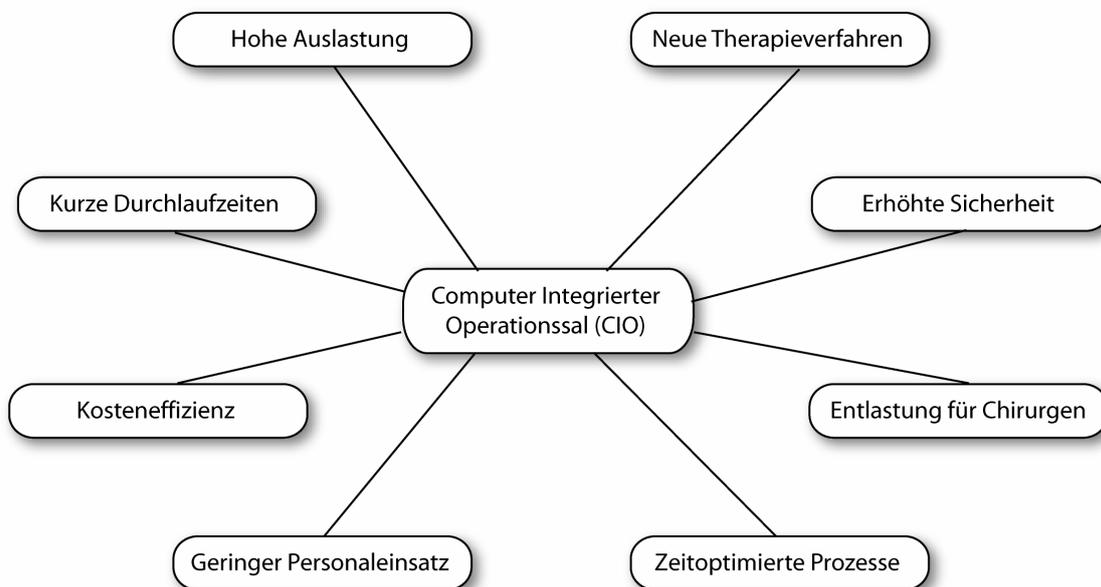


Abbildung 2.1: Klinische und wirtschaftliche Anforderungen bzw. Erwartungen an einen *Computer-Integrierten Operationssaal (CIO)*.

In fast allen chirurgischen Disziplinen werden heute computerunterstützte Systeme in unterschiedlichen Ausprägungen eingesetzt. Im Folgenden werden daher für unterschiedliche Anwendungen computerunterstützte Systeme vorgestellt. Aus medizinischer Sicht müssen die

vorhandenen Systeme besser in die OP-Infrastruktur integriert und miteinander kombinierbar werden. Nur so kann erreicht werden, dass unterschiedliche Fachdisziplinen die OP-Ausstattung kosteneffizient gemeinsam verwenden können und nicht jede Abteilung ihre eigenen Geräte verwendet, die dann vor und nach jedem Eingriff in den Operationssaal gebracht werden müssen.

Dabei werden die Systeme je nach Ausprägung bereits heute teilweise gar nicht vom OP-Personal wahrgenommen. Als Beispiele sind kleine Mikroprozessoren zur Ansteuerung und Regelung von chirurgischen Fräsen oder Pumpen im Anästhesiebereich zu nennen. Dem gegenüber können große Systeme wie Ultraschallgeräte oder ein C-Bogen aufgrund ihrer Größe und des daraus resultierenden Platzbedarfs den OP-Verlauf beeinflussen bzw. verzögern.

Die chirurgischen Teilgebiete der HNO-Chirurgie verwenden Mikroskop und Endoskop dazu, hoch aufgelöste Aufnahmen von kleinen Strukturen im Körper zu erzeugen. Dabei können die Linsensysteme seit einigen Jahren um einen digitalen Videokameraaufsatz erweitert werden. Durch diese Neuerung hat sich insbesondere im Bereich der endoskopischen Chirurgie der Operationsverlauf geändert. Während der Chirurg bei den herkömmlichen Linsensystemen direkt durch die Optik in den Situs schauen musste, betrachtet er das Bild heute auf einem Bildschirm im Operationssaal. Damit änderte sich gerade in dieser Disziplin die Ausstattung für die endoskopischen Operationssäle. Es wurden zusätzlich Bildschirme an der Decke des Saals installiert, an denen sowohl der Operateur als auch die Assistenzärzte unabhängig voneinander die endoskopischen Bilder anschauen können.

Durch dieses OP-Setup mit mehreren Bildschirmen an der Decke besteht die Möglichkeit, weitere Informationen zu visualisieren. So können verschiedene Bildmodalitäten miteinander überlagert und verglichen, Lageinformationen von Instrumenten über optische oder elektromagnetische Navigationssysteme gemessen und in den Bilddaten eingezeichnet werden. Damit entstehen intraoperative Verknüpfungen von patientenindividuellen Informationen, die dem Chirurgen ein besseres Bild von der intraoperativen Situation ermöglichen sollen.

Neben der reinen Visualisierung von Informationen existieren bereits Systeme, die aktiv die Leistung von chirurgischen Fräsen und Instrumenten regeln und steuern können. Dazu werden in einer präoperativen Planungsphase sensible Risikostrukturen in den Bilddaten des Patienten eingezeichnet. Während des Eingriffs wird über ein Positionsmesssystem die Lage des chirurgischen Instruments bestimmt und je nach Abstand zu den Risikostrukturen die Leistung des Instruments gesenkt bzw. abgeschaltet. Durch diese Sicherheitsabschaltung können feine Strukturen für Implantate auch in der Nähe von Risikostrukturen gefräst und gleichzeitig die Sicherheit des Eingriffs erhöht werden.

Gleichzeitig entsteht für den Chirurgen ein erhöhter kognitiver Stress, da er gleichzeitig immer mehr Informationen ausgesetzt ist. Daher ist es wichtig, die geeigneten Informationen in der entsprechenden Phase des Eingriffs für den Chirurgen zugreifbar zu machen und überflüssige Informationen auszublenden. Dazu müssen unterschiedliche Systeme in den klinischen Workflow integriert und ihre Informationen so zur Verfügung gestellt werden, dass sie den Operationsverlauf nicht behindern und den Chirurgen bestmöglich unterstützen.

Im Bereich der Leberchirurgie existieren Planungssysteme, mit denen anhand von CT- oder MRT-Daten eine Tumorsektion oder eine Leberlebenspende geplant werden können. Dazu werden sowohl die Lage der Blutgefäße als auch die Abhängigkeiten der einzelnen

Lebersegmente von der Blutzufuhr der einzelnen Blutgefäße betrachtet. Die Planung gibt dem Chirurgen vor der Operation eine Orientierung für die Resektion. Im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten wird daran gearbeitet, diese Planungsinformationen mit Hilfe von Navigationstechnologie in den Operationssaal zu übertragen. Dazu werden unterschiedliche computerunterstützte Systeme eingesetzt. Für die Orientierung am Situs und die Identifikation von Blutgefäßen und Tumoren wird ein intraoperativer Ultraschall verwendet. Der Computer wertet die Ultraschallbilder automatisch aus und segmentiert Strukturen. Mit Hilfe eines Navigationssystems wird die Lage des Ultraschallkopfes und des Resektionsinstruments gemessen und visualisiert. Zusammen mit weiteren Informationen wie einigen Vitalparametern des Patienten sowie der momentan eingestellten Leistung des Resektionsinstruments müssen alle Informationen entsprechend aufbereitet und dem Chirurgen in geeigneter Form dargestellt werden. Bereits durch eine standardmäßige Darstellung der Planungsdaten und des intraoperativen Ultraschalls können Chirurgen hier entlastet werden, da sie zu jedem Zeitpunkt der Operation die reale mit der geplanten Strategie vergleichen können.

In der Neurochirurgie kommen seit einigen Jahren neben dem Ultraschall weitere bildgebende Systeme intraoperativ zum Einsatz, die bisher nur präoperativ genutzt wurden. Dazu zählen besonders intraoperative CT-Aufnahmen bei Korrekturen von Halswirbelfrakturen zur Kontrolle der Schraubenpositionen noch während der Operation oder intraoperative MRT- Aufnahmen während Eingriffen am offenen Schädel. Hier besteht das Hauptproblem darin, den Patienten intraoperativ in den CT bzw. den MRT zu bewegen und die Aufnahmen zu machen. Dazu bestehen die beiden Möglichkeiten, die OP-Liege in den Tomographen zu bewegen, oder aber den Tomographen über Deckensysteme in den Operationssaal zu bringen. Im Falle eines Magnet-Resonanz-Tomographen müssen alle magnetischen Teile am Patienten und dessen Umgebung kurzzeitig entfernt werden. Im Falle des Computertomographen muss das OP-Personal vor der Röntgenstrahlung geschützt werden. Nach der Aufnahme werden die Bilder entweder auf Bildschirmen im OP dargestellt oder direkt in ein Navigationssystem geladen, in dem dann der geplante Operationsverlauf mit dem tatsächlichen Verlauf verglichen und eventuell angepasst werden kann.

Durch die weiter steigende Digitalisierung der Daten im Operationssaal ergeben sich neue Möglichkeiten, OP-Verläufe zu dokumentieren und durch die entsprechenden Informationen aus bildgebenden Systemen und Navigationssystemen zu ergänzen. Dazu müssen die Systeme eine Schnittstelle bereitstellen, über die ihre Daten und Informationen von einem zentralen Dokumentationswerkzeug abgerufen werden können. Der Chirurgen kann damit Zeit sparen, um das OP-Protokoll komplett von Hand zu erstellen.

2.1.1 Motivation am Beispiel einer navigierten FESS OP

Im folgenden Abschnitt soll die Verwendung von computergestützten Geräten und deren manuell zu konfigurierende Vernetzung anhand eines Beispielszenarios der HNO-Chirurgie veranschaulicht werden. Dazu wird eine navigierte FESS Operation (*Functional Endoscopic Sinus Surgery*) betrachtet, bei der eine Vielzahl von Geräten zum Einsatz kommen, die alle durch das OP-Personal vor und während des Eingriffs aufgebaut und miteinander verschaltet werden. Anhand dieses Beispiel soll der Nutzen einer integrierten Lösung für den Operationssaal und das automatische Zusammenschalten der Geräte verdeutlicht werden.

Vor dem Eingriff wird eine CT-Aufnahme des Kopfes des Patienten gemacht. Anhand der Aufnahme und den Ergebnissen der Untersuchungen mit dem Endoskop plant der Chirurg den Eingriff. Er zeichnet dazu an einem Planungsterminal mit einer speziellen

Planungssoftware die Risikostrukturen wie z.B. die Orbitawand oder Nervenstrukturen ein. Dazu markiert er die Strukturen in jeder CT-Schicht von Hand, wobei die Planungssoftware ihn dabei durch halbautomatische Segmentierungen und Einblendung der markierten Bereiche aus der vorherigen Schicht (Koulechov, 2006) unterstützt. Der Chirurg kann an diesem Planungsterminal eine virtuelle Endoskopie durchführen und sich so einen besseren Überblick über die tatsächliche anatomische Struktur machen (Wittmann *et al.*, 2007). Die Planungsdaten werden im Anschluss zusammen mit den CT-Daten abgespeichert und auf einem lokalen Netzwerk abgelegt oder auf eine CD gebrannt.

Vor dem Eingriff bereiten die OP-Schwester die Geräte für den Eingriff vor. Dazu wird das Navigationssystem am Kopfende des OP-Tisches aufgestellt und an einen externen Bildschirm über dem OP-Tisch angeschlossen (Strauss *et al.*, 2006). Zusätzlich wird die sterile Endoskopoptik an die Videokamera und ebenfalls an einen externen Monitor angeschlossen. Um die Bilder während des Eingriffs beliebig verschalten zu können und dem Chirurgen das gewünschte Bild auf den jeweiligen Bildschirm anzuzeigen, wird eine Verschaltungsmatrix zwischen die Videosignale und die Bildschirme geschaltet.

An die sterilen Instrumente, die Sauger und die chirurgische Fräse werden für den Eingriff optische Reflektoren befestigt, um ihre Lage messen zu können und in den CT-Daten des Patienten zu visualisieren. Das Endoskop wird an ein Dokumentationsgerät angeschlossen, das die Bilder während des Eingriffs mit aufzeichnet. Die chirurgische Fräse wird über eine dazwischen geschaltete Leistungssteuerung (*Navigated Control*) mit dem Navigationssystem verbunden. Diese Leistungssteuerung regelt dann während des Eingriffs die Leistung der Fräse anhand der geplanten Strukturen in den CT-Daten und kann eine Verletzung der markierten Strukturen durch eine automatische Abschaltung der Fräse verhindern (Hofer *et al.*, 2006; Koulechov *et al.*, 2006).

Nachdem alle Geräte in Betrieb genommen wurden, wird der Patient in den Operationssaal gebracht und für den Eingriff vorbereitet. Für die Navigation wird ihm zunächst ebenfalls eine optische Referenz am Kopf befestigt und die Navigationskamera durch eine OP-Schwester darauf ausgerichtet. In Weiterentwicklungen wird die Kamera durch zusätzliche Motoren hinter dem Kamerakopf bewegt und automatisch auf den optimalen Winkel eingestellt.

Im nächsten Schritt wird die tatsächliche Patienten-anatomie durch Antasten von vier anatomischen Landmarken mit den CT-Daten registriert. Im Anschluss daran können die weiteren navigierten Instrumente wie Sauger oder die Fräse kalibriert und in den CT-Daten visualisiert werden.

Während des Eingriffs kontrolliert der Chirurg den Operationsfortschritt mit Hilfe des Endoskops. Dabei kann es notwendig sein, dass die Anzeige des Endoskopbildes auf den externen Bildschirm des Navigationssystems geschaltet werden muss. Dazu verwendet die OP-Schwester die Umschaltmatrix. Zusätzlich können Endoskopbilder direkt in der Navigationssoftware angezeigt werden, indem das Endoskop ebenfalls navigiert wird. Gleichzeitig können damit zusätzliche Informationen wie die präoperativ markierten Strukturen in das kalibrierte Endoskopbild aus der Navigation eingeblendet werden.

Während des Eingriffs tauschen die angeschlossenen Geräte Daten und Informationen untereinander aus. Das können zum Beispiel Informationen über die Motordrehzahl der Fräse, Position eines Fußpedals oder die Ausrichtung und die Zoominformationen des Endoskopbildes sein. Dieser Datenaustausch basiert bisher nur auf dem manuellen Einstellen

der Parameter am jeweiligen Gerät. Es findet keine automatische Interaktion zwischen den unterschiedlichen Geräten statt, die es dem Chirurgen zum Beispiel ermöglichen, Motordrehzahl am Navigations- oder Endoskopbildschirm anzuzeigen und zu variieren, Fußpedalsignale auch für die Steuerung anderer Geräte zu nutzen oder die Endoskopparameter außerhalb des zugehörigen Geräteturms zu verändern.

Am Ende des Eingriffs werden die Patientendaten, zusammen mit Screenshots der Navigationssoftware und den aufgezeichneten Endoskopbildern abgespeichert und auf dem lokalen Netzwerk oder einer CD abgelegt. Die Daten dienen dem Chirurgen später als Grundlage für sein OP-Protokoll.

2.2 Problemstellung aus technischer Sicht

Aus technischer Sicht lassen sich die Herausforderungen und Probleme bei der Integration von unterschiedlichen Systemen im Operationssaal nach folgenden Gesichtspunkten aufgliedern:

- *Große Anzahl von Informationen mit unterschiedlichen Anforderungen:* Durch die hohe Anzahl von computerunterstützten Systemen im Operationssaal steigt sowohl die Anzahl der Informationen, die dem Chirurg zur Verfügung stehen, als auch die Anzahl der Daten, die zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden sollen. Dabei herrschen unterschiedliche Anforderungen an die Übertragungsgeschwindigkeit sowie die Verfügbarkeit der Übertragungsnetze. Im Falle von Signalen für die Ansteuerung von Motoren und Pumpen müssen häufig Echtzeitanforderungen beachtet werden, während bei der Übertragung von intraoperativ erstellten CT-Aufnahmen die Anforderung nicht relevant sind.
- *Keine einheitliche Gerätespezifikation:* Für die unterschiedlichen Computersysteme im Operationssaal existieren bisher keine einheitlichen Gerätespezifikationen. So könnten zum Beispiel alle bildgebenden Systeme einheitlich durch ihre Schnittstellen nach außen beschrieben und in einer Geräteklasse zusammengefasst werden. Dabei ist bei der Beschreibung und Spezifikation darauf zu achten, dass sie bereits existierende Geräte und Systeme beinhaltet und auch für zukünftige Entwicklungen verwendet werden können.
- *Geringer Platzbedarf im OP:* Durch den eingeschränkten Platzbedarf in einem Operationssaal müssen alle Systeme möglichst so in die Infrastruktur des Operationssaals integriert werden, dass die normalen Operationsabläufe durch sie nicht behindert werden oder im schlimmsten Fall verändert werden müssen. Das beinhaltet sowohl die mechanische Integration von Geräten in die Infrastruktur als auch die informationstechnische Einbindung der Systeme in bestehende Informationssysteme der Klinik. Ein modularer Aufbau muss die Integration verschiedener Konfigurationen zusätzlich ermöglichen.
- *Modularer Aufbau des Systems:* Je nach chirurgischer Disziplin werden unterschiedliche computerunterstützte Systeme benötigt. Das Gesamtsystem soll daher modular aufgebaut werden. Dadurch ist eine nachträgliche Nachrüstung von weiteren Komponenten gewährleistet. Durch den modularen Aufbau kann ein Operationssaal für verschiedene chirurgische Disziplinen so eingerichtet werden, dass der Saal für verschiedene Eingriffe genutzt werden kann, und nicht wie im Falle der heutigen

endoskopischen Operationssäle für die Anforderungen von endoskopischen Eingriffen optimiert ist.

- *Keine einheitlichen Standards zur Kommunikation:* Um verschiedene Systeme unterschiedlicher Hersteller zu einem Gesamtsystem zu integrieren, müssen Kommunikationswege und Schnittstellenprotokolle eingeführt werden, die es ermöglichen, plattformunabhängig Daten und Informationen auszutauschen. Diese Standards existieren bereits mit dem DICOM Format für den Austausch von Bilddaten. Jedoch existiert bisher noch kein Standard für die Steuerung und Bedienung von unterschiedlichen Systemen.
- *Einfache und ergonomische Bedienung des Gesamtsystems:* Durch die Vernetzung von unterschiedlichen Geräten und informationstechnischen Systemen muss eine einfache und ergonomische Bedienung der einzelnen Systeme gewährleistet bleiben. Es existieren hierfür bereits Ansätze, in denen die Bedienoberflächen der einzelnen Systeme nachimplementiert werden, was jedoch mit einem enormen Aufwand verbunden ist. Daher soll eine Bedienung der einzelnen Komponenten über einen hohen Grad an Automatisierung ohne Interaktion mit dem OP-Personal erfolgen. Für die Bedienelemente, die nicht automatisiert werden können, muss ein entsprechendes dem Workflow angepasstes Bedienkonzept gefunden werden.

2.3 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, durch neue Ansätze und Systeme innovative Konzepte für einen integrierten Operationssaal zu realisieren. Durch eine einheitliche Gerätespezifikation soll die Möglichkeit geschaffen werden, dass Geräte unabhängig von ihrem Hersteller und Einsatzzweck Informationen und Daten austauschen können. Dazu sollen sie in einem Multi-Agenten-Netzwerk miteinander verschaltet werden. Für die Steuerung und Bedienung soll eine anforderungsbasierte Bedienung eingeführt werden, die abhängig von den erforderlichen Geräteanforderungen ein Bediensignal emuliert. Weiterhin sollen neue Bedienkonzepte und Systeme für eine intuitive Bedienung unterschiedlicher Geräte im Operationssaal vorgestellt werden.

Die Ziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Einheitliche Gerätespezifikation:** Anhand von verschiedenen Kriterien wie der intraoperativen Benutzung oder der Geräteparameter soll eine Gerätespezifikation entwickelt werden, die es ermöglicht, Geräte im Operationssaal zu beschreiben und zu klassifizieren. Dabei soll die Spezifikation so angelegt sein, dass Geräte zukünftig untereinander kommunizieren und in einem Netzwerk miteinander verschaltet werden können, um Daten und Informationen auszutauschen. Für den Informationsaustausch der einzelnen Geräte untereinander bezüglich der verfügbaren Dienste soll eine Funkverbindung in die Spezifikation integriert werden. Um tatsächlich Daten auszutauschen, müssen verschiedene Bussysteme eingebunden werden.
- **Neue Verfahren und Systeme für die Verschaltung von Geräten:** Um die verschiedenen Geräte im Operationssaal miteinander zu verschalten, soll ein Modell entwickelt werden, in dem die Geräte in ein Multi-Agenten-Netzwerk eingebunden sind. Darin soll jedes Gerät seine Funktionen und Daten als Dienste in diesem Netzwerk zur Verfügung stellen, damit sie von den übrigen Geräten genutzt werden können. Weiterhin soll ein neues Konzept der anforderungsbasierten Verschaltung

entwickelt werden, das es ermöglicht, Geräte und vorhandene Eingabesysteme im Operationssaal beliebig miteinander zu verschalten. Dazu soll eine Trennung vom physikalischen Eingabegerät und dem damit verbundenen Eingabekonzept realisiert werden. Zusätzlich soll jedes zu steuernde Gerät seine Anforderungen an das Bediensystem codieren und einer zentralen Verschaltung mitteilen. Diese zentrale Verschaltung prüft dann die angeschlossenen Eingabesysteme und emuliert anhand der Anforderungen des zu steuernden Geräts und den Parametern des Eingabegeräts die Bediensignale.

- **Zustandsanalyse und Zustandsvisualisierung:** Ziel der Verschaltung unterschiedlicher Geräte im Operationssaal soll die Gewinnung neuer Gesamtfunktionalitäten aus den Einzelfunktionalitäten sein. Dazu soll eine kontinuierliche Analyse der vorhandenen Dienste erfolgen und diese dem Chirurgen in einer Zustandsmatrix visualisiert werden. Daraus lassen sich Verschaltungsszenarien für verschiedene Operationstypen ableiten, die dann den OP-Schwestern bei der Vorbereitung von zukünftigen Eingriffen als Vorlage dienen. Zusätzlich sollen die Verschaltungszustände während des Eingriffs als Teil der OP-Dokumentation mit abgelegt werden, um eine transparente Nutzung der unterschiedlichen Geräte während des Eingriffs zu dokumentieren.
- **Bedienkonzepte für einen Computer Integrierten Operationssaal:** Aufgrund der steigenden Anzahl von computerunterstützten Geräten im Operationssaal und der damit verbundenen steigenden Anzahl an Bediensystemen sollen Bedienkonzepte und Systeme entwickelt werden, die eine intuitive Bedienung der Geräte im Operationssaal ermöglichen. Dabei sollen die Bediensysteme auch auf bereits heute im OP vorhandene Geräte adaptiert werden können.

3. Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird der Stand der Technik der integrierten und computerunterstützten Operationssaaltechnologien dargestellt. Es werden zunächst die kommerziellen Systeme beschrieben, die bereits zu Beginn der hier vorgestellten Entwicklung am Markt verfügbar sind. Anschließend werden die Systeme vorgestellt, die zeitgleich in anderen Gruppen entwickelt und bisher nur auf wissenschaftlichen Konferenzen und in Publikationen vorgestellt wurden.

Der zweite Teil des Kapitels beinhaltet die für diese Arbeit notwendigen informationstechnischen Technologien, die für die Kommunikation und den Datenaustausch der Geräte in einem integrierten Operationssaal verwendet werden. Am Ende des Kapitels wird auf die Prinzipien der *Computer-Integrierten Fertigung (CIM)* eingegangen, die im Bereich der maschinenunterstützten Fertigung bereits erfolgreich verwendet wird und mit ihren Konzepten als Grundlage für einen Computer-Integrierten Operationssaal dient.

3.1 Kommerzielle computerunterstützte OP Anwendungen

Es existieren derzeit verschiedene Ansätze unterschiedlicher Medizintechnikhersteller, die in die Richtung eines integrierten Operationssaals tendieren. Diese Systeme dienen allerdings nur zur Vernetzung der einzelnen Produkte des jeweiligen Herstellers und bieten keine offenen Schnittstellen, um Geräte anderer Hersteller anzuschließen. Im folgenden Abschnitt werden die derzeit kommerziell zur Verfügung stehenden Systeme vorgestellt.

Karl Storz Endoskope

Die Firma *Karl Storz Endoskope* (Tuttlingen, Deutschland) bietet mit dem *ORI™* System die komplette Einrichtung und Gestaltung von Operationssälen zur Durchführung minimal invasiver und konventioneller Eingriffe an. Das System beinhaltet verschiedene HD-Bildschirme, auf denen die hoch aufgelösten Bilder der Endoskope und Kameras wiedergegeben werden. Die Basisgeräte wie ein Dokumentationsrechner (*AIDA*) sowie die Lichtquellen und Steuerrechner für die Endoskope sind in einem Geräteturm in der OP-Infrastruktur integriert. Das System ermöglicht die Ansteuerung des OP-Tisches sowie die Kontrolle über die Lichthelligkeit.

Durch die Bedienung sämtlicher Funktionen über einen Touch Screen oder eine Sprachsteuerung aus dem sterilen Bereich heraus können abgespeicherte Profile und Setup Einstellungen der Systeme im OP abgerufen und aktiviert werden. Dadurch versprechen sich die Hersteller eine Arbeitserleichterung, aber auch eine Kostenreduzierung durch verkürzte Rüst- und Wechselzeiten. Abbildung 3.1a zeigt die Installation des OR1 mit verschiedenen Displays und Kameramodulen.

Olympus

Die Firma *Olympus* (Hamburg, Deutschland) bietet mit dem *EndoALPHA System* eine modulare Infrastruktur für Operationssäle. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der digitalen Endoskopie, d.h. der CCD Chip liegt direkt auf der Spitze des Instruments. Das System beinhaltet einen Bildverarbeitungsprozessor zur Bildaufzeichnung, Bildverarbeitung und Dokumentation. Das System kann vollständig aus dem sterilen Bereich über einen steril verpackten Touch-Screen bedient werden. Es zeichnet intraoperativ Bilder der Endoskope mit

auf und legt sie in vordefinierten Protokoll Templates auf einem zentralen Server ab (Abbildung 3.1b).

Richard Wolf

Der endoskopische Operationssaal *CORE* der Firma *Richard Wolf* (Knittlingen, Deutschland) bietet neben den integrierten Lösungen für die endoskopische Chirurgie eigene Module für die Telemedizin sowie ein Bildarchivierungs- und Dokumentationssystem. Das Gesamtsystem kann wie bei den anderen Herstellern auch über Touchscreens oder Sprachsteuerung bedient werden. Zusätzlich bietet das System eine offene CAN-Bus Schnittstelle, über die OP-Tische oder Deckenleuchten angebunden werden können (Abbildung 3.1d).

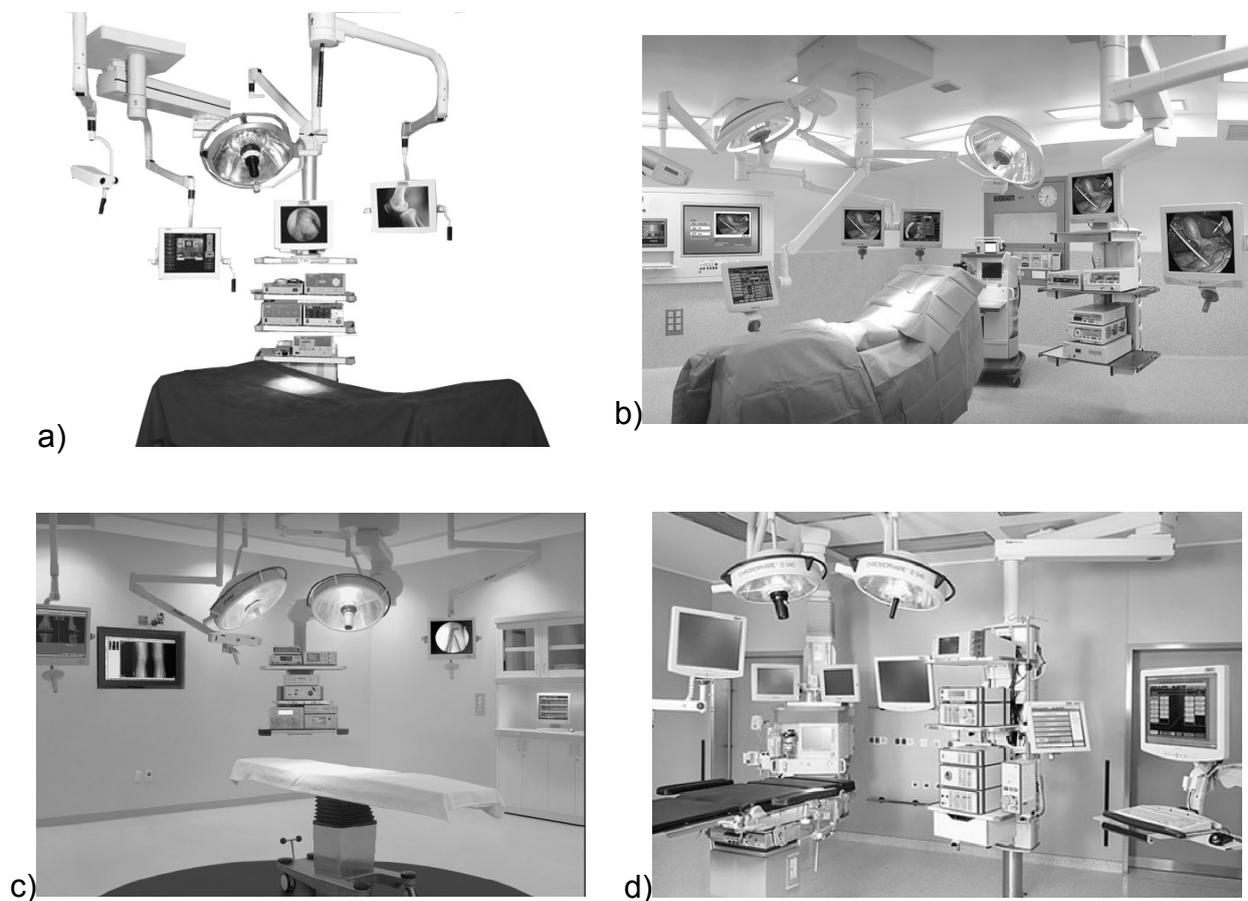


Abbildung 3.1: Computerunterstützte Operationssäle für minimal invasive Eingriffe. a) OR1 (©Karl Storz Endoskope, 2008); b) EndoAlpha (©Olympus, 2008); c) Nav-Suite (©Stryker, 2008); d) CORE – Complete operating room endoscopy (©Richard Wolf, 2008)

Stryker

Der EndoSuite-OP-Saal der Firma *Stryker* (Duisburg, Deutschland) bietet auf verschiedene chirurgische Disziplinen angepasste Ausstattungsmöglichkeiten. Für die endoskopische Chirurgie stehen mehrere Videoeingänge für HD-Video-Equipment zur Verfügung. Die Bilddaten können auf verschiedenen Medien archiviert und dokumentiert werden. Über eine Kommunikationsanlage kann der Chirurg Kontakt mit Personen außerhalb des

Operationssaals aufnehmen. Für die Herzchirurgie werden neben den Ultraschall- und Angiographie-Bildern die Vitalparameter des Patienten mit eingeblendet. In der Neurochirurgie steht dem Chirurgen ein Navigationssystem mit zugehöriger PACS Anbindung zur Verfügung (Abbildung 3.1c). Alle Konfigurationen können über ein zentrales Touch-Panel oder eine Sprachsteuerung bedient werden.

BrainLAB

Die Firma *BrainLAB* (Heimstetten, Deutschland) bietet mit der *BrainSuite* das wohl am weitesten fortgeschrittenste System auf dem Weg zu einem integrierten Operationssaal. Allerdings ist das System bisher nur für Systeme der Firma *BrainLAB* kompatibel und bietet keine offenen Schnittstellen für weitere Systeme anderer Hersteller. Der Operationssaal beinhaltet ein an der Decke montiertes chirurgisches Navigationssystem, das Daten mit einem intraoperativen C-Bogen, einem Mikroskop oder einem intraoperativen CT austauschen kann. Über ein Bedienpanel an der Wand kann das System gesteuert und z.B. der Operationstisch bewegt oder das OP-Licht gesteuert werden (Abbildung 3.2a).

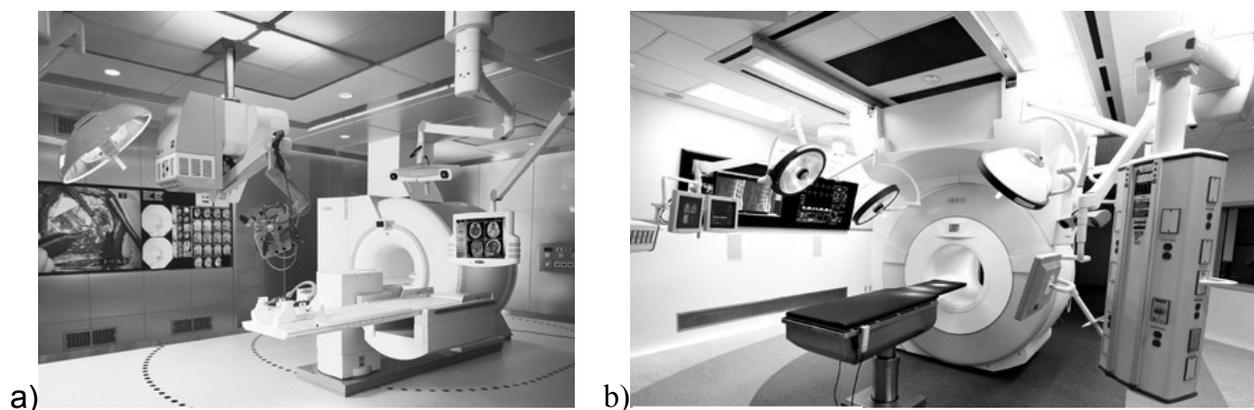


Abbildung 3.2: Computerunterstützte Operationssäle für chirurgische Eingriffe. a) BrainSuite (©BrainLAB, 2008); b) An der Decke montierter 1,5T Magnet für die intraoperative Nutzung (©IMRIS, 2008).

IMRIS

Die Firma *IMRIS* (Winnipeg, Manitoba, Kanada) bietet mit ihrem patentierten Deckensystem für einen 1.5T Magneten einen intraoperativen Magnet-Resonanz-Tomographen. Zusätzlich werden MRT-kompatible Operationstische sowie MRT-kompatible Fixierungen angeboten. Das System wird über einen eigenen Kontrollraum gesteuert. Dazu wird ein eigenes *Surgical Information Management System (SIMS)* verwendet, über das der gesamte Raum und die Vitalparameter des Patienten überwacht werden. Der Vorteil des Systems ist die wegfallende Mobilisierung des Patienten für eine intraoperative MRT-Aufnahme, da hier der Magnet zum Patienten bewegt wird (Abbildung 3.2b).

3.2 Forschungsprojekte im Bereich computerunterstützte Operationssäle

Es existieren eine Vielzahl von Forschungsprojekten und zugehörige Publikationen, in denen die Entwicklung von integrierten Operationssälen und „Operationssälen der Zukunft“ aufgezeigt werden. Dabei steht bei allen Projekten das gemeinschaftliche Ziel im Vordergrund, OP-Abläufe durch die Bereitstellung von Informationen zu unterstützen und so

zu optimieren, dass am Ende Operationszeit eingespart und damit die Kosten für einen Eingriff gesenkt werden können (Schafmayer *et al.*, 2000).

Die teuerste Komponente eines chirurgischen Eingriffs ist die Zeit, die ein Patient in einem Operationssaal verbringt und damit den Saal belegt. So kostet in den USA jede Minute in einem Operationssaal bis zu 30 \$ (Sandberg *et al.*, 2005). In Deutschland beträgt der Satz, mit dem in modernen Operationssälen kalkuliert wird, 16 € pro Minute (Strauß *et al.*, 2007). Das bedeutet, dass bereits bei einer Zeitersparnis von 10 Minuten pro Fall und 380 Fällen eines Eingriffstyps (hier endoskopische funktionelle Nasennebenhöhlenoperation) 60.800 € pro Jahr eingespart werden können. Darüber hinaus bieten sich durch die Integration und das Zusammenführen unterschiedlicher Informationen neue Operationsmöglichkeiten für Eingriffe, die ohne diese technische Unterstützung nicht möglich wären.

3.2.1 Optimierung von Operationsabläufen zur Reduzierung von OP-Zeiten

Als Hauptursachen für Verzögerungen oder Änderungen der Abläufe in einem Operationssaal gelten verspätetes Eintreffen der Patienten, ein durch das OP-Personal verursachter verzögerter Beginn am Morgen, die langen Wechselzeiten und eine Fehleinschätzung der Operationszeit bzw. der Art des Eingriffs (Geldner *et al.*, 2003). Diese Probleme sollen durch ein computergestütztes OP-Management und neue Geräte für die Behandlung behoben werden.

Weiterhin sind die heutigen Operationssäle immer noch zu oft auf die Bedürfnisse früherer Eingriffe zugeschnitten. Die Geräte müssen für den Eingriff in den Saal geschoben und Kabel verlegt werden. Das kann zu unnötigen Zeitverzögerungen beim Auf- und Abbau für den Eingriff führen (Reijnen *et al.*, 2005). Die Eingriffstypen haben sich aufgrund von minimalinvasiven Eingriffen geändert. Durch die Entwicklung von Videoaufsätzen für Endoskope und Laparoskope hat sich der OP-Ablauf während minimal invasiven Eingriffen verändert (Reijnen *et al.*, 2005). Der Chirurg muss nicht wie früher direkt durch die Optik seines Instruments schauen. Stattdessen können er und auch seine Assistenzärzte die intraoperativen Bilder auf Bildschirmen im Operationssaal betrachten (Gallagher und Smith, 2003; Hanna *et al.*, 1998).

Die zu den Videoaufsätzen gehörigen Auswertungseinheiten und Rechner werden in einem Geräteturm im Operationssaal integriert und fest mit den Bildschirmen verbunden. Über einen zentralen Rechner werden alle Informationen gesammelt dargestellt. Das OP-Personal und die Chirurgen können an speziellen Trainingssystemen und Simulatoren den Umgang mit neuen Geräten und Instrumenten trainieren. (Wong *et al.*, 2006; Hsiao *et al.*, 2004; Schafmayer *et al.*, 2002; Marvik *et al.*, 2004, Testi *et al.*, 2007; Gallagher und Smith, 2003).

Die Bildschirme in den neu zu entwerfenden Operationssälen müssen auf Augenhöhe des Chirurgen sein, um einen Winkel von 10 Grad zu erreichen. In diesem Winkel kann gerade bei langen Eingriffen ohne Anstrengung der Nackenmuskulatur auf den Bildschirm geschaut werden. Zusätzlich werden durch mehrere Eingriffe die Anzahl der Kopfbewegungen des Assistenzarztes und der OP-Schwester signifikant reduziert (Reijnen *et al.*, 2005).

Neue Technologien ermöglichen hochaufgelöste Bilder. Zukünftig werden Röntgenquellen, und Computertomographen an Deckenrobotern montiert sein, um sie schnellstmöglich an den Patienten zu bringen, ohne dass dafür Platz am Boden oder direkt am OP-Tisch geschaffen werden muss. Roboter werden als „Haltesysteme von der Decke“ Instrumente halten. Diese Erweiterungen bei zukünftigen Operationssälen werden die Nutzung eines Operationssaals

durch verschiedene Fachdisziplinen ermöglichen, ohne lange Rüstzeiten für den Auf- und Abbau veranschlagen zu müssen (Reijnen *et al.*, 2005).

Durch ein neues OP-Setup konnten die OP Aufbauzeit in Wong *et al.*, 2006, um 38% Prozent von 10,8 Minuten auf 6,7 Minuten gesenkt werden, da keine Gerätewagen und die zugehörige Verkabelung notwendig war. Die Abbauzeit nach dem Eingriff konnte ebenfalls um 46 % von 11,6 Minuten auf 6,3 Minuten gesenkt werden.

In Hsiao *et al.*, 2004, konnte die durchschnittliche Zeit für die Vorbereitung des Patienten und des Operationssaals für eine laparoskopischen, urologischen Eingriff von 17,8 Minuten auf 12,2 Minuten verringert werden (bei n=50 Patienten). Die Gesamtzeit, zwischen dem Eintreffen des Patienten und dem Beginn der Operation konnte von 63,5 Minuten auf 59,6 Minuten reduziert werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.3 dargestellt.

Time Interval*	Dedicated Minimally Invasive Surgery Suite (minutes)	Traditional Operating Room (minutes)
PAT	12.2 ($t = 0.013$)	17.8
AIT	47.5	45.7
TPT	59.6	63.5

*PAT (preanesthesia time) = time elapsed between "in room" and "anesthesia induction;" AIT (anesthesia induction time) = time elapsed between "anesthesia induction" and "surgery start time;" TPT (total preparation time) = time elapsed between "in room" and "surgery start time."

Abbildung 3.3: Durch den computerintegrierten Operationssaal konnte die Vorbereitungszeit von laparoskopischen Eingriffen in der Urologie gesenkt werden. (Quelle: Hsiao *et al.*, 2004)

In Holzner und Bullitta, 2002, wurde ein *Computer Integriertes OP System (SIOS)* für endoskopische Eingriffe in drei Kliniken installiert. Durch das System konnte eine maximale Verringerung der Operations- und Wartezeit für einen Eingriffstyp um 26% erreicht werden. Im Mittel lag die Zeitersparnis bei 5%, was einen zusätzlichen Eingriff pro Tag ermöglichte. Das Einsparungspotenzial lag zwischen 15.000 Euro und 50.000 Euro pro Jahr.

Neben den minimalinvasiven Eingriffen spielt auch bei Eingriffen mit intraoperativer Navigation oder Verwendung von intraoperativen Computertomographen die Integration und das Zusammenarbeiten verschiedener Systeme eine wichtige Rolle. Es werden Systeme vorgestellt, bei denen verschiedene Systeme (CT, Navigation, hybrid imaging-OR-table, Endoskope) in einem sterilen Umfeld integriert sind. Zusätzlich werden neue Konzepte aufgezeigt, um Zeit und Wege zwischen sterilem OP Bereich und normalen Stationen zu verkürzen. Dazu werden beide Bereiche nebeneinander angeordnet und es gibt Türen in den jeweils anderen Bereich. Nur bei bestimmten Situationen (eintreffen eines Notfalls) lassen sich die Türen entsprechend öffnen, um Wege zu verkürzen (Jacob *et al.*, 2007).

Durch die direkte Kombination von intraoperativer Navigation mit intraoperativer Bildgebung (CT, MRT, C-Bogen, Angiograph) werden Abläufe während der Operation

ebenfalls optimiert. Zusätzlich verkürzen sich die Wege und Wartezeiten des OP-Personals und so die Operationssaalbelegung (Cate *et al.*, 2004; Stöckle *et al.*, 2008).

Die Zeitersparnis durch ein computerunterstütztes Navigationssystem wurde im Rahmen einer Studie mit 150 Patienten untersucht (Strauß *et al.*, 2007). Dabei wurde das Navigationssystem bereits während der Entwicklung speziell auf den häufigsten Einsatztyp der HNO-Chirurgie angepasst, die endoskopische funktionelle Nasennebenhöhlenoperation. Es konnte gezeigt werden, dass die Schnitt-Naht-Zeit für die beidseitige FESS in der Gruppe mit Anwendung der Navigation mit durchschnittlich 32,6 (SD 11,2) Minuten signifikant geringer war als in der Vergleichsgruppe mit 42,7 (SD 9,5) Minuten.

Ein wichtiger Vorteil bei der Integration von computergestützten Geräten in einem Operationssaal ist die Platzersparnis durch wegfallende Kabel und Geräte (Alarcon und Berguer, 1996). In dieser Arbeit werden 10 Einsätze von offen chirurgischen und 10 laparoskopischen Eingriffen miteinander verglichen. Dabei werden die zugestellte Fläche sowie die Anzahl der Kabel verglichen, die offen auf dem Boden des Operationssaals herumliegen. Die zugestellte Fläche bei offen chirurgischen Eingriffen beträgt demnach 36% des OPs, während sie bei laparoskopischen Eingriffen 41% beträgt. Die Anzahl der Kabel erhöht sich von 27 bei offenen Eingriffen auf 34 bei laparoskopischen Eingriffen. Zusammenfassend wird festgehalten, dass neue Lösungen für die steigende Anzahl an Geräten und Kabeln gefunden werden müssen, um ein freies und gefahrloses Arbeiten durch das OP-Personal und die Chirurgen zu ermöglichen.

Um die Abläufe in einer Klinik mit mehreren Operationssälen und die dabei anfallenden Kommunikationswege zwischen Operationssälen zu optimieren, sollen computergestützte Systeme helfen, Informationen schnellstmöglich zu verarbeiten und zur Verfügung zu stellen. In Plastes *et al.*, 2004, wurden über einen Zeitraum von 24 Stunden alle Kommunikationen zwischen Schwestern und Ärzten in einem Zentrum mit 6 Operationssälen aufgezeichnet. Dabei wurde klar, dass eine Vielzahl an Informationen anfallen und Informationen auf unterschiedliche Weise ausgetauscht werden (ausgedruckte Dokumente, elektronisch, Whiteboard, verbal). Die Probleme bestanden darin, dass viele Informationen verzögert und zu spät in die Planung der Operationssäle einbezogen werden.

In der Berliner Klinik für Minimal Invasive Chirurgie (MIC) wurde ein Operationssaal mit einem OR1 der Firma Karl Storz ausgestattet. Zusätzlich wurden im Bereich der Logistik, d.h. der Verbrauchsartikel, des Personals und der Patientenbewegungen ein RFID-System installiert, das die Verfolgbarkeit von allen Prozessen der Klinik ermöglicht (Abri *et al.*, 2007). Durch die Einführung moderner Technologien konnte die Zeit zwischen zwei Eingriffen von 35 Minuten auf 16 Minuten reduziert werden. Das ermöglicht der Klinik bei gleicher Mitarbeiterzahl im Operationssaal zwei Eingriffe mehr durchzuführen als vor der Einführung dieser Technologien.

3.2.2 Datenrouting und Verschaltung von bildgebenden Systemen

Durch die zunehmende Anzahl an informationstechnischen Signalen im Operationssaal spielt neben dem direkten Verschalten der Signale auch die Frage der einfachen Umschaltung von bestehenden Verknüpfungen eine wichtige Rolle. Beispielsweise können unterschiedliche Video-Signale während eines Eingriffs auf unterschiedlichen Bildschirmen zu verschiedenen Zeitpunkten der Operation angezeigt oder an automatische Dokumentationssysteme weitergeleitet werden (Nocco, 2007).

In Malarme *et al.*, 2008, wird ein System zum Verschalten von Videosignalen in einem Operationssaal für neurochirurgische Eingriffe vorgestellt. An das System werden die Videosignale eines intraoperativen MRI, eines Navigationssystems, einer PACS Workstation und einem Mikroskop angeschlossen (Abbildung 3.4). Die Signale können auf verschiedenen Bildschirmen im Raum ausgegeben und verschaltet werden. Das System kann über eine kabellose Maus mit integrierten Beschleunigungssensoren bedient werden. Der Benutzer zieht zum Ändern der Verschaltung eines der vorgegebenen Symbole in der unteren Zeile der Oberfläche auf einen der drei Bildschirme in der Mitte des Bildes.

Für die Verschaltung werden Videomatrizen aus dem Konsumerbereich verwendet (Nocco, 2007). Diese können über eine Fernbedienung oder eine eigene Steuerleitung bedient werden. Im städtischen Krankenhaus von Varese, Italien, wurden 20 neue Operationssäle mit Videomatrizen und den angeschlossenen Bildschirmen und Dokumentationssystemen ausgestattet. Die Systeme werden zum einen für die Ausbildung genutzt, indem in mehreren Räumen außerhalb des OP-Saals die Live-Bilder der Operation übertragen und dort von Studenten mitverfolgt werden können. Zusätzlich werden alle Bilder automatisch mit Hilfe von Dokumentationssystemen aufgezeichnet.



Abbildung 3.4: a) Die Benutzeroberfläche der Videoverschaltung des *OR Media Center*. Der Benutzer kann die Eingabesignale in der unteren Zeile mit einer kabellosen Maus auf die drei Bildschirme ziehen und damit die Verbindung in der Matrix umschalten (Quelle: Malarme *et al.*, 2008); b) Schematische Darstellung der Videoverschaltung in einem Operationssaal in Varese, Italien. (Quelle: Nocco, 2007)

Um Bilddaten über bereits vorhandene Kabel versenden zu können, existieren Ansätze, analoge Bildformate zu digitalisieren und über eine vorhandene LAN-Leitung zu versenden. An jedem Bildschirm im Operationssaal wird das Signal wieder in ein analoges Signal umgewandelt und angezeigt. Das System lässt sich daher leicht für bereits existierende Bildschirme und Videoquellen nachrüsten, ohne zusätzlich Videoleitungen zu verlegen, sofern bereits LAN-Leitungen im Operationssaal vorhanden sind (Bellon *et al.*, 2008).

Ein weiteres Beispiel für die Verarbeitung und das Routing von Bildsignalen wird in Hu *et al.*, 2006, vorgestellt. Im Operationssaal sind 4 Videokameras an der Decke montiert. Diese filmen den Operationssaal während der Einschleusung des Patienten sowie während und nach dem Eingriff. Damit sollen OP-Abläufe optimiert werden, um die Operationssäle bestmöglich zu nutzen. Die Signale werden über ein Routingsystem dokumentiert und an vier Standorten im Operationssaal und dessen Umgebung dargestellt, um alle beteiligten Personen

im Operationsbereich bestmöglich zu informieren. Zusätzlich werden die Vitalparameter des Patienten mit den Videosignalen kombiniert und gemeinsam dargestellt.

3.2.3 Experimentelle Operationssäle

Neben der geräte- und informationstechnischen Integration und Verschaltung von computergestützten Systemen gehört auch die richtige Planung der Gebäudeinfrastruktur zu den Herausforderungen bei der Entwicklung von modernen Operationssälen (Radke und Grundmann, 2000; Weiss *et al.*, 2002). Die Gebäudeinfrastruktur muss den nötigen Raum für Entwicklungen wie mobile Tomographen und Operationstische bieten. Zusätzlich müssen separate Kontrollräume und die zugehörige Verkabelung für moderne bildgebende Systeme bereits in der frühen Planungsphase berücksichtigt werden (Matsumae *et al.*, 2008; Jacob *et al.*, 2000; Fecht, 1999; Murayama *et al.*, 2006; Mansour, 1999; Lipson *et al.*, 2001).

In Apuzzo und Weinberg, 1993, wurde bereits Anfang der 90er Jahre ein experimenteller Operationssaal speziell für neurochirurgische Eingriffe vorgestellt.

Die OP-Umgebung bestand dabei aus folgenden Komponenten:

1. Einem großen Operationssaal mit zwei großen Bildschirmen und einem an der Decke montierten Mikroskop.
2. Einem Lagerraum direkt neben dem OP, um alle notwendigen Geräte und Instrumente schnell zur Verfügung zu haben.
3. Einem eigenen Raum für Visualisierungen, Stereotaktische Instrumente, Planung anhand von Bilddaten, Simulationen und Dokumentation.

Ein weiteres Konzept für einen speziell entworfenen und an den klinischen Workflow angepassten Operationsbereich wurde in Sandberg *et al.*, 2005, und Sandberg, 2004 vorgestellt. Es besteht aus einem neuen Design eines Operationssaals und des Anästhesie-Workflows, um den Patientendurchlauf zu optimieren.

Der Operationskomplex besteht aus 3 Bereichen:

1. Dem Vorbereitungsraum für den Patienten (Lagerung auf dem OP-Tisch, vaskuläre Zugänge, usw.),
2. einem Aufwachbereich und die nachgelagerte medikamentöse Versorgung und
3. dem eigentlichen OP-Saal.

Der Operationssaal ist mit einem OR1 der Firma Karl Storz Endoskope vollständig für endoskopische Eingriffe eingerichtet. Der neue Anästhesieworkflow sieht vor, dass durch die Nähe des Aufwachbereichs und des Operationssaals die Übergabe an das Anästhesiepersonal bereits während der letzten Phase des Eingriffs erfolgt, um so Zeit zu sparen. Während der eine Patient aus dem Saal gebracht wird, ist der nächste aufgrund der verwendeten, rollbaren OP-Tische bereits vorbereitet und wird aus dem Vorbereitungsraum in den OP gefahren. Dadurch konnte die Zeit im Operationssaal, in der nicht operiert wird (normale Vorbereitung, Anästhesie im OP, Auf- und Abbau), von 67min auf 38 min reduziert werden.

Abbildung 3.5 zeigt den Aufbau des neu geschaffenen Operationsbereichs. Die Wege des Patienten sind entsprechend eingezeichnet. Im unteren rechten Teil des Raums befindet sich ein separater Kontrollraum, in dem alle computergestützten Systeme kontrolliert und Bilddaten visualisiert werden können.

Zu einer Automatisierung der Prozesse in zukünftigen Operationssälen gehört auch die Integration von intelligenten Haltesystemen und Robotern. Diese Systeme übernehmen die Aufgaben von Teilen des OP-Personals und der Assistenzärzte (Satava, 2003).

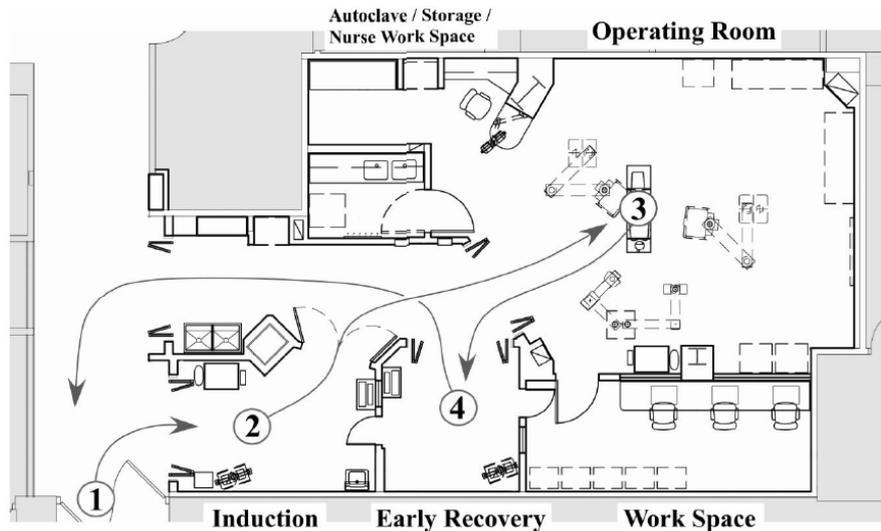


Abbildung 3.5: Durch ein spezielles OP-Design und einen neuen Workflow in der Anästhesie können Patienten effizienter im eigentlichen Operationssaal behandelt werden. (Quelle: Sandberg *et al.*, 2005)

Abbildung 3.6 zeigt den Plan für den weltweit ersten Operationssaal, in dem ein intraoperatives MRT und ein CT installiert wurden. Die beiden Räume für den Magnet-Resonanz Tomographen und den Computertomographen grenzen direkt an einen großen Operationssaal, in dem der Patient über einen speziellen Tisch in beide Räume gefahren werden kann.

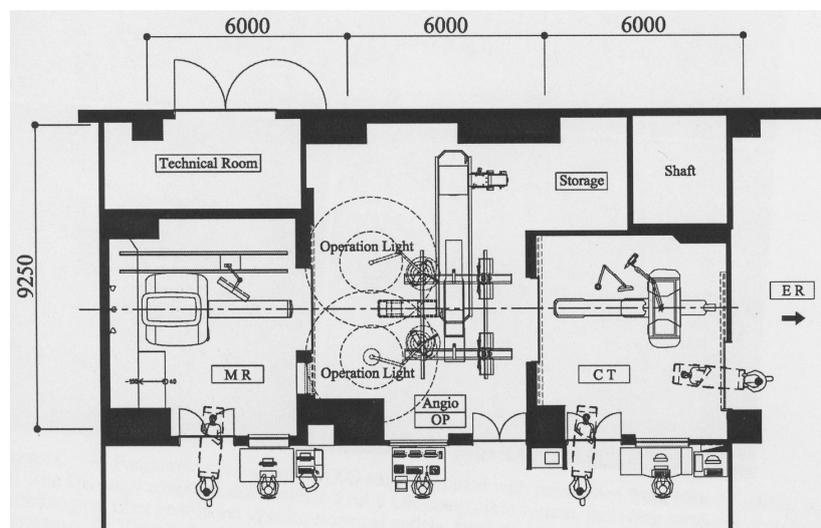


Abbildung 3.6: Entwurf eines OP-Saals, in dem ein intraoperatives MRT und ein intraoperatives CT in den benachbarten Räumen installiert sind. Der Patient kann über einen beweglichen Tisch in die beiden Räume gefahren werden. (Quelle: Matsumae *et al.*, 2008)

Neben dem Ansatz, für den Magnet-Resonanz-Tomographen einen eigenen Raum vorzusehen, in den der Patient während des Eingriffs für die Aufnahme von Kontrollbildern geschoben wird, gibt es Ansätze, die Magneten an Deckenkonstruktionen zu befestigen und in den Operationssaal zu fahren. Der Vorteil dieser Anwendung ist, dass der Patient nicht zusätzlich mobilisiert werden muss, um zum Tomographen zu gelangen.

Demgegenüber steht der Nachteil, dass für die Aufnahme alle magnetischen Teile aus dem Operationsfeld entfernt werden müssen. Dazu werden am Boden des Operationssaals Markierungen angebracht, hinter denen alle magnetischen Teile für diesen Zeitraum gelagert werden müssen.

Die Deckenkonstruktion zum Verfahren und der Magnet-Resonanz-Tomograph selbst werden aus einem eigenen Kontrollraum gesteuert. Der Magnet ist so befestigt, dass er zwischen zwei Räumen, einem Operationssaal und einem Untersuchungsraum, bewegt werden kann. Die aufgenommenen intraoperativen Bilder können direkt in ein Navigationssystem eingelesen und für eine intraoperative Navigation genutzt werden. Dazu ist eine stereotaktische Kamera an einem Haltearm an der Decke des Operationssaals befestigt (McDermott, 2001; Jolesz, 2001; McDermott, 2001; Hushek *et al.*, 2008).

3.2.4 Anforderungen an zukünftige Operationssäle

Es gibt eine Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen, die sich mit dem Entwurf und den technischen Anforderungen an einen zukünftigen Operationssaal beschäftigen. Demnach wird sich der Einfluss von integrierten, computerunterstützten Systemen in allen Bereichen der Chirurgie positiv auswirken. In der Diagnose und Planung von Eingriffen können aufgrund neuer Bildverarbeitungsalgorithmen Strukturen präziser und in 3D dargestellt werden. Intraoperativ erleichtern Navigation, Robotik und Telemedizin die Eingriffe und den Austausch mit anderen Chirurgen und Ingenieuren. Während der Nachuntersuchung können anhand der präziseren Bilddaten vor und nach dem Eingriff bessere Aussagen über den Erfolg einer Operation getroffen werden (Marescaux *et al.*, 2002).

Im März 2004 fand ein Workshop in Maryland (USA) statt, an dem mehr als 100 Teilnehmer aus den Ingenieurwissenschaften, der Medizin und von Medizintechnikfirmen teilnahmen. Die Ergebnisse des Workshops wurden in zwei Publikationen festgehalten (Cleary *et al.*, 2004; Cleary, 2005).

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Es müssen Gerätestandards (Spezifikation) für die Geräte im Operationssaal über alle Hersteller hinweg entwickelt und definiert werden, um eine Integration verschiedener Systeme im Operationssaal zu ermöglichen, bei denen jedes Gerät auch durch Geräte anderer Hersteller ersetzt werden kann.
2. Für die Vernetzung von Geräten im Operationssaal und um damit einen freien Datenaustausch zu ermöglichen, müssen Schnittstellen definiert werden, über die Geräte miteinander verbunden werden können. Die Vernetzung soll dabei wie bei normalen PC-Anwendungen und deren Hardwarekomponenten auf dem Plug-and-Play Prinzip basieren.
3. Die Medizinrobotik wird als wichtiger Bestandteil eines zukünftigen Operationssaals gesehen. Weitere Forschung sollte dahin gerichtet sein, die Roboter zu verbessern und

optimal in den klinischen Workflow einzubinden. Erst dann bedeuten Assistenzroboter eine Erleichterung und Unterstützung für das OP-Personal.

4. Durch weiterentwickelte, eingriffsspezifische Bildaufnahmemodalitäten und Betrachtungssysteme (3D-Bildschirme, Virtuelle Realität) soll die Interpretation von Bilddaten verbessert werden.
5. Durch neue Kommunikationstechnologien sollen Chirurgen während eines Eingriffs mit anderen Ärzten und Ingenieuren diskutieren können. Dazu müssen spezielle Protokolle definiert werden. Zusätzlich sollen durch Simulatoren das Training und die Ausbildung für einen Eingriff weiter verbessert werden.

Ein weiteres Beispiel für Anforderungen an einen Operationssaal der Zukunft (ORF-Operation Room of the Future) findet sich in Satava, 2003. Dort werden die allgemeinen Anforderungen wie folgt beschrieben:

1. Alle Materialien und Geräte müssen in die OP-Infrastruktur integriert sein. Das bedeutet sowohl eine mechanische als auch eine informationstechnische Integration.
2. Die Prozesse müssen optimiert und ebenfalls in die neue Infrastruktur integriert werden, d.h. Prozesse werden automatisiert oder unterstützt.
3. Alle Prozesse und Geräte sollen standardisiert sein.

Neben der Integration von Geräten spielen auch die Forschung und Entwicklungen in den Bereichen der Instrumente und Algorithmen eine wichtige Rolle für zukünftige Operationssäle (Rattner und Park, 2003).

Dort werden die Anforderungen wie folgt formuliert:

1. Die Entwicklung von intelligenten Instrumenten muss vorangetrieben werden.
2. Eine Einblendung von Computerdaten in echte Bilddaten muss den Chirurgen standardmäßig intraoperativ unterstützen (*Augmented Reality*).
3. Die generierten Daten von allen Informationsquellen, die während einer Operation aufgenommen werden, müssen automatisch abgespeichert werden.
4. Der Chirurg soll bei der Planung eines Eingriffs durch intelligente Algorithmen für die automatische Bildverarbeitung und Segmentierung unterstützt werden.
5. Es muss ein einheitlicher Standard für alle Geräte im Operationssaal definiert werden, damit alle Geräte miteinander kommunizieren und Daten austauschen können (Plug-and-Play).

3.3 Bedienkonzepte und Eingabegeräte

Für die Bedienung und Steuerung der medizinischen Geräte im Operationssaal existieren verschiedene Eingabegeräte. Neben den klassischen Geräten wie Computermaus und Tastatur werden besonders für die Bedienung im sterilen Umfeld Systeme eingesetzt, die direkt vom Chirurgen steril verwendet werden können. Dazu zählen hauptsächlich Touchbildschirme, die an der Decke des Operationssaals montiert sind und die mit einer sterilen Tüte abgedeckt

werden. Auf den Bildschirmen wird die spezifische Benutzeroberfläche eines Systems angezeigt und der Chirurg kann Bedienelemente mit dem Finger anwählen. In Abbildung 3.7 ist eine Bedienoberfläche für endoskopisches Equipment dargestellt, das auf einem solchen Touchbildschirm angezeigt wird (Wong *et al*, 2006).



Abbildung 3.7: Benutzeroberfläche eines endoskopischen Operationssaals der Firma Olympus. Neben dem Livebild und der Anzeige verschiedener Vitalparameter kann der Chirurg auf der linken Seite der Software die OP-Infrastruktur steuern (Wong *et al.*, 2006).

Es ist zu erkennen, dass neben den endoskopischen Bildern im rechten Teil der Oberfläche sehr viele Informationen wie die Vitalparameter oder Informationen über Motordrehzahlen und abgesaugte Volumen angezeigt werden. Im linken Teil der Oberfläche werden Einstellungen der OP-Umgebung wie Lichthelligkeit oder Parameter des Operationstisches angezeigt. Dazu werden sehr viele Knöpfe und Symbole verwendet, die ein intuitives Bedienen durch den Chirurgen behindern können.

Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von medizinisch genutzter Software ist die Bedienbarkeit einer Anwendung durch den Chirurgen oder das OP-Personal. Dabei müssen die Benutzeroberflächen so angelegt sein, dass sie einfach und schnell von geschultem Personal auch in Stresssituationen bedient werden können. Die Software darf den Operationsablauf dabei nicht behindern und verzögern (Wahrburg, 2002; Eisenberg, 1993; Visarius *et al*, 1997; Friesdorf und Göbel, 2002).

Um Software oder Geräte unabhängig von Touchbildschirmen bedienen zu können, existieren spezielle Eingabegeräte, die von einem Hersteller eines Gerätes entwickelt und auf die Bedürfnisse des jeweiligen Gerätes angepasst sind. In Abbildung 3.8a ist ein speziell für Mammographiegeräte entwickeltes Eingabegerät der Firma *SASSE Elektronik GmbH* zu sehen. Es besteht lediglich aus fest programmierten Knöpfen, über die die verschiedenen Funktionen eines Mammographiegeräts gesteuert werden können.

In Abbildung 3.8b ist ein Eingabegerät der Firma *General Electric* dargestellt, das über einen Touchscreen und einen integrierten Joystick verfügt. Das Eingabegerät kann in den Operationstisch der Herstellerfirma eingeklickt und zur Steuerung von Röntgensystemen und der Dosierung von Kontrastmitteln verwendet werden.



Abbildung 3.8: Mammo-Keypad (Quelle: SASSE Elektronik GmbH, 2008); b) InnovaCentral, Eingabegerät mit Touchscreen und Joystick (Quelle: General Electric, 2008).

Für die Manipulation von dreidimensionalen Bilddaten werden im klinischen Umfeld 6D-Mäuse verwendet, die ursprünglich für den Design- und Entwicklungsprozess von CAD-Anwendungen bestimmt waren. Diese 6D-Mäuse werden mit Hilfe einer sterilen Tüte abgedeckt und können direkt vom chirurgischen Personal benutzt werden (Markert *et al.*, 2006)



Abbildung 3.9: Eine 6D-Maus zur Manipulation von 3D-Daten (Quelle: 3dconnexion); b) Sprachsteuerung über ein Mikrophone (Quelle: Richard Wolf, 2008).

In vielen kommerziellen Systemen (*ORI*, *EndoALPHA*, *Core*) werden Sprachsteuerungen verwendet, um durch Menüs einer Software zu navigieren oder um Funktionen eines Gerätes auszuwählen (Schafmayer *et al.*, 2000). Diese Form der Steuerung erfordert eine Spracherkennung, die speziell auf die Bedürfnisse optimiert ist. So müssen die Spracherkennungsalgorithmen auf die Raumgröße und die Schallbedingungen angepasst werden. Sie müssen trotz einer eventuellen Verfremdung der Stimme durch eine Gesichtsmaske die Befehle identifizieren und ein bestimmtes Vokabular aus dem klinischen Umfeld unterstützen.

In Hansen *et al.*, 2008, wird eine intraoperative Durchführung einer Planungsanpassung bei leberchirurgischen Eingriffen vorgestellt. Damit der Chirurg mit einer Planungsstation außerhalb des sterilen Bereichs interagieren kann, wird eine *Wiimote* der Firma *Nintendo* verwendet. Das Eingabegerät besitzt mehrere Knöpfe für die Auswahlfunktionalitäten. Die Bewegung des Bediensystems wird über Infrarotdioden am Bildschirm der Planungsstation und eine Infrarotkamera in der Bedienkonsole realisiert. Die Kommunikation zur Übermittlung von Knopfbetätigungen an der Bedienkonsole erfolgt über Bluetooth.

Um die Software eines Navigationssystems aus dem sterilen Umfeld zu bedienen, wurden Mitte der 90er Jahre virtuelle Keyboards entwickelt. Sie bestanden aus einer dünnen Unterlage mit aufgemalten Symbolen und Knöpfen. An der Unterlage waren optische Reflektoren befestigt, über die die Lage des Bretts durch das optische Positionsmesssystem bestimmt werden konnte. Berührte der Chirurg mit einem beliebigen, navigierten Instrument einen Punkt auf dem Brett, wurde das von der Software erkannt und die für diesen Berührungspunkt vorher definierte Aktion am Navigationssystem ausgeführt (Visarius *et al.*, 1997).

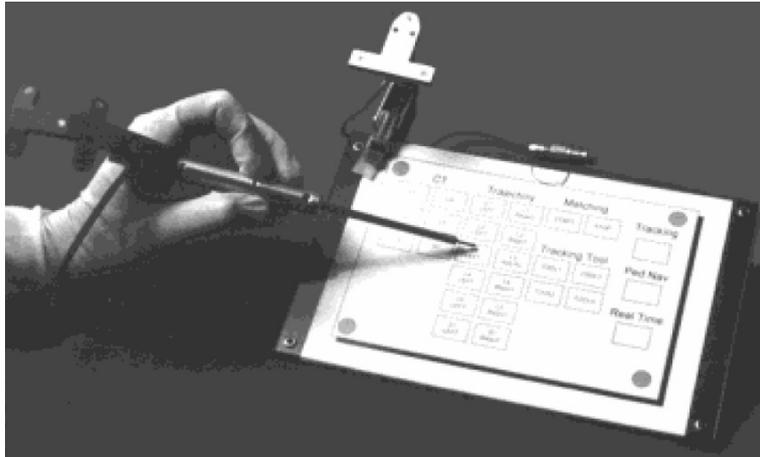


Abbildung 3.10: Ein navigiertes, virtuelles Keyboard, das mit jedem navigierten Instrumente bedient werden kann, indem die Spitze des Instruments auf eine vorgegebene Position auf dem Brett gehalten wird. (Quelle: Visarius *et al.*, 1997)

Eine weitere Form der Steuerung und Bedienung von medizinischen Geräten ist die Gestenerkennung, die allerdings bisher noch nicht den Status einer Produktreife erreicht hat. Bei der Gestenerkennung wird der Chirurg von mehreren Kameras intraoperativ gefilmt und aus den Bewegungen der Hände, der Blickrichtung oder der verwendeten Instrumente werden Rückschlüsse auf die derzeitige Handlung und die wohl als nächste auszuführende Interaktion mit einem Geräten gezogen (Grange *et al.*, 2004; Graetzel *et al.*, 2003).

3.4 Standardisierung in der Medizintechnik

Im Jahr 1982 wurde in den USA eine Kommission zur Definition eines Kommunikationsstandards ins Leben gerufen, die sich mit der Standardisierung der Kommunikation von Geräten des Anästhesiebereichs und den an den Patient angeschlossenen Geräten befasste. Sie bestand aus einer Vereinigung von Kliniken, Medizintechnikfirmen und Forschungseinrichtungen. Das Ergebnis dieser Kommission war der *IEEE1073 Medical Information Bus (MIB)*. Er beinhaltete Vorgaben für den Datentransfer unterschiedlicher Medizinprodukte (Glass, 1998; Taboada *et al.*, 1997a; Taboada *et al.*, 1997b). Dieser Standard wurde jedoch aufgrund unterschiedlicher Interessen der beteiligten Personen nicht in Medizinprodukte und damit in die klinische Routine überführt (Goldmann *et al.*, 2005).

Auch heute wird in verschiedenen Kommissionen und Forschungseinrichtungen an neuen Standards für den Informationsaustausch gearbeitet. Das *Center for Integration of Medicine & Innovative Technology (CIMIT, USA)*, entwickelt Lösungen für *Plug-And-Play* Anwendung vergleichbar den kommerziellen Computersystemen (Goldmann *et al.*, 2005; Whitehead and Goldman, 2008). Dazu werden in einer ersten Phase unterschiedliche Anwendungsszenarios definiert, in denen unterschiedliche Geräte miteinander verknüpft werden sollen, um im Anschluss daran Lösungen für diese Szenarios zu entwickeln.

Am *Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS, Leipzig)* wird mit dem *Therapy Imaging and Model Management System (TIMMS)* an neuen Konzepten für eine Schnittstellen und Prozessmodellierung von klinischen Prozessen gearbeitet (Bohn *et al.*, 2008; Lemke und Berliner, 2007; Lemke und Vannier, 2006)

Der heute verbreitetste Standard in der Medizintechnik ist der DICOM-Standard. Er wurde Mitte der 80er Jahre vom *American College of Radiology (ACR)* und der *National Electrical Manufactures Association (NEMA)* für den Austausch von radiologischen Bilddaten entwickelt und wird heute von allen kommerziellen, bildverarbeitenden Systemen unterstützt (McNeill *et al.*, 1990; Bidgood und Horii, 19992; Horii und Bidgood, 1992). Neben Vorgaben für den Austausch von Bilddaten beinhaltet der DICOM-Standard auch Richtlinien für das Datenformat und die abzuspeichernden Informationen (Patientendaten, Informationen über das Aufnahmegerät, Bildformat und Bildtyp, usw.).

Ein weiterer Standard im Gesundheitswesen ist der *HL7 (Health Level Seven)* Standard. Er wird für den Austausch von administrativen Dokumenten und Nachrichten im Gesundheitswesen verwendet (Heitmann, 2006; Smith und Ceusters, 2006). Der Standard basiert auf dem *ISO-OSI-Referenzmodell* und beschreibt die Kommunikationsinhalte und Austauschformate auf der Anwendungsebene. Dabei sind die Kommunikationslösungen unabhängig von der verwendeten Software oder der zu Grunde liegenden Hardware.

Neben den vorgestellten Standards existieren verschiedene Lösungen und Patente von Medizintechnikherstellern, die sich auf die Verschaltung und den Datenaustausch von Medizinprodukten beziehen. Beispiele hierfür sind der *Storz Communication Bus (SCB)*, der auf einem CAN Bus basiert und für die Verschaltung von Geräten der *Firma Karl Storz Endoskope* verwendet wird (Czupor und Meyer, 2007). Ein weiteres Beispiel ist die Verschaltung von Videosignalen und Steuergeräten über einen zentralen Steuerrechner innerhalb eines Netzwerks der Firma *BrainLAB* (Bauch *et al.*, 2007).

3.5 Computer-Integrierte Klinik

In vielen Kliniken werden bereits seit vielen Jahren elektronische Informationssysteme, sogenannte *Krankenhausinformationssysteme (KIS)*, verwendet. Dabei kommen verschiedene Systemarchitekturen zur Anwendung (Ball und Boyle, 1980; Zviran, 1990). Es können Systeme implementiert werden, die für verschiedene Abteilungen der Klinik Insellösungen darstellen und zwischen denen kein Datenaustausch stattfindet. Weiterhin können vernetzte Systeme eingesetzt werden, bei denen über definierte Schnittstellen Informationen ausgetauscht werden können (Sunyaev *et al.*, 2006).

Die Hauptprobleme bei Informationssystemen in Kliniken liegen in der verteilten Anwendung durch eine große Benutzergruppe mit unterschiedlichen Absichten. Während sich Ärzte und Pflegepersonal für die Ergebnisse von Untersuchungen interessieren, müssen Daten für die Verwaltung und die Klinikleitung in einer anderen Form dargestellt werden (Seelos, 1993). Dort müssen entstandene Kosten bei Untersuchungen, Liegezeiten, usw. berücksichtigt werden. In Kuhn *et al.*, 1999 wurden diese Anforderungen an ein Krankenhausinformationssystem herausgearbeitet und als Vorgabe für die Einrichtung eines Informationssystems in einem Universitätsklinikum herangezogen.

Der Schwerpunkt bei derartigen Informationssystemen liegt meist auf der digitalen Dokumentation und Archivierung von Patientendaten. Dazu werden die verschiedenen Informationen (Persönliche Informationen, Gesundheitsakte, Befundungen) zu jedem

Patienten in digitaler Form aufgezeichnet und auf einem Datenbanksystem abgelegt. Für die Anwendung der Daten in unterschiedlichen Applikationen der Klinik wird in Schweiger *et al.* (2007) und Schweiger *et al.* (2005) ein Konzept der *active medical document (AMD)* verwendet, in dem die Daten je nach Anwendung und den Benutzeranforderungen in unterschiedlichen Ansichten dargestellt werden können. Damit ist es möglich, dass verschiedene Softwareagenten in einer Klinik über normale Webdienste auf die gleichen Daten zugreifen und sie entsprechend den aktuellen Anforderungen visualisieren können. In Abbildung 3.11 ist der schematische Aufbau der Patientendokumentation und deren Integration in die Klinik dargestellt.

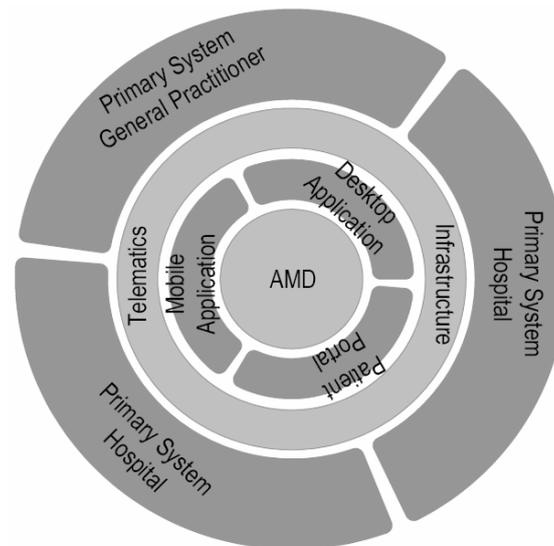


Abbildung 3.11: Die Dokumentation (*Active Medical Document, AMD*) in der Mitte kann über normale Webdienste von verschiedenen Anwendungen der Klinik verwendet werden (Quelle: Schweiger *et al.*, 2007).

Neben der Dokumentation der Patientendaten wurden computerunterstützte Systeme dazu entwickelt, den Datenaustausch zwischen verschiedenen Abteilungen bei zeitkritischen Prozessen zu optimieren (Procter und Brown, 1997). Es wurde ein computergestütztes Informationssystem implementiert, das es dem Chirurgen während eines Eingriffs ermöglicht, Anfragen bezüglich Gewebeproben in ein Computerterminal im Operationsaal einzutippen. Das System druckte dann einen Barcode aus, der auf die Box der Gewebeprobe geklebt wurde, bevor sie ins Labor kam. Dort wurde mit einem Lesegeräte die Anfrage im System zugeordnet und das Ergebnis der Untersuchung direkt in das Computersystem eingeben. Sobald das Ergebnis vorlag, wurde der Chirurg durch das Computersystem im Operationsaal über die Resultate informiert.

3.6 Multi-Agenten-Systeme

In den folgenden Abschnitten werden Methoden und Systeme vorgestellt, die unabhängig vom Bereich der Medizintechnik in den letzten Jahrzehnten entwickelt wurden und deren Anwendung auch auf den Bereich des Computer Integrierten Operationsaal vorstellbar sind. Dazu zählen zum einen Ansätze aus der autonomen Robotik, bei der einzelnen Systeme unabhängig voneinander Aufgaben lösen und damit zu einem Gesamtergebnis beitragen. Weiterhin sollen Beispiele für die Computer-Integrierte Fertigung sowie Entwicklungen von Feldgeräten als Basis für die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze dienen.

Ein technisches Multi-Agenten-System setzt sich aus mehreren technischen Agenten zusammen. Dabei sind Agenten als unabhängige, informationstechnische Einheiten zu sehen, die ihre individuellen Ziele definieren und verfolgen. Man spricht von einem technischen Multi-Agenten-System, wenn sich ein komplexes System aus mehreren technischen Agenten zusammensetzt oder in dem mehrere technische Agenten aktiv sind (Lüth, 1998; Wang *et al.*, 2003).

In einem Multi-Agenten System reagieren und agieren die Agenten abhängig von Informationen, die sie von anderen Agenten empfangen. Die Agenten nutzen dazu ihr Wissen über ihre lokale Umgebung und ihre internen Regeln, um zu entscheiden, ob sie für ein globales Problem zuständig sind und reagieren entsprechend. Die Agenten haben nur begrenztes Wissen über ihre lokalen Aufgaben (Maturana und Norrie, 1996). In Abbildung 3.12 ist der Aufbau eines Agenten schematisch dargestellt. Er besitzt eine Schnittstelle zur Kommunikation mit anderen Agenten oder Sensoren/Aktoren sowie verschiedenen Modulen zum Lernen und Nachschlagen von bereits vorhandenem Wissen. Zentral wird jeder Agent von einem Mikrocontroller oder PC gesteuert, auf dem die Programme zur Erfüllung der Aufgaben eines Agenten ablaufen.

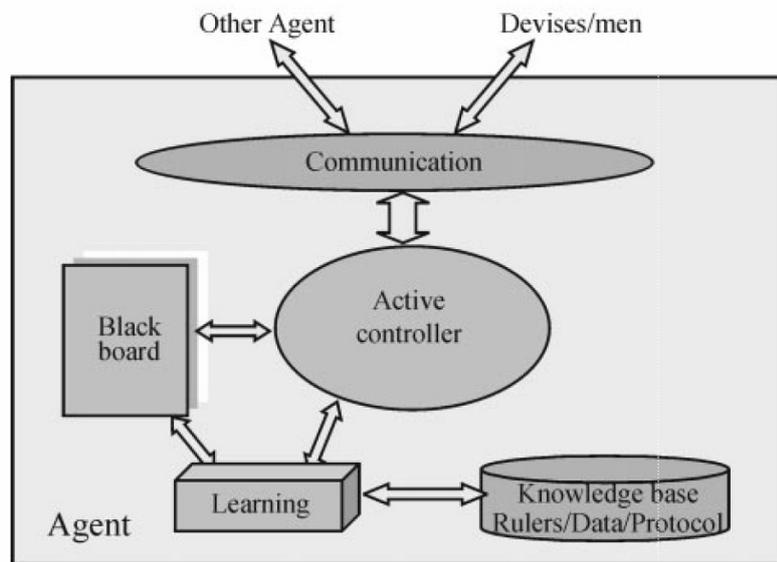


Abbildung 3.12: Aufbau eines Agenten mit einer lokalen Regel- und Wissensdatenbank, die für die Erledigung der eigenen Aufgaben erforderlich sind (Quelle: Wang *et al.*, 2003).

Während der Kommunikation werden die Aufgaben und Informationen an die einzelnen informationstechnischen Agenten nicht direkt von einem Informationslieferanten an den nächsten gesendet. Stattdessen sind alle Agenten an ein Kommunikationsnetzwerk dauerhaft oder zeitweise angeschlossen, über das Informationen und Nachrichten ausgetauscht werden. Hierfür wird das Kommunikationsnetzwerk in zwei Teilnetze unterteilt.

Das *Internetz* verbindet unterschiedliche Agenten miteinander. Das zweite Netzwerk, das *Intranetz*, ermöglicht die informationstechnische Verbindung der Komponenten innerhalb eines Agenten (Abbildung 3.13, Lüth, 1998). Bei dieser Form der Kommunikation ist kein Agent dem anderen untergeordnet und alle Agenten haben die gleichen Rechte, Daten und Informationen zu verwenden und weiterzugeben. Abbildung 3.12 zeigt den Aufbau eines Agenten mit einer lokalen Regel- und Wissensdatenbank, die für die Erledigung der eigenen Aufgaben erforderlich sind (Wang *et al.*, 2003).

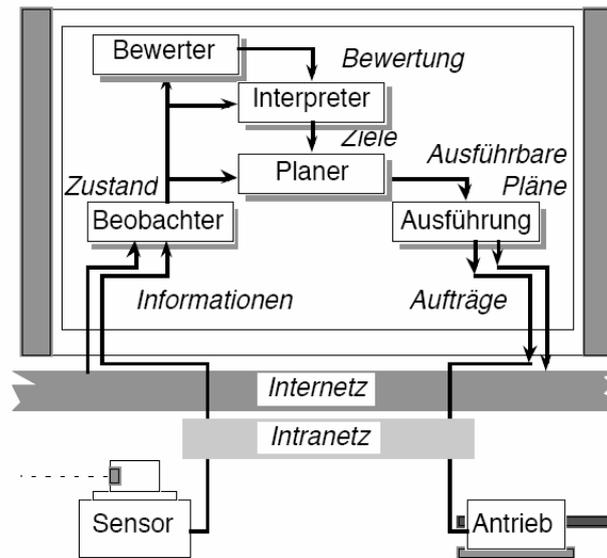


Abbildung 3.13: Aufbau und informationstechnische Vernetzung von technischen Agenten im Bereich autonome Roboter (Quelle: Lüth, 1998).

Innerhalb eines Multi-Agenten Systems wird ein technischer Agent durch drei grundsätzliche Fähigkeiten bzw. Eigenschaften klassifiziert (Lüth, 1998):

- *Optimieren von Prozessen:* Jeder Agent innerhalb des Netzwerks versucht die eigenen Prozesse abhängig von den eigenen Zielen und den Zuständen der übrigen Agenten zu optimieren. Er verwendet dazu Sensoren, Informationen der anderen Agenten oder einer Wissensdatenbank.
- *Autonomes Verhalten:* Durch das unabhängige Definieren und Verfolgen seiner Ziele werden Wünsche oder Anfragen aufgrund der aktuellen Zustände oder interner Bewertungen des Agenten an das Gesamtsystem und damit an die übrigen Agenten formuliert.
- *Beherrschung von Interaktionen:* Die einzelnen Agenten tauschen ihre Informationen und Anforderungen im Sinne einer Dienstgeber-Dienstnehmer-Beziehung miteinander aus. Zusätzlich zu dem informationstechnischen Austausch können auch physikalische Teile in einem Multi-Agenten-System übergeben werden. Daher werden die Interaktionen in zwei Klassen von Interaktionen untergliedert (Lüth, 1998).
 - Die informationstechnische (symbolische) Interaktion, bei der Informationen zwischen Agenten ausgetauscht oder durch mehrere Agenten verändert werden, und
 - die prozesstechnische (physikalische) Interaktion, bei der Energie oder Stoffe zwischen Agenten ausgetauscht oder durch mehrere Agenten verändert werden.

Um Konflikte zwischen technischen Agenten in einem Multi-Agenten System zu erkennen, werden eigene Agenten (*Mediatoren*) eingesetzt. Dabei kann ein Mediator auf verschiedenen Ebenen des Systems wirken. Er kann entweder globales Wissen über das Gesamtsystem besitzen oder nur lokal für einige Bereiche des Systems verantwortlich sein (Maturana und Norrie, 1997). Abbildung 3.14 zeigt den Aufbau eines Multi-Agenten-Systems als eine

hierarchische Baumstruktur, in der sowohl ein globaler Mediator (*Template Mediator*) als auch lokale Mediatoren (*Active Mediator (AM)*) zu erkennen sind.

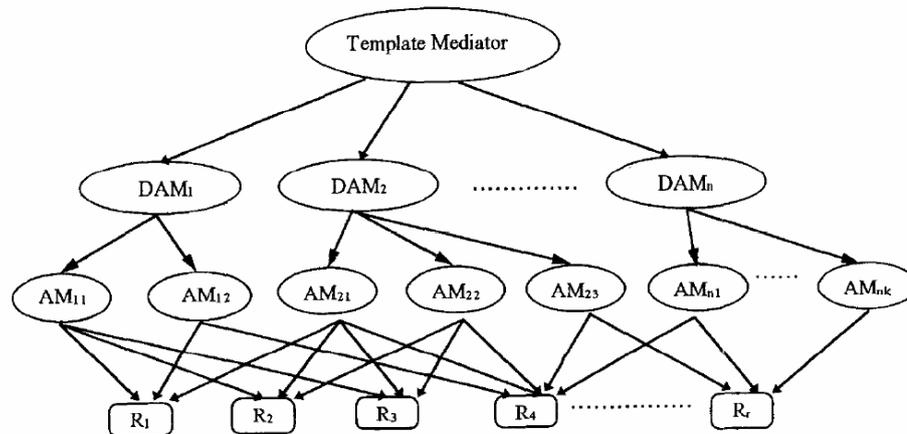


Abbildung 3.14: Ein hierarchisches Multi-Agenten-System, bei dem die Fehlerbehandlung und die technischen Agenten getrennt sind und die Kommunikation durch Mediatoren geregelt wird (Quelle: Maturana und Norrie, 1996).

In Odrey und Mejia, 2003, wird ein hybrides, hierarchisches Multi-Agenten-System vorgestellt, das aus drei Ebenen besteht. Zwischen den Agenten für die Produktion und den Agenten für die Fehlerbehandlung werden Mediatoren für die Kommunikation verwendet. Die Mediatoren haben die Aufgabe, Daten und Informationen zwischen den beiden äußeren Schichten zu filtern und weiterzuleiten. Alle drei Agententypen sind eigenständige, voneinander unabhängig handelnde Agenten. Es ist eine Kombination aus geordneten hierarchischen Systemen und einem agenten-basierten System, das schnell reagieren kann.

Im Vergleich zu ähnlichen Systemen sind die Fertigungsagenten hier unabhängig und treffen Entscheidungen bzgl. der Produktion selbst. Die Diagnose und Fehlerbehebung werden an spezielle Agenten übergeben. Dadurch ist das System einfach re-konfigurierbar, Agenten können auf beiden Seiten hinzugefügt und verändert werden. Design und Fehlerbehandlung können auf einem unterschiedlichen Abstraktionslevel stattfinden, da keine direkte Verbindung zwischen beiden besteht (Abbildung 3.15).

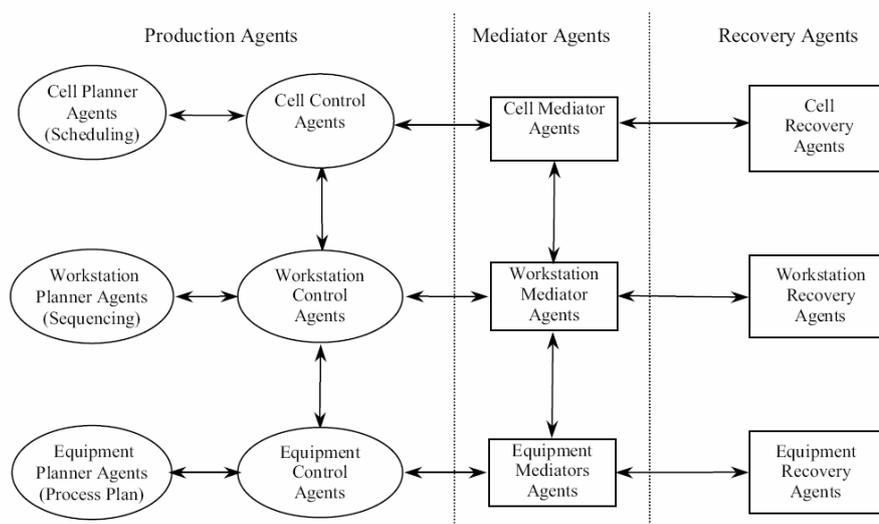


Abbildung 3.15: Aufbau eines Multi-Agenten-Systems mit Mediator Agenten für unterschiedliche Klassen von Agenten (Quelle: Odrey und Mejia, 2003).

Ein weiterer Ansatz zur Konfliktlösung in Multi-Agenten-Systemen mit Mediatoren ist der Einsatz eines zentralen Agenten, der die Aktivitäten der einzelnen Agenten überwacht und bei Bedarf eingreift. Daten werden hierbei nicht zentral ausgetauscht, sondern direkt von einem Agenten zum nächsten weitergeleitet. Bei Problemen oder Konflikten wird ein zentraler Konfliktlöser eingeschaltet (Mahesh *et al.*, 2007).

Um Daten zwischen einzelnen Teilkomponenten eines Multi-Agenten-Systems auszutauschen, werden, wie in den vorherigen Abschnitten erwähnt, Kommunikationsnetzwerke verwendet, über die technische Agenten ihre Daten miteinander austauschen können. Eine weitere Form der Kommunikation und des Datenaustauschs ist eine zentrale Ablagestelle für Daten und ein elektronisches Blackboard für Informationen. Die einzelnen Teilnehmer legen an einem definierten Ort die Daten ab und melden Probleme an das elektronische Blackboard. Dort kann jeder Teilnehmer die Probleme abrufen und Beiträge zur Lösung ablegen (Tan *et al.*, 1996).

Um Multi-Agenten-Systeme bezüglich ihrer Auslastung und Performance bewerten zu können, werden Bewertungskriterien verwendet. Es wird jedem Agenten ein Maß zugeordnet, das z.B. beschreibt, wie effizient und unter Verwendung welcher Ressourcen er eine Aufgabe erledigt hat. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie die Agenten im Gesamtsystem zusammenarbeiten und wie ihre erbrachten Leistungen in die Gesamtbewertung des Systems eingehen (Sikora und Shaw, 1998):

1. *Competitive Synthesis*: Alle Agenten haben die gleiche Aufgabe und das Bewertungskriterium für das Gesamtsystem ist das Maximum der einzelnen Kriterien, da nur das Ergebnis des besten Agenten für das Gesamtsystem verwendet wird.
2. *Additive Synthesis*: Das Gesamtmaß ist die Summe der einzelnen Teilmaße. Alle Agenten arbeiten an einem eigenen Teilproblem und ihre Summe bestimmt die Ausgabe des Gesamtsystems.
3. *Cooperative Synthesis*: Das Gesamtmaß wird über eine Funktion beschrieben, in der unterschiedliche Agenten unterschiedlich stark gewichtet werden. Die Gewichtung hängt ab von der Vernetztheit des jeweiligen Agenten im Gesamtsystem, d.h. wie viele Daten und Informationen er mit anderen Agenten austauscht.

Im Bereich der Medizintechnik und ihrem klinischen Umfeld existieren verschiedene Ansätze, Multi-Agenten-Systeme in den Informationssystemen der Klinik zu nutzen. Dazu werden einzelne Abteilungen und Einheiten der Klinik (Verwaltung, Pflegedienste, Ärzte, Radiologie, usw.) jeweils als eigenständige Agenten gesehen und können Daten über ein Kommunikationsnetz ablegen oder bei Bedarf anfordern (Abbildung 3.16, Fonseca *et al.*, 2005).

Alle Personen verwenden für die Interaktion im Netzwerk digitale Medien und computergestützte Instrumente. Jede Person, die sich in das Netzwerk eingeloggt hat, kann auf eine zentrale Datenbasis zurückgreifen sowie über direkte Kommunikationswege die Dienste eines anderen Agenten im Netzwerk anfordern.

Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von Multi-Agenten-Systemen ist die Interpretation von medizinischen Bilddaten. Hierbei existieren verschiedene Software-Agenten, die jeder für sich ein kleines Teilproblem der Interpretation der medizinischen Bilddaten lösen. Dazu gehört Kantenfindung, Segmentierung und die Klassifizierung von Strukturen in den Bilddaten (Shang und Shi, 1999).

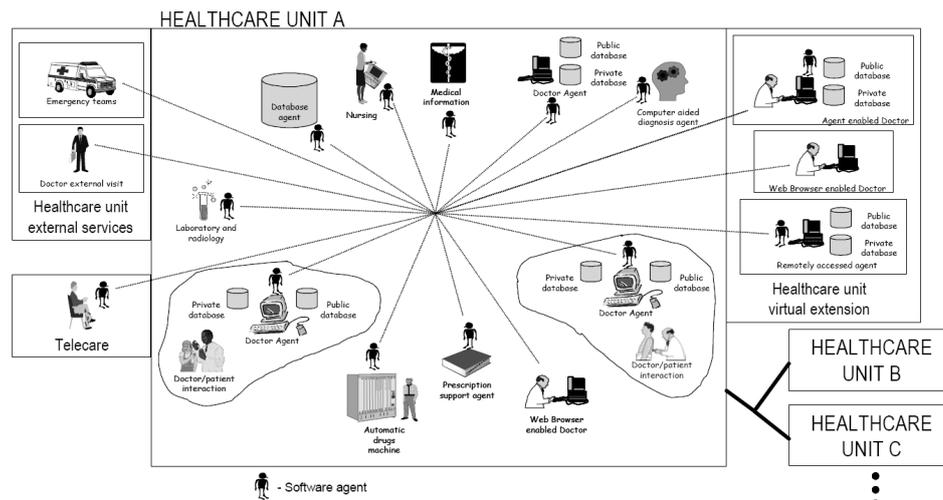


Abbildung 3.16: Modellierung der Infrastruktur eines klinischen Umfeldes durch ein Multi-Agenten-System (Quelle: Fonseca *et al.*, 2005).

Ein Multi-Agenten-System für die Dokumentation von Patientendaten und zur klinischen Befundung wird in Lhotska, 2007 vorgestellt. Das System besteht aus vier Agenten, die unabhängig voneinander agieren können. Ein User-Agent nimmt die Eingaben des Personals entgegen und bringt die Daten in die geeigneten Datenstrukturen. Der Datenbankagent gleicht die Daten mit einer Datenbank ab. Ein Archivagent kann die Daten archivieren und bei Bedarf wieder zur Verfügung stellen. Über einen Security-Agent werden sicherheitskritische Daten behandelt und entsprechend der vorgegebenen Richtlinien vor Missbrauch gesichert.

3.7 CIM – Computer Integrated Manufacturing

Die zunehmende Automatisierung und die damit steigenden Produktionszahlen von Fertigungsbetrieben verlangten Anfang der 90er Jahre nach neuen Methoden und Modellen zur Beschreibung und Vernetzung vorhandener Prozesse (Kateel *et al.*, 1996). Das beinhaltet die Verbesserung und Integration von Informationsflüssen zwischen den einzelnen Funktionsbereichen einer Fertigung und die daraus resultierende Synchronisation der Materialflüsse mit den Fertigungsprozessen.

Unter CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) versteht man das rechnergestützte, geordnete und effiziente Zusammenwirken von verschiedenen Teilbereichen in einem modernen Fertigungsprozess. Die Grundlage dafür ist die bereichsübergreifende Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis. CIM beschreibt dabei die informationstechnischen Prozesse und Abhängigkeiten zwischen klassischen Ingenieur Tätigkeiten (Blumann und Horstmann, 1993):

- Computer Aided Engineering (CAE),
- Computer Aided Design (CAD),
- Computer Aided Planning (CAP),
- Computer Aided Test (CAT),
- Produktionsplanung und Produktionssteuerung (PPS),

- Computer Aided Manufacturing (CAM),
- Computer Aided Quality (CAQ).

Das Zusammenspiel der einzelnen Teilbereiche ist in Abbildung 3.17 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Mittelpunkt der Entwicklung und Fertigung eine zentrale Datenbasis sowie die Definition von Austauschformaten liegen. Diese wird sowohl in den Phasen der computerunterstützten Entwicklung als auch der Fertigungsplanung/Fertigungsdurchführung und Produktionssteuerung verwendet. Für die Qualitätssicherung können ebenfalls alle Daten der vorgelagerten Prozesse abgerufen und bewertet werden.

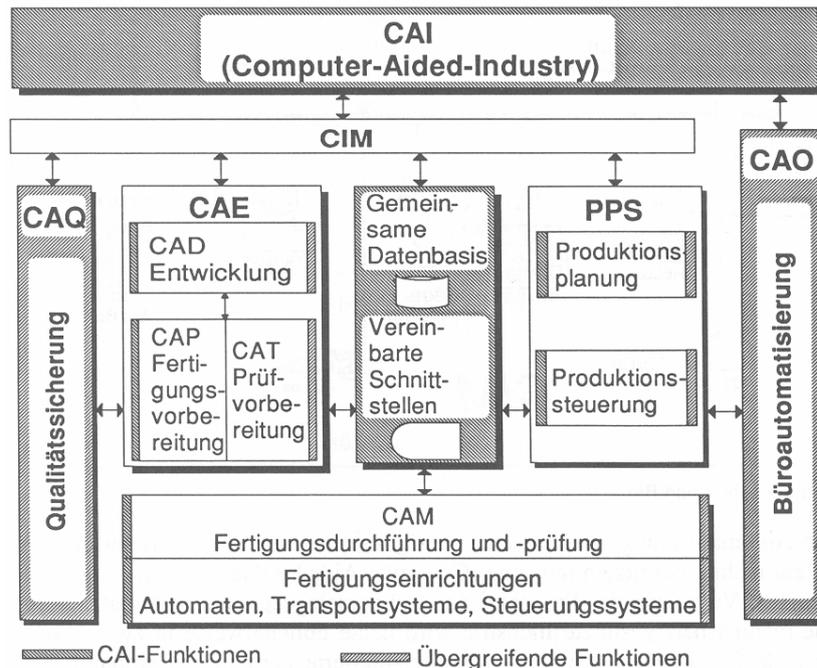


Abbildung 3.17: Schematischer Aufbau einer Computer-Integrierten Fertigung nach Blumann und Horstmann (Quelle: Blumann und Horstmann, 1993).

Der gesamte Prozess des Auftrageingangs durch den Kunden, die Produktion bis zu den Lieferanten wird als einheitliche Aufgabe betrachtet. Demgegenüber stünden bei einer arbeitsteiligen Organisation die Teilsysteme Vertrieb, Produktionsplanung, Produktionssteuerung und Materialwirtschaft. Diese Bereiche wären in einer arbeitsteiligen Organisation notdürftig über Schnittstellen miteinander verbunden (Scheer, 1990). In Abbildung 3.18 ist das Y-CIM Modell nach Scheer dargestellt. Es zeigt die verschiedenen Phasen einer Fertigung sowohl von der betriebswirtschaftlichen Seite als auch von der technischen Realisierung eines Auftrags.

Auch in diesem Modell greifen die verschiedenen Prozesse auf gemeinsame Ressourcen innerhalb des Unternehmens zu, um einen optimierten Produktionsprozess zu erreichen. Dabei bleibt in dem Modell im Vergleich zu Waldner (1992) oder Blumann und Horstmann (1993) die Trennung zwischen den betriebswirtschaftlichen Prozessen und den technischen Prozessen bis zum Ende bestehen. Gleichzeitig ermöglicht das Modell eine ständige Kontrolle des Fertigungsprozesses über die Identifikation der gerade aktuell laufenden Prozesse und damit eine bessere Planbarkeit der nachgelagerten Schritte.

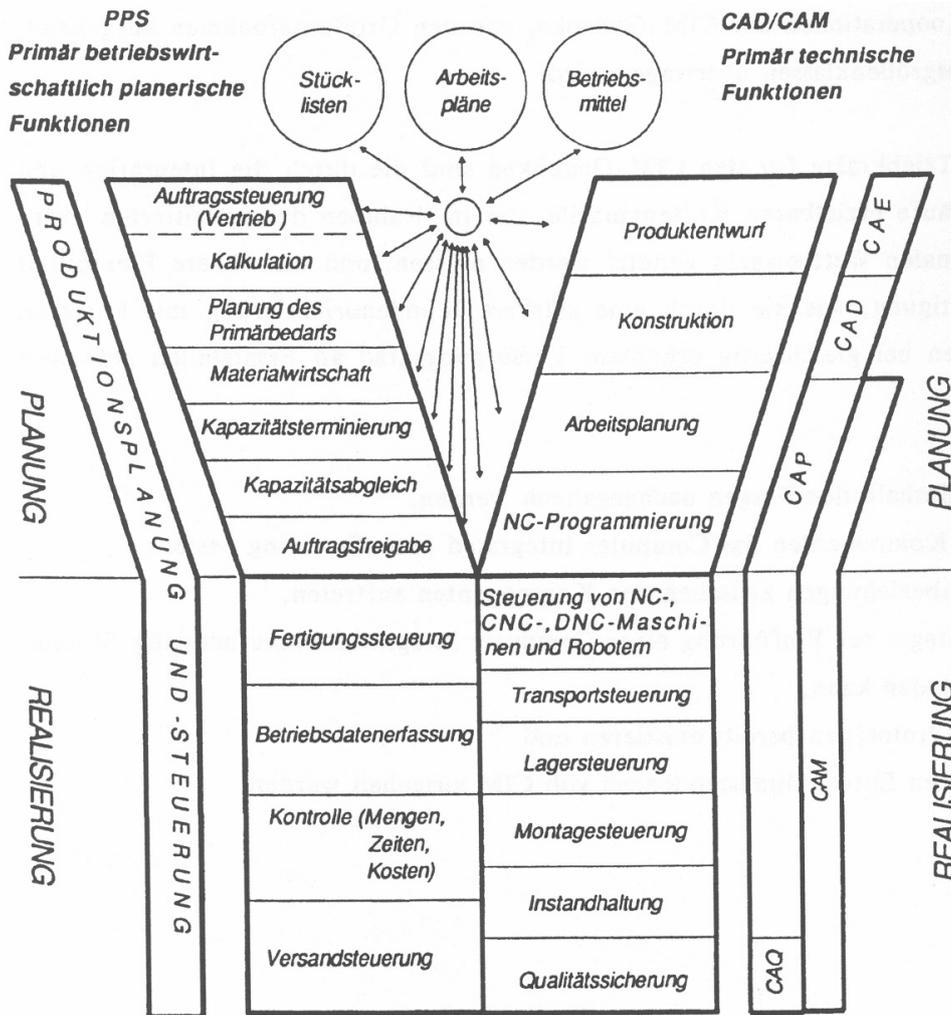


Abbildung 3.18: Modell der Computer-Integrierten Fertigung nach Scheer (Quelle: Scheer, 1990).

CIM kann demzufolge nach folgenden Eigenschaften klassifiziert werden (Scheer, 1990):

- *Anwendungsunabhängige Datenorganisation:* Es existieren innerhalb eines Fertigungsprozesses Datenstrukturen, die unabhängig von den einzelnen Teilprozessen und Anwendungen in der Fertigung sind. Damit können z.B. Produktspezifikationen sowohl im Bereich der technischen Konstruktion, der Produktplanung und den betriebswirtschaftlichen Anwendungen gemeinsam genutzt und ausgetauscht werden.
- *Konsequente Vorgangsketten:* Der Daten- und Informationsfluss wird unabhängig von historisch gewachsenen Strukturen hinterfragt und alle Prozesse und Abläufe in ihrer Gesamtheit neu bewertet und durch geschlossene Informationssysteme ersetzt. Die Informationssysteme bauen aufeinander auf und werden nacheinander innerhalb eines Produktionszyklus abgearbeitet.
- *Kleine Regelkreise:* Durch die ständige Überwachung von einzelnen Prozessen und Vorgängen in der Fertigung durch Soll-Ist-Vergleiche werden Abweichungen frühzeitig erkannt. Der Steuerungsprozess kann dadurch durch zeitnahe Informationsverarbeitung und zeitnahe Korrekturingriffe bei Bedarf angepasst werden. Dieser Prozess der Überwachung wird ebenfalls durch Computersysteme

unterstützt und dient als Basis für die Qualitätssicherung innerhalb eines Unternehmens.

Um Daten zwischen den einzelnen Teilbereichen wie zum Beispiel einer Konstruktion und Produktion problemlos austauschen zu können, existieren anwendungsunabhängige Datenformate. Beispielfhaft sei an dieser Stelle der Austausch von Geometriedaten zwischen verschiedenen CAD-Systemen beschrieben (Scheer, 1990). Die Elemente aus dem einen Datenmodell lassen sich nicht auf die Elemente eines zweiten Datenmodells abbilden, da zwischen den Modellen keine 1:1-Abbildungsbeziehung besteht.

Aus diesem Grund wurden Standardschnittstellen entwickelt, in die die Modelldaten unterschiedlicher CAD-Systeme zunächst transformiert werden, um dann wieder in das Format des jeweils anderen CAD-Systems umgewandelt zu werden (Sorgatz und Hichfeld, 1985). Ein Beispiel für eine solche Standardschnittstelle ist das *IGES-Format (Initial Graphics Exchange Standard)*.

Ein Modell wird vor dem Austausch zwischen zwei CAD-Systemen durch einen Preprozessor auf der Senderseite in dieses Format umgewandelt und anschließend auf der Empfängerseite wieder durch einen Postprozessor in das vorhandene CAD-Format umgewandelt. Der schematische Ablauf eines Datenaustauschs in diesem IGES-Format ist in Abbildung 3.19 abgebildet.

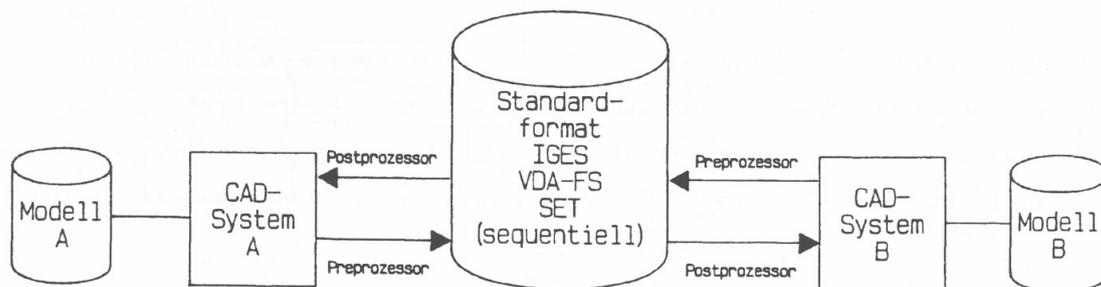


Abbildung 3.19: Für den Austausch von Daten zwischen zwei Konstruktionsprogrammen wurden Standardformate definiert, die eine Verwendung im computergestützten Entwicklungsprozess ermöglichen. (Quelle: Scheer, 1990)

Neben dem direkten Austausch von Daten und Informationen bezüglich des Fertigungsprozesses von einem Teilbereich zum Nächsten können alle relevanten Daten auch wieder zentral in einer gemeinsamen Datenbank abgelegt und je nach Anforderung des nachfolgenden Prozessschritts aufbereitet werden (Waldner, 1992). Ein computer-basiertes System für einen integrierte Produktionsprozess (*Production and Inventory Control, PIC*) hat die Funktion, die Ressourcen des Unternehmens bestmöglich zu verwalten und Informationen so zur Verfügung zu stellen, dass alle Teilbereiche des Unternehmens bestmögliche Ergebnisse liefern können und der Gesamtertrag maximiert wird.

In Abbildung 3.20 ist eine solches zentrales Datenbanksystem in einem hierarchisch organisierten Fertigungsprozess dargestellt. Das PIC-System überprüft dabei während der gesamten Fertigung die Konsistenz der abgelegten Daten bezüglich des aktuell durchlaufenden Fertigungsschritts und kann so fehlende Informationen identifizieren und melden. Zusätzlich werden die Daten in unterschiedlichen Formatierungen aufgearbeitet und so den einzelnen Prozessen auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

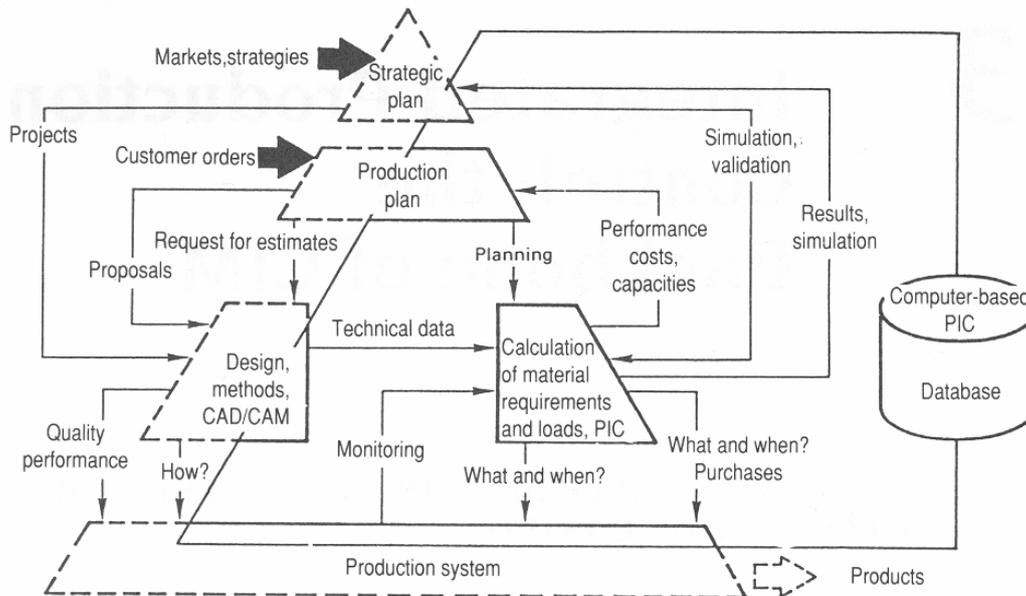


Abbildung 3.20: Beispiel für eine hierarchisch organisierte Fertigung mit einer zentralen Datenverwaltung (Quelle: Waldner, 1992).

3.8 Systemunabhängige Informationsprotokolle und Schnittstellen

Um Informationen zwischen unterschiedlichen Fertigungsbereichen austauschen zu können, werden Standard-Protokolle benötigt. Dabei werden bei Kommunikationssystemen zwei Architekturen unterschieden (Abbildung 3.21, Bender, 1992):

- **CSI-Architektur (Closed Systems Interconnection):** Bei diesen lokalen Netzwerken stammen alle Komponenten von einem Hersteller und haben von diesem fest definierte Eigenschaften. Dadurch ist der Anwender gezwungen, bei Erneuerungen oder Erweiterungen ebenfalls auf diesen Hersteller zurückzugreifen, um die Kompatibilität des Gesamtsystems zu gewährleisten.
- **OSI-Architektur (Open Systems Interconnection):** Durch die Festlegung einer gemeinsamen Spezifikation ist es möglich, Geräte unterschiedlicher Hersteller in einem Netz zu integrieren. Bei Umrüstungen und Neuinstallationen ist der Anwender dann nicht an einen Hersteller gebunden.

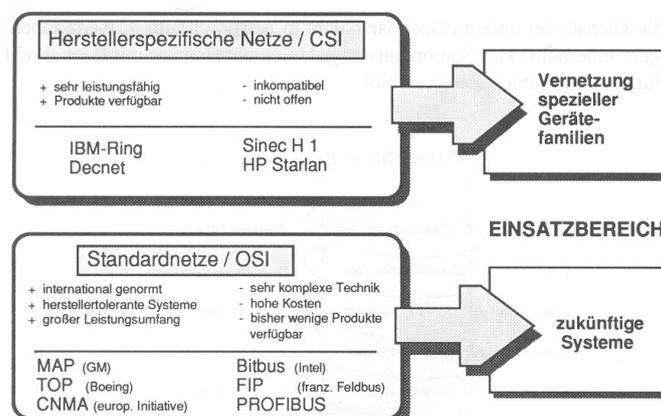


Abbildung 3.21: Unterschiedliche Kommunikationsnetze (Quelle: Bender, 1992).

Unter der Führung der Firma *General Motors (GM)* entstand daher das *Manufacturing Automation Protocol (MAP)*, das eine Sammlung empfohlener Standard-Dienste und Standard-Protokolle für die offene Kommunikation darstellt. Die Sammlung beinhaltet eine Beschreibung für Kommunikationsdienste und -protokolle und verwendet dazu das *ISO/OSI 7-Schichten Referenzmodell*. Zusätzlich umfasst *MAP* die Integration von Automatisierungseinseln in Netzwerken und die damit einhergehende Kommunikation von Anwendungspaketen.

Ein weiterer Teil dieses Standards ist die *Manufacturing Message Specification (MMS)*. MMS gehört zur MAP-Empfehlung und ist ein objektorientiertes Protokoll, das die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen wie Leitrechner, Fertigungsstraße und anderen Geräten einheitlich abwickelt (Blumann und Horstmann, 1993).

MMS basiert auf einem Client-Server-Modell. Dabei wird der Server gegenüber dem Client als virtuelles Gerät (VMD) dargestellt. Mit Hilfe des virtuellen Geräts werden Applikationen und beliebige Automatisierungsgeräte als ein aus mehreren Objekten bestehendes Objekt beschrieben (Shang *et al.*, 2003; Blumann und Horstmann, 1993).

Ein Objekt bildet im MMS-Standard eine Einheit aus Funktionen und Daten bzw. Attributen. Die Attribute können vom Benutzer direkt angesprochen und verwendet werden, während die Daten nur über die definierten Funktionen und Methoden des Objekts zugänglich sind (Shang *et al.*, 2003). Durch Verwendung von fest definierten Nachrichten (Messages) kann der Client diese Methoden ansprechen und Dienste anfordern. Je nach Ergebnis des Zugriffs bekommt der Client ein Ergebnis zurückgeliefert, ohne dabei die Implementierung der dahinter liegenden Daten zu kennen. Objekte mit identischen Attributen und Methoden werden zu Objektklassen zusammengefasst (Blumann und Horstmann, 1993).

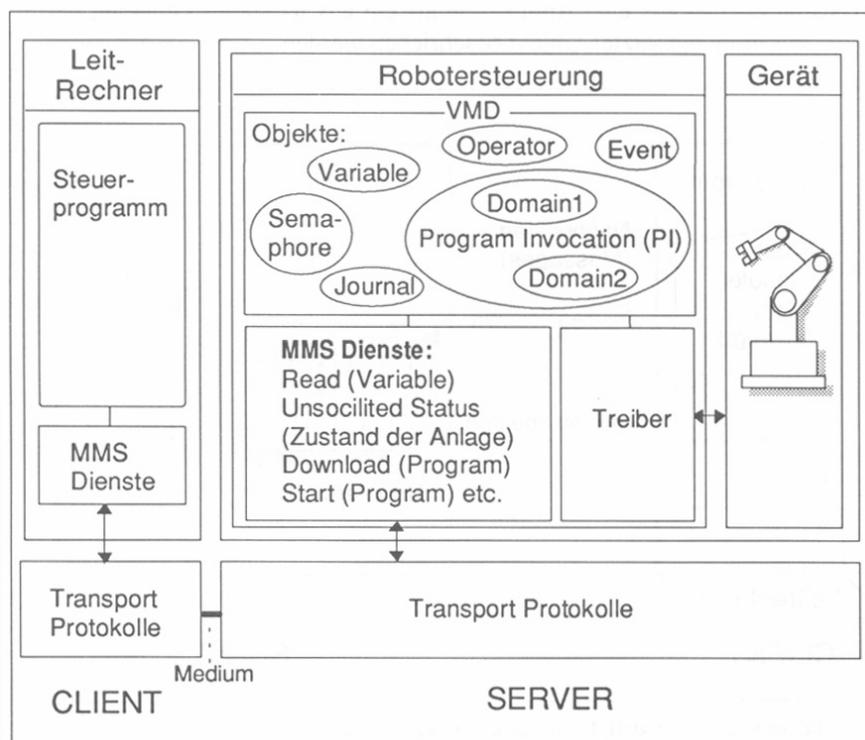


Abbildung 3.22: Beispiel für eine MMS-Modellierung mit Hilfe von Objekten (Quelle: Blumann und Horstmann, 1993).

Der Vorteil der Modellierung durch ein übergeordnetes virtuelles Gerät (VMD) besteht darin, dass der Client bzw. der Anwendungsprozess, der auf dem Client läuft, unabhängig vom realen Gerät bleibt und nur die Dienste der Server-Seite über definierte MMS-Nachrichten nutzt. Dabei werden die anwendungsspezifischen Eigenschaften des realen Geräts nicht berücksichtigt und stattdessen nur die informationstechnischen Dienste verwendet. Für die Verwaltung und Zuteilung der realen Betriebsmittel ist das lokale Management des Servers verantwortlich. Die Abbildung des virtuellen Geräts auf die realen Komponenten des Geräts liegt komplett auf der Server-Seite und der zugehörigen Implementierung des Anwendungsprozesses.

Die MMS-Dienste bestehen aus zwei unterschiedlichen Typen von Diensten (Blumann und Horstmann, 1993):

- *Objektclassenunabhängige Dienste:* Diese Dienste befassen sich mit dem Aufbau und Abbau einer Verbindung (Assoziation), der Rücknahme eines angeforderten Dienstes und der Meldung eines Protokollfehlers.
- *Objektclassenspezifische Dienste:* Mit Hilfe dieser Dienste werden neue Objekte definiert und erzeugt bzw. gelöscht. Außerdem werden die Attributwerte und Zuständen eines Objekts abgefragt oder modifiziert.

Eine weitere Möglichkeit der offenen Kommunikation ist Feldbus-Standard *PROFIBUS (Process Field Bus)*, der Ende der 80er Jahre in Deutschland für die Automatisierungstechnik entwickelt wurde. Hierbei besteht der Grundgedanke darin, Anwendungssysteme von unterschiedlichen Herstellern, die nicht kompatibel zueinander sind, miteinander kommunizieren zu lassen. Dazu werden die Art und Weise, wie Nachrichten zwischen zwei Anwendungen ausgetauscht werden sollen, genormt. Der Inhalt der Nachrichten spielt hierbei keine Rolle und die Interpretation ist Aufgabe der spezifischen Anwendung (Bender, 1992).

Als Basis für eine offene Kommunikation zwischen Feldgeräten müssen standardisierte Gerätemerkmale, identische Dienste und öffentliche Objektverzeichnisse an einem gemeinsamen Bus zur Verfügung gestellt werden. *PROFIBUS* baut auf dem *OSI-Referenzmodell* auf.

Die Geräte werden durch eine einheitliche Darstellung, einem *Virtuellen Feldgerät (Virtual Field Device, VFD)* repräsentiert (Bender, 1992). Abbildung 3.23 zeigt die Realisierung des VFD im *PROFIBUS*. Zwischen der Anwendungsschicht des *PROFIBUS* und dem realen Anwendungsprozess liegt das sogenannte *Application Layer Interface (ALI)*. Diese Schicht bildet einen *PROFIBUS*-Treiber, über den die Zugriffe der Dienste der Anwendungsschicht des *PROFIBUS* erfolgen. Zusätzlich wird in dieser Zwischenschicht die Abbildung des virtuellen Geräts auf das reale Feldgerät realisiert. Die darunter liegenden Schichten entsprechen den Schichten des *OSI-Referenzmodells*.

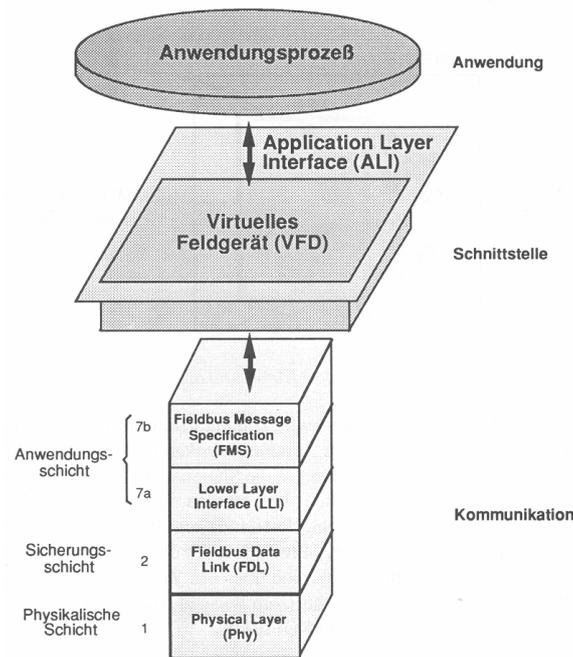


Abbildung 3.23: Realisierung eines *Virtuellen Feldgerätes* im *PROFIBUS* (Quelle: Bender, 1992).

3.9 Gerätespezifikation und offene standardisierte Geräteintegration

Die heute verfügbaren Feldgeräte für die Fertigungsautomatisierung bieten aufgrund ihrer digitalen Kommunikationsschnittstellen eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten. Dabei werden die Geräteparameter individuell auf den jeweiligen Einsatzort und Einsatzzeitpunkt des Feldgerätes angepasst. Um diese Eigenschaften eines Gerätes möglichst flexibel zu halten und auch anderen Herstellern Zugriff auf die Funktionalitäten zu ermöglichen, wurde in Bruns *et al.*, 1999, das Konzept einer *Device Type Manager (DTM)* eingeführt. Es beinhaltet, dass die Grundfunktionalitäten eines Feldgerätes in einem eigenen Objekt, dem *DTM*, gekapselt und über definierte Schnittstellen so zur Verfügung gestellt werden.

Um die Integration verschiedener Geräte untereinander zu vereinfachen und bei zukünftigen Änderungen an einem der Geräte nicht alle angeschlossenen Geräte ebenfalls anpassen zu müssen, existieren im Bereich der Feldgeräte formale Beschreibungen und Gerätespezifikationen. Diese Beschreibungen fassen die Eigenschaften und Parameter eines Feldgerätes sowohl auf Hardwarekomponenten wie auch auf Softwarekomponenten zusammen. Der Zugriff auf die Parameter erfolgt über definierte Schnittstellen und wird ebenfalls formal durch Beschreibungssprachen festgelegt (Simon, 2002).

Ein Standard, die Beschreibungssprache *Electronic Device Description Language (EDDL)*, ist in der Norm *DIN EN 61804-2:2007-10* beschrieben. Sie beinhaltet die Beschreibung und die Abhängigkeiten verschiedener Geräteparameter sowie die Beschreibung der Zugriffe auf die jeweiligen Geräteparameter (Stadter, 1992; Augustin, 1999). Damit soll eine Trennung von spezifischen Bedienapplikationen hin zu Gerätebeschreibung erreicht werden, die dann von einem speziellen Interpreter ausgewertet und entsprechend den Anforderungen verarbeitet werden (Großmann, 2007).

Ein weiteres Beschreibungswerkzeug, das sich bei der Entwicklung von Feldgeräten als Standard etabliert hat, ist das *Field Device Tool (FDT)*. Diese Technologie vereinheitlicht die

Kommunikationsschnittstelle zwischen Feldgeräten und Systemen basierend auf dem bereits erwähnten *Device Type Manager* (Bruns *et al.*, 1999). Mit Hilfe dieses Tools lassen sich sowohl Fertigungsautomatisierung als auch das dynamische Verhalten von Prozessautomatisierungen beschreiben. Es nutzt die Microsoft COM Technologie und ist damit plattformabhängig.

Eine Möglichkeit, Gerätevernetzung zu beschreiben und den Datenaustausch der Geräte zu ermöglichen, ist die Verwendung einer Server-Client-Architektur auf Basis von standardisierten Webtechnologien. Dadurch ist es möglich, Gerätedaten sowohl im Offline- als auch im Online-Betrieb auf einem Server verfügbar zu machen (Bender und Großmann, 2007).

Der Aufbau des Geräts kann durch zwei Schichten repräsentiert werden, die die Daten und Zustände eines Geräts von seinen nach außen zur Verfügung gestellten Funktionen und Bedienoberfläche trennt. Die erste Schicht (*Device Information Model, DIM*) beinhaltet Informationen zu den internen Daten und Parametern des Geräts. Die zweite Schicht (*Device Operation Model, DOM*) stellt das graphische User Interface sowie Benutzerfunktionen für die Anwendung des Geräts zur Verfügung. Das *Device Operation Model (DOM)* wird je nach Anwendungsfall bestimmt. Beispielsweise brauchen die Inbetriebnahme und die Wartung jeweils eine andere DOM-Funktionalität, sodass in der Regel mehrere DOMs existieren, die alle auf dem selben DIM aufsetzen. Das DOM greift nur über das DIM auf die Gerätedaten zu und kann diese in Abhängigkeit vom Anwendungsfall auf optimale Art nutzen und darstellen (Bender und Großmann, 2007; Großmann, 2007).

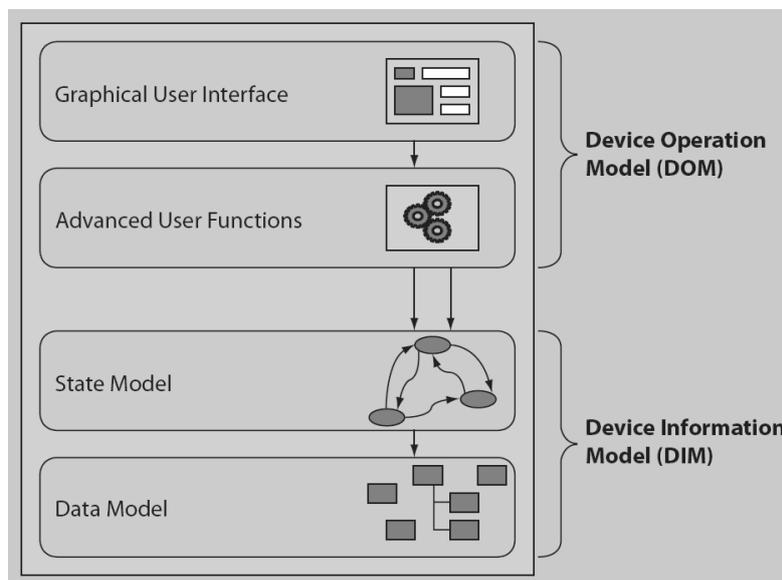


Abbildung 3.24: Schematischer Aufbau eines Feldgeräts bestehend aus zwei Schichten (Quelle: Bender und Großmann, 2007).

Eine weitere Möglichkeit, Geräte formal zu beschreiben, ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Feldgeräts. Dazu gehören die Entwicklungsphase und die Gerätefunktionen, die Nutzung des Geräts durch den Anwender und die Beschreibung der Nutzergruppen (John, 2007). Die Beschreibungswerkzeuge können dabei Field Device Tool (FDT) oder Electronic Device Description Language sein (Simon, 2003; Simon, 2001; Diedrich, 2007).

3.10 Defizite am Stand der Technik

Im Folgenden werden die Nachteile der bekannten Systeme und Verfahren für bestehende computerunterstützte Operationssäle dargestellt. Aus den identifizierten Defiziten leiten sich dann in den folgenden Kapiteln die neuen Ansätze des in dieser Arbeit vorgestellten *Computer-Integrierten Operationssaals* ab:

- *Herstellerspezifische Lösungen:* Die in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Lösungen sind innerhalb ihrer Gerätekonfigurationen nur für Geräte desselben Herstellers kompatibel. Es lassen sich nur sehr schwer Geräte anderer Hersteller nachträglich in das Gesamtsystem integrieren. Dadurch sind Kliniken gezwungen, nach einer Anschaffung eines neuen Operationssaals auch weiterhin neue Geräte des Herstellers in die Abläufe zu integrieren. Die vorgestellten Lösungen basieren nicht auf einheitlichen Gerätestandards, über die Geräte eindeutig in einem Netzwerk durch andere Systeme erkannt werden können.
- *Kein Informationsaustausch:* Die Vernetzung der Geräte und deren Informationsaustausch findet nur in fest definierten Konfigurationen statt. Die Geräte bieten keine offenen Schnittstellen, über die andere Geräte Informationen abfragen und nutzen können. Die einzigen häufig nach außen geführten Schnittstellen sind Videosignale, die dann auf zusätzlichen Bildschirmen im Operationssaal angezeigt werden können. Obwohl in allen vorgestellten Operationssälen Touchbildschirme an der Decke montiert werden, bieten diese keine einheitliche Schnittstelle, über die sie zum Beispiel mit einem normalen USB-Anschluss an andere zu steuernde Geräte angeschlossen werden können.
- *Zu viele Lösungen für nicht klinische Probleme:* Die vorgestellten kommerziellen Systeme bieten zu viele Funktionalitäten an, die nicht für die tägliche Routine in einem Operationssaal geeignet oder nur unzureichend implementiert sind. Es können zum Beispiel die Lichthelligkeit reguliert oder der OP-Tisch bewegt werden. Dazu muss der Chirurg oder die OP-Schwester jedoch durch verschiedene Menüs in der Benutzeroberfläche navigieren. Ein manuelles Verändern der Parameter über Lichtschalter oder die Fernbedienung am OP-Tisch funktioniert daher meist schneller.
- *Veränderungen der klinischen Abläufe:* Durch die bereits erwähnten herstellerspezifischen Lösungen und die fehlenden direkten Schnittstellen müssen Speziallösungen oder Zusatzgeräte verwendet werden, die die Verwendung von zusätzlichen Geräten ermöglichen (z.B. Framegrabber zum Aufzeichnen von Videosignalen und Verwendung in Navigationssystemen oder für die Dokumentation; Nachimplementierung von Benutzeroberflächen für die Bedienung eines OP-Tisches). Diese behindern den normalen klinischen Ablauf, da sie vor dem Eingriff manuell angeschlossen werden müssen.
- *Nur wenige Standards:* Für den Austausch von Daten existiert lediglich für Bilddaten mit dem DICOM-Format ein Standard. Es gibt keine Standards und Protokolle für die Verschaltung von zeitkritischen Anwendungen oder zum Austausch von Geräteinformationen. Jeder Hersteller nutzt andere Kommunikationsprotokolle (z.B. *Storz Communication Bus, SCB*), die allerdings nicht für andere Hersteller zugänglich sind.

- *Nur geringe Automatisierung:* Es existieren bisher nur wenige Ansätze, Prozesse vergleichbar der Computer-Integrierten Fertigung zu automatisieren. Durch die fehlende Identifikation der Geräte untereinander müssen Geräte und Funktionen manuell eingestellt werden. Ein Beispiel hierfür ist das Starten des Dokumentationssystems, das allerdings auch automatisch erkennen könnte, dass ein Endoskop oder eine sonstige Quelle gerade Bildinformationen zur Verfügung stellt. Zusätzlich beinhalten die beschriebenen Systeme keine intelligenten Instrumente oder Verschaltungssysteme, die automatisch Anwendungen erkennen und dem Chirurgen mit Hilfe dieser Information weitere Unterstützung oder Funktionalitäten zur Verfügung stellen können.
- *Bedienung nicht an klinischen Workflow angepasst:* Durch die wachsende Zahl an Geräten nimmt auch die Anzahl der Bediensysteme (Fernbedienungen, Bildschirme, Computermäuse, Fußpedale, Sprachsteuerung, Gestenerkennung) weiter zu. Dabei muss das OP-Personal für jedes zu bedienende System die komplette Hardware zur Verfügung stellen und innerhalb des sterilen Umfelds bereithalten. Dadurch kann es passieren, dass ein Chirurg zum Beispiel je nach Eingriff zwei bis drei Fußpedale unter dem OP-Tisch hat. Durch die ebenfalls zunehmende Anzahl an Bildschirmen im Operationssaal kann es passieren, dass der Chirurg während des Eingriffs auf einen Bildschirm schaut, zur Bedienung des bildgebenden Signals allerdings auf ein kleines Display am Gerät wechseln muss. Es wurden bisher keine Systeme vorgestellt, die ein transparentes Bedienkonzept bei einer möglichst geringen Anzahl an Bediengeräten beinhalten.
- *Kein Gesamtkonzept für eine Computer-Integrierte Klinik:* Durch die Einbettung des Operationssaals in das gesamtklinische Umfeld müssen für die gesamte Klinik integrierte Modelle für eine computergestützte Prozessoptimierung gefunden werden. Diese Modelle beschränken sich bisher hauptsächlich auf die Implementierung von digitalen Patientenakten oder die digitale Aufzeichnung von Untersuchungsergebnissen. Es müssen allerdings Lösungen gefunden werden, in denen auch betriebswirtschaftliche Prozesse mit in das Informationssystem eingebunden werden, um zum Beispiel die angefallen Kosten durch die Verwendung von Geräten im Operationssaal transparent in den Gesamtkosten eines Eingriffs aufschlüsseln zu können. Dazu muss der Computer-Integrierte Operationssaal in das Informationssystem der Klinik eingebunden sein.

4. Modell der Computer-Integrierten Klinik

Wie bereits im Kapitel „Stand der Technik“ gezeigt, existieren für die Beschreibung der einzelnen Prozesse in einer Computer-Integrierten Fertigung verschiedene Beschreibungsmodelle (Scheer, 1990; Blumann und Horstmann, 1993). Innerhalb der Computer-Integrierten Fertigung existiert eine Vielzahl von Einzelprozessen, die alle mit Computerunterstützung ablaufen. Da der in dieser Arbeit vorgestellte Computer-Integrierte Operationssaal ebenfalls nur ein Teil der gesamten Prozesskette einer Klinik ist, wird zunächst ein vergleichbares Modell für die Computer-Integrierte Klinik vorgestellt, bevor im Anschluss speziell der Bereich des Computer-Integrierten Operationssaals betrachtet wird. Abbildung 4.1 zeigt das Modell mit seinen zugehörigen Teilprozessen.

Das Modell teilt sich in den obersten Ebenen in zwei Bereiche auf, die betriebswirtschaftlichen Prozesse und die patientenbezogenen, therapeutischen Prozesse. Die Teilaspekte dieser beiden Prozesslinien sind jeweils in unterschiedliche, computerunterstützte Teilprozesse aufgegliedert. Beide Prozesslinien enden zunächst in einem gemeinsamen Prozess, dem Computer-Integrierten Operationssaal, bevor sie sich anschließend wieder aufteilen. Im Folgenden werden die Teilprozesse mit Ausnahme des Computer-Integrierten Operationssaals kurz beschrieben. Der Computer-Integrierte Operationssaal wird dann in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit detailliert dargestellt:

Betriebswirtschaftliche Prozesse

- *Anmeldung und Aufnahme:* Die persönlichen Daten des Patienten werden aufgenommen und digital abgespeichert. Anschließend wird ihm ein Zimmer zugewiesen und diese Zuweisung im Informationssystem der Klinik aktualisiert. Zusätzlich werden Untersuchungen geplant und die notwendigen Geräte und Ressourcen in der Klinik zugeteilt.
- *Planung der Ressourcen:* Nach der Diagnose werden vom klinischen Personal die notwendigen Ressourcen (Geräte, Verbrauchsmaterialien, OP-Personal, Chirurgen, Anästhesisten) für einen Eingriff geplant.
- *Reservierung der Ressourcen:* Abhängig von der Dringlichkeit des Eingriffs werden die benötigten Ressourcen geplant und zugeteilt. Benötigte Verbrauchsmaterialien werden bei Bedarf nachbestellt.
- *OP-Plan erstellen:* In diesem Teilschritt werden die Belegungspläne für die vorhandenen Operationssäle erstellt. Die benötigten Ressourcen werden dem Belegungsplan für den festgelegten Zeitraum zugewiesen und der OP-Plan an alle beteiligten Personen verteilt.
- *Liste der verwendeten Geräte und Materialien:* Während des Eingriffs wird die Nutzung der verschiedenen Systeme im Operationssaal und die verwendeten Materialien dokumentiert und nach dem Eingriff eine Auflistung aller benötigten Ressourcen erstellt.
- *Kostenaufstellung:* Nach dem Eingriff wird eine Kostenaufstellung basierend auf den geplanten Ressourcen und den tatsächlich verbrauchten Ressourcen erstellt. Diese

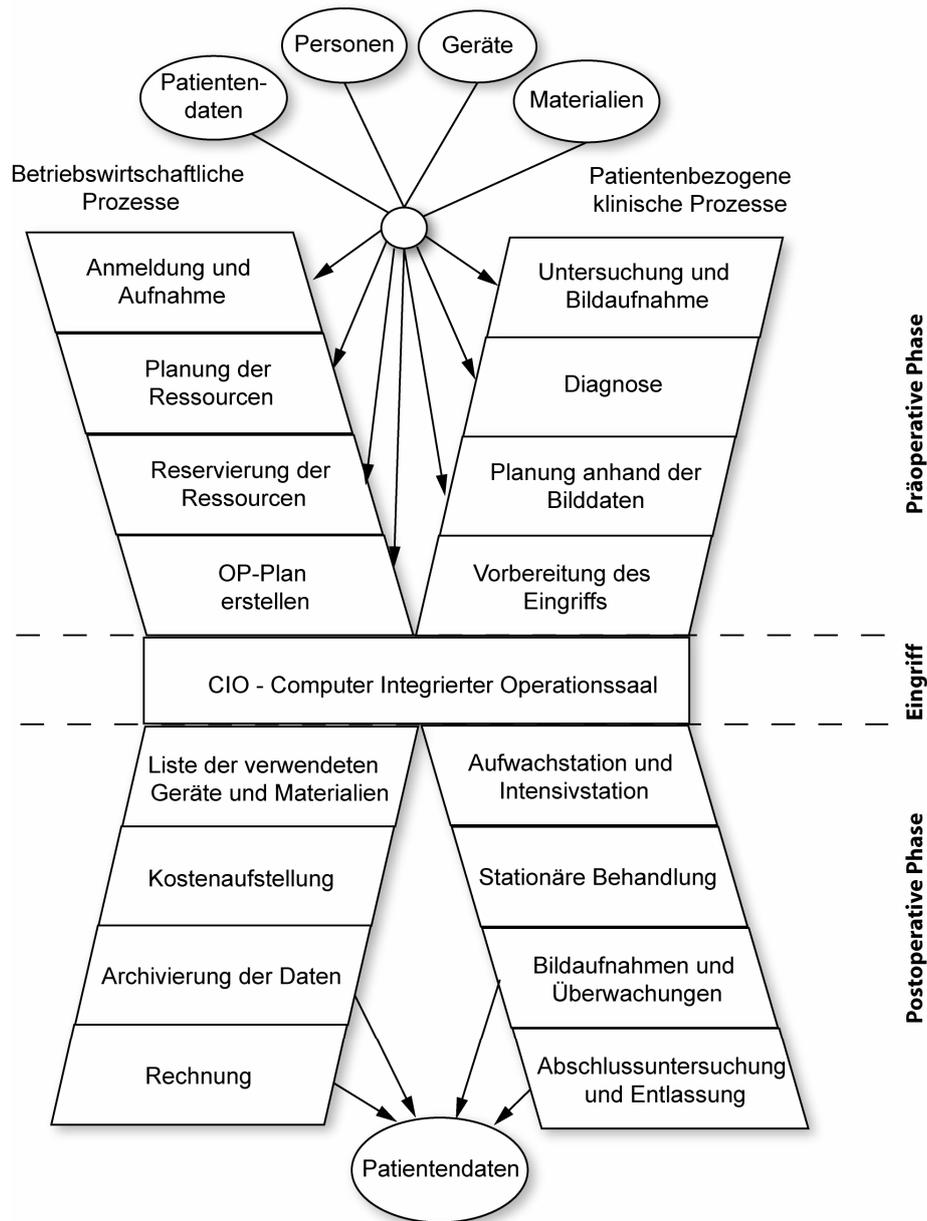


Abbildung 4.1: Modell einer Computer-Integrierten Klinik.

Kostenaufstellung dient bei zukünftigen, vergleichbaren Eingriffen als Datenbasis für die Kalkulation der Ressourcen.

- *Archivierung der Daten:* Alle erhobenen Daten des Patienten sowie die zur Behandlung eingesetzten Ressourcen werden nach dem Klinikaufenthalt archiviert und dienen als Grundlage für zukünftige Behandlungen. Der Patient kann die Daten für seinen Hausarzt anfordern oder sie im Rahmen einer Überweisung in eine andere Klinik verwenden.
- *Rechnung stellen:* Im letzten betriebswirtschaftlichen Schritt wird eine Rechnung für die Krankenkasse oder den Patienten erstellt und versendet. Die Daten werden auch in einem zentralen Archiv digital abgelegt und dienen als Grundlage für die Gesamtbilanz der Klinik.

Patientenbezogene, therapeutische Prozesse

- *Untersuchung und Aufnahme von Bilddaten:* Zu Beginn wird der Patient vom Arzt untersucht und basierend auf seiner Vorgeschichte eine Auswahl weiterer Untersuchungsschritte beschlossen. Diese weiteren Schritte können die Aufnahme von aktuellen Bilddaten des Patienten oder die Durchführung von Laboruntersuchungen sein. Die Daten werden digital in einem zentralen Dokumentationssystem abgelegt.
- *Diagnose und Patientengespräch:* Basierend auf den eingeholten Informationen erstellt der Arzt eine Diagnose und teilt sie dem Patienten mit. Dabei kann er ihm die Befundung anhand der Bilddaten oder der Laborwerte an geeigneten Visualisierungssystemen erklären und so das Verständnis der Notwendigkeit für einen Eingriff beim Patienten erhöhen. Zusätzlich können die unterschiedlichen Visualisierungen für eine geeignete Auswahl der Therapieverfahren genutzt werden.
- *Planung des Eingriffs anhand von Bilddaten:* Im Falle von medizinischen Bilddaten kann der Chirurg seinen Eingriff mit Hilfe von speziellen Softwareumgebungen planen. Er kann Sicherheitsgebiete markieren, kann sich den einfachsten Weg zu bestimmten Strukturen einzeichnen oder Landmarken definieren, anhand derer er sich später am Situs orientieren möchte. Im Fall von komplizierten Operationen, bei denen eine plastische, dreidimensionale Vorstellung der Patientensituation erforderlich ist, kann er die Bild- und Planungsdaten an eine RP-Maschine weiterleiten und sich so organische Strukturen erzeugen lassen.
- *Vorbereitung des Eingriffs:* Anhand der zugeteilten Ressourcen und einer automatisch generierten Vorlage aus vorangegangenen Eingriffen wird der Operationssaal von den OP-Schwestern vorbereitet. Dazu werden alle benötigten computergestützten Geräte initialisiert und die sterilen Komponenten vorbereitet. Die präoperativen Patienten- und Planungsdaten werden über das Netzwerk geladen und auf den Bildschirmen im Operationssaal dargestellt.
- *Aufwachstation und Intensivstation:* Unmittelbar nach der OP wird der Patient in die Aufwachstation und die Intensivstation gebracht. Dort wird er überwacht und alle relevanten Vitalparameter werden digital aufgezeichnet und alle Vorkommnisse sowie die weiterführende Medikation ebenfalls digital dokumentiert.
- *Bildaufnahme und Untersuchungen:* Während seines stationären Aufenthalts in der Klinik werden die Vitalfunktionen des Patienten überwacht und digital dokumentiert. Zusätzlich können für die Kontrolle des Operationsergebnisses nachfolgende Bildaufnahmen klinisch notwendig sein. Durch geeignete Visualisierungen können die Bilddaten vor und nach dem Eingriff durch den Chirurgen verglichen und damit das Behandlungsergebnis bewertet werden.
- *Abschlussuntersuchung und Entlassung:* Zum Abschluss der Behandlung wird der Patient noch einmal untersucht und ihm in einem Abschlussgespräch die Ergebnisse der Behandlung präsentiert. Zusammen mit allen Untersuchungsergebnissen, Bilddaten und OP-Protokollen werden die Patienteninformationen digital archiviert.

Während diese beiden Prozesslinien ablaufen, werden regelmäßig Daten in einer gemeinsamen Datenbasis der Klinik abgelegt und ausgetauscht.

5. Neue Konzepte und Systeme für einen Computer-Integrierten Operationssaal (CIO)

Im Folgenden werden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Ansätze und Verfahren zur Realisierung eines Computer-Integrierten Operationssaals (CIO) vorgestellt. Das System soll die Prozesse und Geräte vergleichbar der Computer-Integrierten Fertigung (CIM) im Operationssaal unterstützen und vernetzen. Das Gesamtsystem und seine Teilsysteme sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

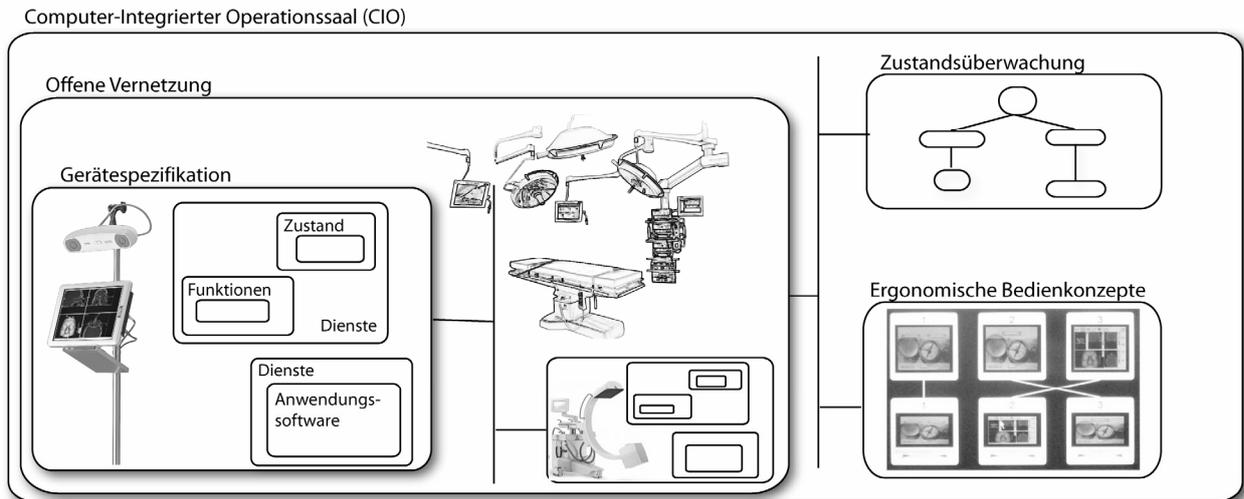


Abbildung 5.1: Aufbau des Gesamtsystems und seiner Teilsysteme

5.1 Eigener Ansatz

Das in dieser Arbeit vorgeschlagene System zeichnet sich durch folgende neuartigen Eigenschaften aus:

- **Unabhängige Gerätespezifikation der OP-Systeme:** Um verschiedene Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander zu verschalten und so einen Daten- und Informationsaustausch zu ermöglichen, werden die Geräte entsprechend ihren Eigenschaften klassifiziert und in unterschiedliche Gerätetypen eingeteilt. Diese Gerätetypen werden als unabhängige Gerätespezifikationen definiert und beschreiben die Systeme auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus. Durch diese Form der formalen Beschreibung können Systeme hinzugefügt und aus dem Netzwerk entfernt werden. Darüber hinaus können die einzelnen Systeme einfacher intern verändert werden, ohne dass dadurch die übrigen Systeme oder die Interaktion mit diesen betroffen werden.
- **Offene Vernetzung der OP-Systeme:** Die in einem Operationssaal vorhandenen und verwendeten Systeme sollen Daten und Informationen untereinander austauschen können. Dazu werden sie informationstechnisch nach einem Multi-Agenten-Ansatz miteinander vernetzt. Jedes System stellt innerhalb dieses Netzwerks seine Dienste zur Verfügung, die dann von den übrigen Geräten abgerufen und genutzt werden können. Damit entstehen innerhalb des Netzes neue Funktionalitäten aus der Verschaltung unterschiedlicher Eigenschaften der einzelnen Geräte. Diese Funktionalitäten müssen nicht durch das OP-Personal aktiviert werden. Die neuen Funktionen werden automatisch erkannt und dem Chirurgen und dem OP-Personal bereitgestellt.

- **Kontinuierliche Zustandsüberwachung im OP:** Das vernetzte Gesamtsystem besteht aus mehreren einzelnen Geräten. Jedes dieser Geräte nimmt zu jedem Zeitpunkt einen bestimmten internen Zustand ein. Der aktuelle Zustand des Gesamtsystems kann sich dadurch ständig ändern und ist stets die Summe seiner Teilzustände. Über eine automatisierte Zustandsüberwachung der integrierten Geräte kann demnach ein Gesamtzustand abgeleitet werden. Aus diesem Gesamtzustand werden automatisch unterschiedliche Phasen des Eingriffs dokumentiert und entsprechende Dokumentationen erzeugt. Zusätzlich dient die Zustandsüberwachung der Filterung aller relevanten Daten für eine kliniktaugliche Darstellung für den Chirurgen, d.h. dem Chirurgen werden nur die für ihn wichtigen Daten zur Verfügung gestellt.
- **Ergonomische Visualisierung und Bedienung:** Das Zusammenschalten von Geräten und die daraus resultierende Informationsflut erfordert auf der einen Seite eine ergonomische Darstellung der Daten. Daher werden aus der automatischen Zustandsüberwachung stets automatisch die für diese Phase relevanten Daten zusammengefasst und dem Chirurgen auf einem oder mehreren Bildschirmen im Operationssaal visualisiert. Auf der anderen Seite muss der Chirurg und das Operationspersonal das Gesamtsystem einfach und unkompliziert bedienen können. Dazu werden unterschiedliche Bedienkonzepte vorgestellt, die auf den klinischen Workflow angepasst sind.

5.2 Abgrenzung

Die im Folgenden beschriebenen Bestandteile des Systems sind nicht im Rahmen dieser Arbeit entwickelt worden:

- **Assistenzsysteme für die Chirurgie:** Die im Rahmen der vorgestellten Konzepte verwendeten Geräte für eine computer-assistierte Chirurgie sind teilweise bereits Stand der Technik und können kommerziell erworben werden. Dazu zählen Navigationssysteme für verschiedene chirurgische Disziplinen, die aus einem optischen oder elektromagnetischen Messsystem, einem Steuerrechner sowie navigierten Instrumenten bestehen. Zusätzlich werden weitere Assistenzsysteme für eine navigierte Leistungssteuerung erwähnt, die in Lüth *et al.*, 2001, beschrieben sind. Die einbezogenen intelligenten Haltesysteme und Instrumente sind derzeit Forschungsprojekte an der TU München, die sich in der klinischen Evaluierung befinden (Maier *et al.*, 2008, Krininger *et al.*, 2008).
- **Kommunikationsstandards:** Für die Vernetzung der Geräte werden je nach Anwendung unterschiedliche Bussysteme und Übertragungsprotokolle verwendet. Diese sind bereits aus anderen Anwendungen der Informatik und Mechatronik bekannt und können entsprechend den Anforderungen für einen Computer-Integrierten Operationssaal verwendet werden.
- **Funkmodule:** Die in der Gerätespezifikation verwendeten Funkmodule zur Identifikation der einzelnen Geräte untereinander sowie deren Funktechnologie sind von der Firma *Nanotron Technologies*. Es handelt sich dabei um *NanoLOC AVR Modul*. Die Module bieten Hardware- und Softwareschnittstellen, über die sie sich untereinander vernetzen können. Sie können frei programmiert werden und sind in unterschiedlichen Sendereichweiten verfügbar.

- **Videoverschaltung:** Für den Konsumerbereich existieren bereits Videomatrizen, um mehrere Videosignale mit Bildschirmen zu verschalten. Diese Matrizen sind skalierbar, das heißt, sie können von 4 Eingängen und 4 Ausgängen bis auf 32 Eingänge und 32 Ausgänge erweitert werden. Die in dieser Arbeit verwendete Videomatrix hat 4 Eingänge und 4 Ausgänge und wird von der Firma *NTI* (USA) hergestellt und vertrieben. Sie kann über eine Fernbedienung, eine LAN-Verbindung oder eine serielle RS-232 Schnittstelle gesteuert werden.

5.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in den folgenden Kapiteln so auf, dass zunächst das Gesamtmodell des Computer-Integrierten Operationssaals vorgestellt wird. Dabei werden Lösungen und Modelle für die im vorherigen Abschnitt dargestellten Unterpunkte einer Gerätespezifikation, einer Geräteverschaltung, einer Zustandsdokumentation und der Bedienkonzepte beschrieben. In den darauf folgenden Kapiteln werden beispielhafte Implementierungen der einzelnen Modellaspekte umgesetzt und deren mögliche Lösungen skizziert. In den beiden letzten Kapiteln werden dann Realisierungen für eine Videoverschaltung sowie für ein integriertes Bediensystem vorgestellt. In Abbildung 5.2 sind die Zusammenhänge und der Aufbau der Arbeit schematisch dargestellt.

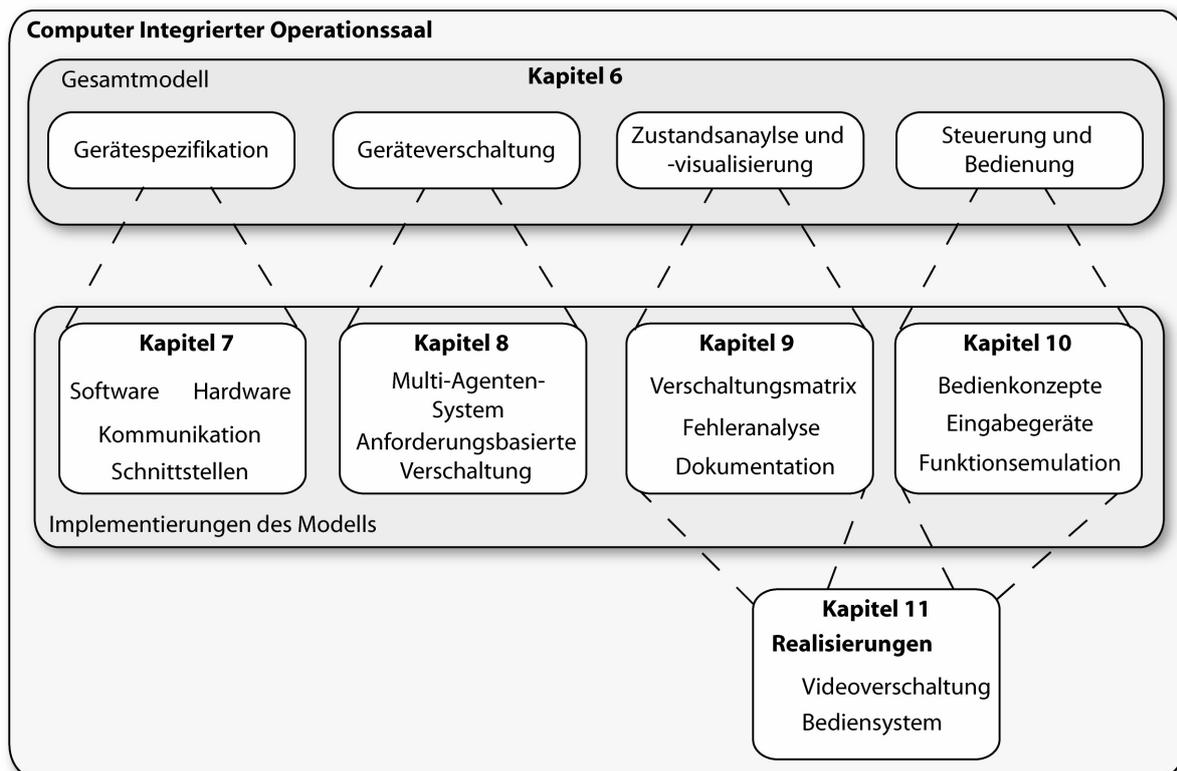


Abbildung 5.2: Die Arbeit untergliedert sich in drei Teilbereiche. Zunächst wird in Kapitel 6 das Gesamtmodell des Computer-Integrierten Operationssaals vorgestellt. In den Kapiteln 7-10 werden Implementierungen und Lösungen für die einzelnen Teilaspekte beschrieben. In den beiden letzten Kapiteln wird die Realisierung von zwei Systemen dargestellt.

6. Systementwurf

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Teilaspekte des im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Konzepts für einen Computer-Integrierten Operationssaal vorgestellt. Dazu werden zunächst die bereits heute in einem Operationssaal vorhandenen Geräte in verschiedene Klassen eingeteilt und so ein Modell des Computer-Integrierten Operationssaals erstellt. Basierend auf dieser Klassifizierung wird eine Gerätespezifikation für die computergestützten Geräte eingeführt. Im Anschluss wird ein Multi-Agenten Ansatz zur Vernetzung und Verschaltung verschiedener Geräte vorgestellt, der es ermöglicht, Daten zwischen verschiedenen Geräten auszutauschen und so neue Gesamtfunktionalitäten durch das Zusammenschalten von Teilfunktionalitäten zu ermöglichen. Zusätzlich werden Verschaltungsansätze von unterschiedlichen Eingabegeräten und Systemen vorgestellt, die sich durch eine transparente Abbildung der Eingabefunktionalitäten auf die anwendungsspezifischen Anforderungen der zu steuernden Geräte auszeichnen. Das dritte Unterkapitel stellt aus den verschiedenen Zustandsinformationen der einzelnen Geräte mögliche Ansätze für die Ableitung eines Zustandes des gesamten Computer-Integrierten Operationssaals vor. Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit der Bedienung und den zugehörigen klinischen Konzepten für eine intuitive Bedienung der computerunterstützten Geräte.

6.1 Modellbildung des computer-integrierten Operationssaals

Heutige Operationssäle enthalten bereits eine Vielzahl an computergesteuerten Geräten und Systemen. Abbildung 6.1a zeigt das OP-Setup während eines endoskopischen Eingriffs der Nasennebenhöhlen. Abbildung 6.1b zeigt einen Eingriff in der offenen Leberchirurgie, bei dem ebenfalls verschiedene Assistenzsysteme und computergestützte Schneideinstrumente zum Einsatz kommen. Diese Geräte und Systeme kommen von verschiedenen Herstellern und werden über mehrere chirurgische Disziplinen innerhalb einer Klinik genutzt.



Abbildung 6.1: a) Endoskopischer Eingriff der Nasennebenhöhlen. Zusätzlich zu dem Endoskop wird ein Navigationssystem basierend auf CT-Bilddaten und ein Dokumentationssystem genutzt. b) Während eines offenen chirurgischen Eingriffs an der Leber wird ein Ultraschallsystem zur intraoperativen Bildgebung verwendet. Zur Orientierung wird ein Navigationssystem mit CT-basierten Planungsdaten eingesetzt. Zum Trennen des Weichgewebes kommt ein computerunterstütztes Schneideinstrument zum Einsatz.

In Abbildung 6.2 ist eine Auflistung der verschiedenen computerunterstützten Geräte in einem Operationssaal abgebildet. Die einzelnen Geräte werden dabei wie folgt untergliedert:

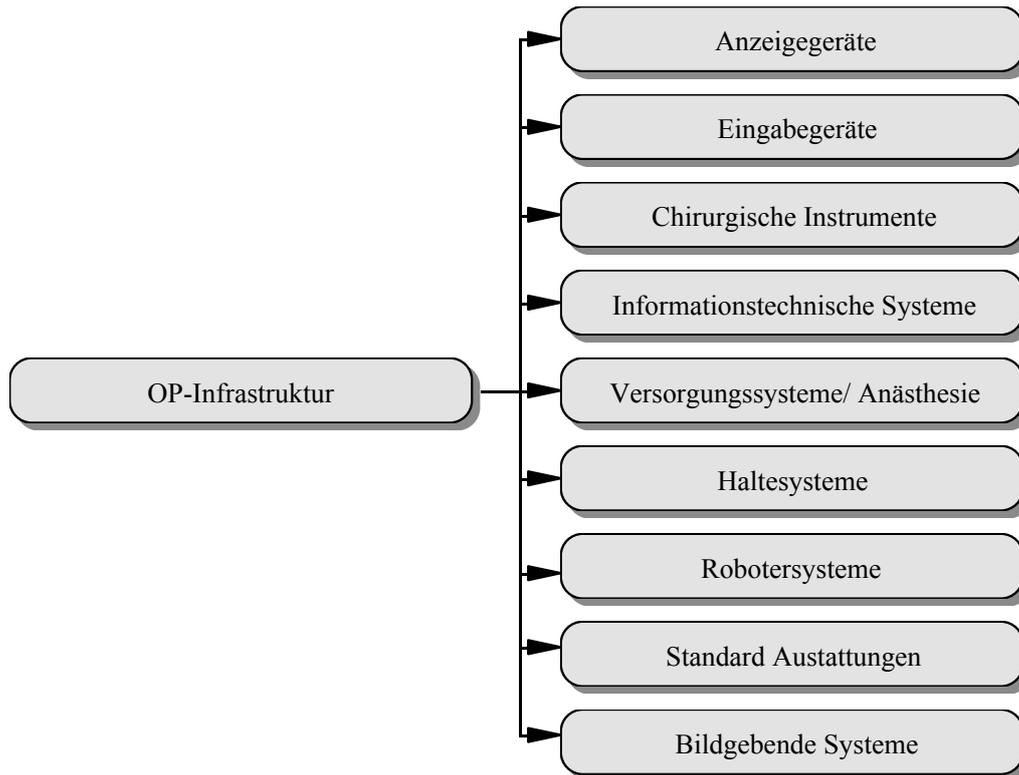


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung einer OP-Infrastruktur. Neben den Standardausstattungen wie Versorgungssysteme oder chirurgischen Instrumenten werden immer mehr computerunterstützte, bildgebende Systeme mit den zugehörigen Eingabe- und Anzeigegeräte verwendet.

- *Bildgebende Systeme:* Die in ihrer technischen Ausprägung am weitesten computerunterstützten Systeme sind die bildgebenden Systeme. Beispiele hierfür sind Computertomographen, C-Bögen, Ultraschallsysteme, Videoendoskope oder -mikroskope. Diese Systeme liefern durch die fortschreitende technische Entwicklung immer hochaufgelöstere Bilder von anatomischen Strukturen des Patienten. Sie werden sowohl während der Untersuchung des Patienten als auch zur intraoperativen Kontrolle verwendet. Die Systeme werden über vorgegebene Benutzerinterfaces der Hersteller bedient und gesteuert und stellen die Bilddaten über Schnittstellen wie VGA/DVI oder auch FireWire zur Verfügung. Eine offene Schnittstelle zur Kommunikation mit anderen Systemen existiert bisher nur in einigen Ausnahmen. Die Bedienung erfolgt über spezielle Eingabegeräte, Touchbildschirme am Gerät oder normale Computermäuse.
- *Anzeigegeräte:* Um die Bilddaten des Patienten, Live-Bilder des Eingriffs sowie Benutzerinterfaces der verwendeten Systeme im Operationssaal visualisieren zu können, werden an den Wänden und an Deckenhalterungen Monitore in unterschiedlichen Größen installiert. So können sowohl die Chirurgen aber auch das OP-Personal sowie die Assistenzärzte in der OP den Verlauf verfolgen. Die Größe der Bildschirme hilft dabei für eine besser aufgelöste Darstellung der Daten und unterstützt damit den Chirurgen während der Orientierung am Situs.
- *Eingabegeräte:* Durch die erhöhte Anzahl an computerunterstützten Systemen im Operationssaal erhöht sich auch die Anzahl der Geräte, um diese Systeme zu

bedienen. Dabei können Fernbedienungen für Operationstische oder Videokameras verwendet werden, aber auch normale Computermäuse, Touchbildschirme oder hersteller- und systemspezifische Eingabegeräte. Diese Systeme können entweder mit Kabel oder per Funk betrieben werden. Eine weitere Möglichkeit, Geräte im Operationssaal zu bedienen, sind Sprachkommandos, die über eigene Spracherkennungssoftware die Sprachesignale in Steuersignale umsetzen.

- *Chirurgische Instrumente:* Die chirurgischen Instrumente sind die wichtigsten Werkzeuge des Operateurs. Sie existieren in sehr vielen Ausprägungen und können als Einwegartikel oder als wiederverwendbares Produkt auf dem Markt sein. In den letzten Jahren sind neben den klassischen Instrumenten wie Skalpell, Pinzette, Schere und Sauger auch motorisierte und computergesteuerte Instrumente hinzugekommen. Diese computergesteuerten Instrumente können Fräsen oder Bohrer zum Abtrag von Gewebe oder Knochen und Dissektoren zum Schneiden von Weichgewebe sein.
- *Informationstechnische Assistenzsysteme:* Zu den informationstechnischen Assistenzsystemen gehören in Disziplinen wie der Neurochirurgie, der Hals-Nasen-Ohrenchirurgie, der Orthopädie oder der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Navigationssysteme zur intraoperativen Visualisierung von Instrumenten in den Bilddaten des Patienten. Diese Navigationssysteme ermöglichen dem Arzt eine bessere Orientierung am Situs und damit eine Erhöhung der Genauigkeit des Eingriffs. Zusätzlich existieren Systeme, die die Schnittstelle zwischen den Navigationssystemen und den chirurgischen Instrumenten darstellen. Sie regeln die Leistung der chirurgischen Instrumente abhängig von deren Lage im Körper, die durch das Navigationssystem gemessen wird. Zu den informationstechnischen Assistenzsystemen gehören auch Archivierungssysteme der Klinik (*PACS, KIS*) oder der Dokumentationsrechner im Operationssaal, in den während des Eingriffs alle Verbrauchsmaterialien eingetragen und besondere Vorkommnisse protokolliert werden.
- *Haltesysteme:* Die Haltesysteme in einem Operationssaal können in zwei Kategorien unterteilt werden. Zur ersten Kategorie gehören Installationen an der Decke oder den Wänden des Saals, an denen wiederum andere Geräte befestigt und bewegt werden können. Neben den klassischen Haltearmen für die OP-Lampe existieren mittlerweile Haltesysteme, die den Magneten des Magnet-Resonanz-Tomographen in den Operationssaal bringen können oder an denen ein C-Bogen an und vom OP-Tisch wegbewegt werden kann.
Zur zweiten Kategorie gehören Systeme und Halterungen, die am OP-Tisch befestigt sind und für die Fixierung des Patienten am OP-Tisch dienen oder an denen Manipulatoren für die Instrumentenführung oder z.B. die Endoskopführung befestigt werden können.
- *Robotersysteme:* Es existieren bereits heute unterschiedliche Robotersysteme, die in der klinischen Routine eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind *ROBODOC*, ein Roboter für die Orthopädie oder der *DaVinci* Roboter, der in der Urologie eingesetzt wird. Diese Systeme verändern stark den klinischen Workflow und bedürfen einer intensiven Schulungs- und Trainingsphase.
- *Versorgungssysteme / Anästhesie:* Die Versorgungssysteme zur sicheren und stabilen Bereitstellung von Sauerstoff und weiteren Gasen für die Narkose des Patienten sind ein wichtiger Bestandteil des Operationssaals. Diese sind entweder fest in den

Wänden des Saals installiert oder werden an Deckensystemen an den Operationstisch herangeschwenkt.

- *Standardkomponenten:* Zu den Standardkomponenten eines Operationssaals zählen die OP-Lampen, die meist an der Decke montiert und über Gelenkarme im Raum bewegt werden können. Eine weitere Standardkomponente ist der Operationstisch, der elektrisch verstellbar ist und so in seiner Position an verschiedene Operationsszenarien angepasst werden kann.

6.2 Gerätespezifikation

Um die im Operationssaal bereits vorhandenen und zukünftig entwickelten computerunterstützten Geräte formal beschreiben zu können, müssen die Geräte in verschiedene Klassen mit definierten Parametern und Schnittstellen eingruppiert werden. Eine erste Klassifizierung wurde bereits in Abbildung 6.2 dargestellt. Jedoch kann diese Klassifizierung weiter eingeschränkt und spezifiziert werden. Für eine Klassifizierung der Geräte gibt es jedoch weitere Möglichkeiten, eine Gruppierung vorzunehmen:

1. *Klassifizierung nach MDD 93/42 EWG:* Jedes Medizinprodukt ist nach dem Medizinproduktegesetz im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens zu klassifizieren. Dabei sind 18 Regeln anzuwenden, um entsprechend den Eigenschaften des Medizinprodukts die Klassifizierung durchzuführen. Es existieren vier unterschiedliche Klassen (I, IIa, IIb, III), nach denen differenziert wird. Nachteil einer formalen Beschreibung basierend auf dieser Klassifizierung ist, dass im Rahmen der Klassifizierung nicht eindeutig nach Benutzungsparametern und Geräteparametern unterschieden wird. Dadurch würden bei einer formalen Beschreibung diese Parameter vermischt und das Modell so zu kompliziert.
2. *Zweckbestimmung und Funktion:* Jedes Gerät im Operationssaal hat definierte Funktionen. Dabei können sich diese Funktionen zwar in ihrer speziellen Ausprägung von anderen Geräten unterscheiden, jedoch können die Funktionen bei einer abstrakteren Sichtweise zusammengefasst werden. Danach gibt es viele Systeme, die medizinische Bilddaten erzeugen wie z.B. Ultraschallgeräte, Endoskop, Mikroskop, C-Bogen, usw. Weiterhin gibt es Systeme, die elektrische Pumpen oder Motoren von chirurgischen Instrumenten und Werkzeugen antreiben. Anhand dieser beiden Beispiele ist bereits erkennbar, dass die oben aufgeführten Systeme bereits zwei Klassen von Geräten in einem Operationssaal bilden können.
3. *Intraoperative Benutzung:* Geräte und Instrumente, die während der verschiedenen Operationsphasen parallel verwendet werden, können jeweils in einer gemeinsamen Geräteklasse zusammengefasst werden. Die formale Beschreibung bei dieser Form der Klassifizierung würde sich nicht mehr auf spezielle Eigenschaften und informationstechnische Funktionen der Geräte beziehen. Diese Klassifizierung wäre aber besser geeignet, die einzelnen Workflows der unterschiedlichen chirurgischen Disziplinen abzubilden.
4. *Informationstechnische Schnittstellen:* Dieser Betrachtungsweise fasst die Geräte in einer gemeinsamen Geräteklasse zusammen, die gemeinsame informationstechnische Ein- und Ausgänge haben. Hierbei würden z.B. nicht mehr alle bildgebenden Systeme in einer Klasse auftauchen. Stattdessen gäbe es eine Unterscheidung zwischen denen,

die z.B. einen S-Video Ausgang wie ein Endoskop oder Mikroskop haben und denen, die über einen LAN-Stecker an das PACS-System der Klinik angebunden sind.

In Abbildung 6.3 sind verschiedene Systeme eines Operationssaals zusammen mit ihren Konformitätsklassen, ihrer intraoperativen Benutzung sowie den Schnittstellen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Systeme unterschiedlicher Benutzungstypen die gleiche Konformitätsklasse haben können. Eine formale Beschreibung nach diesem Kriterium ist jedoch nicht zu empfehlen, da sich die Geräte zu stark in ihren Schnittstellen und Anwendungen unterscheiden. Darüber hinaus macht eine Klassifizierung nach den informationstechnischen Schnittstellen alleine keinen Sinn, da sich die Geräte in ihrer intraoperativen Anwendung und der Anzahl unterschiedlicher Schnittstellen zu stark unterscheiden.

In den folgenden Betrachtungen dieser Arbeit werden daher die Geräte nach der zweiten Möglichkeit, der *Zweckbestimmung und ihrer Funktion* klassifiziert. Diese Beschreibungsform ist eine Kombination aus Punkt 4, den *informationstechnischen Schnittstellen* und Punkt 3, der intraoperativen Benutzung. Sie erlaubt die Gruppierung von gemeinsamen physikalischen Parametern (z.B. Motoren und Pumpen, Schnittstellen) sowie die Zusammenfassung nach Eigenschaften für den intraoperativen Ablauf (z.B. Bildgebung, Instrument). In Abbildung 6.3 sind diese Klassen durch die grau hinterlegten Kästen gekennzeichnet.

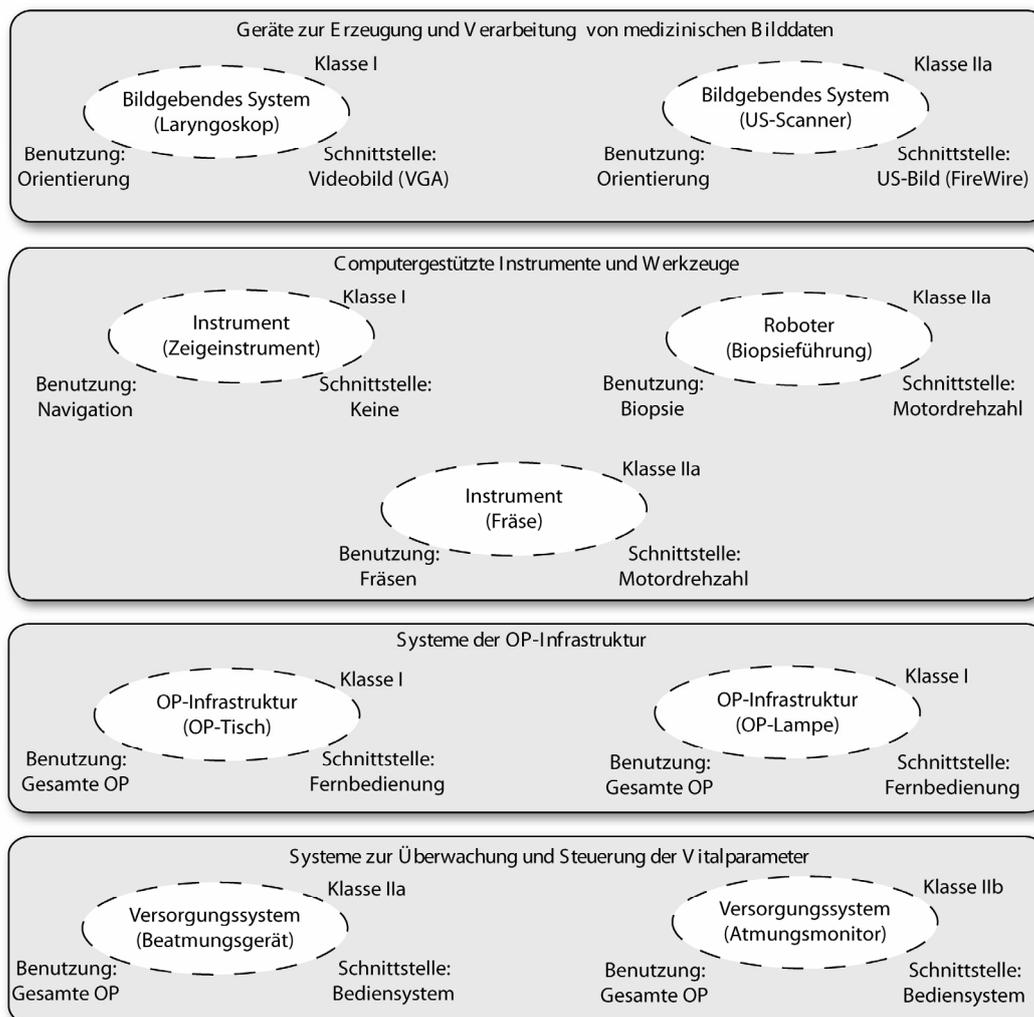


Abbildung 6.3: Klassifizierung von computergestützten Geräten in einem Operationssaal.

Die Geräte eines Operationssaals lassen sich damit in vier Gruppen aufteilen:

- 1) Geräte zur Erzeugung und Verarbeitung von medizinischen Bilddaten
- 2) Computergestützte Instrumente und Werkzeuge
- 3) Systeme zur Überwachung und Steuerung der Vitalparameter
- 4) Systeme der OP-Infrastruktur

Diese vier Klassen werden im Folgenden detailliert beschrieben und ihre Eigenschaften dargestellt.

6.2.1 Geräte zur Erzeugung und Verarbeitung von medizinischen Bilddaten

In diese Geräteklasse fallen sowohl alle bildgebenden Systeme (CT, C-Bogen, Endoskop, Mikroskop, Ultraschall, usw.) wie auch alle Geräte, die diese Informationen einlesen und dem Chirurgen bei der Diagnose oder Orientierung am Situs helfen (Navigationssysteme, Planungssystem, Virtuelle Endoskopiesysteme, Dokumentationssystem, Anzeigesysteme, usw.). Die Bilddatenformate können bei diesen Geräten entweder im DICOM-Format ausgetauscht werden, oder aber die Daten werden direkt per USB, FireWire oder VGA übertragen.

Die Geräte haben unterschiedliche Anforderungen an die Kommunikationssysteme, an die sie angeschlossen werden. Sie können die Steuerinformationen, die die Geräte von anderen Geräten oder vom Chirurgen über spezielle Eingabesysteme erhalten, verarbeiten und entsprechende Aktionen auslösen. Die Signale werden dazu über nicht echtzeitfähige Leitungen und Protokolle wie USB, LAN oder Funk übertragen. Eine Zeitverzögerung bei diesen Daten spielt für die Sicherheit des Patienten keine Rolle. Sie behindert bei zu starker Ausprägung jedoch eine intuitive Benutzung des Systems durch den Chirurgen. Gleiches gilt bei der Übermittlung von Bilddaten eines intraoperativen CT oder eines Planungssystems an ein Navigationssystem oder ein Dokumentationssystem. Diese Daten werden zu Beginn des Eingriffs eingeladen oder während der OP zur Kontrolle aktualisiert und entsprechend neu eingelesen bzw. auf dem Dokumentationssystem abgelegt.

Allerdings gibt es auch bei dieser Klasse von Geräten Daten und Informationen, bei denen Echtzeit bei der Übermittlung der Daten gewährleistet sein muss. So muss das intraoperative CT oder die Röntgenquelle eines C-Bogen wirklich abgeschaltet werden, wenn es der Benutzer oder ein anderes Gerät vorgibt. Bei den Bilddaten müssen schnelle Übertragungswege für die Bilddaten von Endoskop oder Ultraschall vorhanden sein, da ein Zeitverzug dem Chirurgen eine intuitive Verwendung der Geräte nicht ermöglichen würde. Abbildung 6.4 zeigt die Verknüpfung von verschiedenen Geräten zur Verarbeitung von medizinischen Bilddaten und ihre unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen.

Damit sind für die Beschreibung dieser Geräteklasse bereits zwei Anforderungen zu stellen:

1. Es werden Schnittstellen zur echtzeitfähigen Kommunikation für die Übermittlung von zeitkritischen Daten benötigt.
2. Zusätzlich müssen für Steuer- und Bedienbefehle weitere Schnittstellen für den Datenaustausch von nicht-zeitkritischen Informationen vorhanden sein.

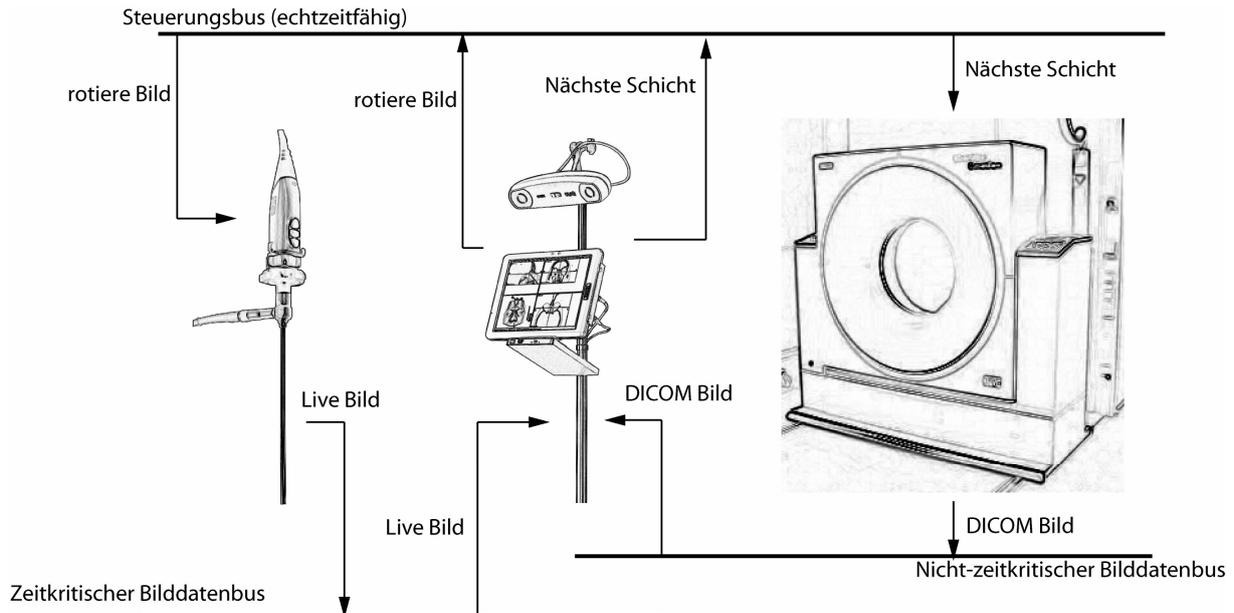


Abbildung 6.4: Datenaustausch zwischen mehreren Geräten zur Erzeugung und Verarbeitung von medizinischen Bilddaten. Für die Kommunikation müssen sowohl echtzeitfähige als auch nicht-echtzeitfähige Kommunikationswege implementiert werden.

6.2.2 Computergestützte Instrumente und Werkzeuge

Zu dieser Klasse werden alle motorisierten Schneide-, Bohr und Saugwerkzeuge zugeteilt. Diese computerunterstützten Instrumente sind aufgrund ihrer zeitkritischen Kommunikation bisher als eigenständige Lösungen realisiert, sodass keine Kommunikation mit anderen Geräten notwendig ist. Sie werden über Fußpedale oder spezielle Eingabesysteme bedient. Da aber in neuen Entwicklungen (Koulechov, 2006) zwischen den Motoren der Instrumente und den Steuerungseinheiten weitere Geräte zur computergestützten positionsabhängigen Regelung und Abschaltung der Instrumente geschaltet werden, müssen diese Geräte ebenfalls eine echtzeitfähige Kommunikation mit anderen Geräten ermöglichen. Zusätzlich können mit den Steuereinheiten der Werkzeuge nicht-zeitkritische Daten zur Dokumentation oder zur Statusabfrage ausgetauscht werden, was eine weitere Schnittstelle für die Daten erfordert.

Zu dieser Kategorie von Geräten zählen auch Robotersysteme und intelligente Instrumentenhaltesysteme, die in verschiedenen Ausprägungen zur präzisen Führung und Kontrolle von chirurgischen Instrumenten verwendet werden. Die Führung kann dabei an andere Geräte im Operationssaal wie zum Beispiel ein Navigationssystem gekoppelt sein und automatisiert ablaufen, oder aber sie erfolgt manuell über Eingabesysteme durch den Chirurgen. Diese Systeme müssen bei der Kommunikation mit anderen Systemen eine echtzeitfähige Kommunikation unterstützen, damit sie vorgegebene Bewegungen innerhalb von definierten Zeitschranken korrekt ausführen können. In Abbildung 6.5 ist eine Kombination eines Endoskophaltesystems mit einem Navigationssystem dargestellt. Das Navigationssystem misst die Lage des Zeigeelements und des Endoskopkopfes mit Hilfe eines optischen Messsystems und optischen Reflektoren an den Instrumenten. Das Endoskop kann im Anschluss so durch das automatisierte Haltesystem nachgeführt werden, dass die Spitze des Instruments bei langsamen Bewegungen im Patienten immer im Endoskopbild sichtbar ist.

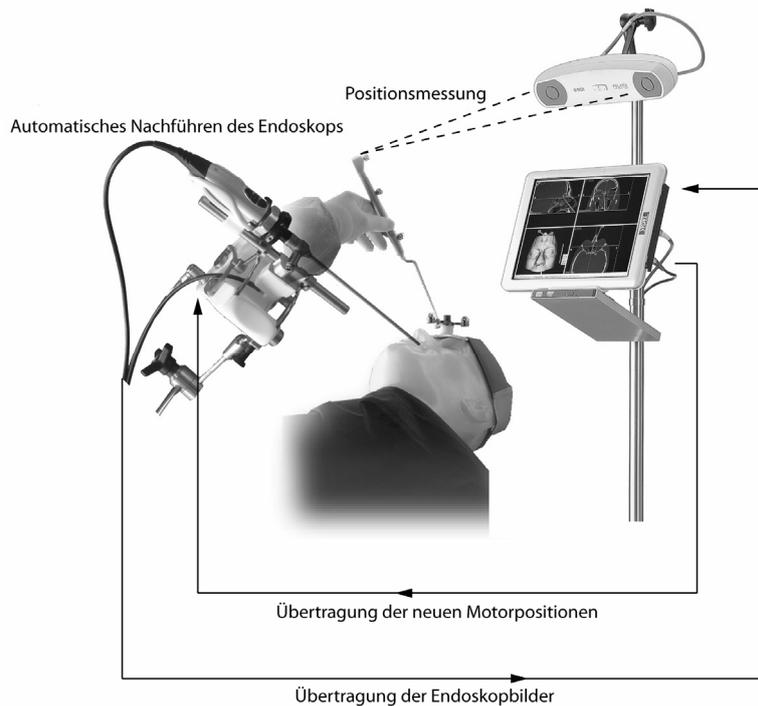


Abbildung 6.5: Kombination eines intelligenten Haltesystems mit einem Navigationssystem. Die Kommunikation der aktuellen Position des Kamerakopfes wird über ein optisches Positionsmesssystem ermittelt. Die Befehle zur Nachführung des Endoskops durch das Haltesystem müssen über eine echtzeitfähige Leitung erfolgen.

6.2.3 Geräte zur Überwachung und Steuerung von Vitalparameter

Diese Systeme dienen der Überwachung des Patienten. Sie werden für die Anästhesie verwendet und können Daten bezüglich der Vitalparameter des Patienten für andere Geräte zur Verfügung stellen, damit diese dem Chirurgen dann eingeblendet werden können. Da die Geräte im Verantwortungsbereich des Anästhesisten liegen und nicht von Chirurg beeinflusst werden dürfen, haben auch keine Geräte aus dem chirurgischen Bereich des Operationssaals steuernden Zugriff auf diese Systeme. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass andere Anwendungen einige Daten der Versorgungssysteme abfragen können, um sie dem Chirurgen bei Bedarf einzublenden. Damit müssen die Geräte dieser Kategorie eine Schnittstelle für eine nicht-echtzeitfähige, unidirektionale Verbindung zur Verfügung stellen.

6.2.4 Systeme der OP-Infrastruktur

Zur Klasse der Systeme der OP-Infrastruktur gehören alle Geräte und Installationen im Operationssaal, die nicht direkt für die Versorgung des Patienten oder den chirurgischen Eingriff verwendet werden. Dazu zählen z.B. der Operationstisch, die OP-Lampen an der Decke oder ein Dokumentationsrechner im Operationssaal, in dem alle Verbrauchsmaterialien eingetragen werden. Diese Systeme werden ebenfalls in die informationstechnische Struktur des Operationssaals eingebunden. Damit können Szenarien wie das automatische Dimmen des Lichtes durch ein Steuergerät während einer Ultraschallaufnahme oder das automatische Einstellen des Operationstisches während der intraoperativen MRT-Aufnahme realisiert werden. Die Geräte können in ihrer bisherigen Ausprägungen meist per Fernbedienung bedient werden.

Durch ihren individuellen Aufbau mit stark unterschiedlichen Komponenten und Eigenschaft werden diese Geräte durch verschiedene, fest vorgegebene Szenarien beschrieben, die dann gerätespezifisch vom jeweiligen Hersteller umgesetzt werden. Das bedeutet, dass ein Operationstisch beispielsweise nicht beliebig durch die übrigen Systeme verstellt werden kann. Stattdessen können die übrigen Geräte die vorgegebenen Einstellungen abfragen und dann entscheiden, welche von den Positionen eingenommen werden soll. Das gleiche gilt für OP-Lampen, bei denen verschiedene Dimmstufen vorgegeben sind und die dann von anderen Geräten eingestellt werden können.

Die Anforderungen an eine Kommunikation sind bei Geräten dieser Klasse nicht als zeitkritisch einzustufen, da durch die aufgerufenen Funktionen der Geräte keine direkte Gefährdung für den Patienten ausgeht. Diese Geräte benötigen daher lediglich eine Schnittstelle für eine nicht-echtzeitfähige Kommunikation.

6.3 Formale Beschreibung der Geräteklassen

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die unterschiedlichen Geräteklassen eingeführt wurden, soll in diesem Abschnitt eine allgemeine Gerätebeschreibung für computerunterstützte Geräte im Operationssaal vorgestellt werden. Mit Hilfe der Beschreibung können die Geräte formal beschrieben werden. Sie dient als Grundlage für zukünftige Neuentwicklungen und ermöglicht eine herstellerunabhängige Vernetzung von unterschiedlichen Geräten.

Für die Beschreibung wird ein objektorientierter Ansatz gewählt. Jedes Gerät kann demnach in unterschiedliche Ebenen bestehend aus Parametern und Methoden zerlegt werden. Die Parameter können nur über definierte Methoden verändert und abgefragt werden. Diese Methoden bietet das Gerät in Form von Diensten an, die dann in einem späteren Multi-Agenten Netzwerk von den übrigen Geräten genutzt werden können. Die Dienste können über verschiedene Kommunikationsschnittstellen bereitgestellt werden. Weiterhin enthält jedes Gerät ein Funkmodul, in dem die eigenen Informationen über Dienste und Geräteanforderungen (Geräteidentifikation, Version, Spannungsversorgung, usw.) gespeichert sind. Über eine Funkverbindung können die Informationen schon vor einer Vernetzung durch andere Geräte abgefragt werden.

Zusätzlich werden die Methoden und die Parameter in der Beschreibung des Geräts von der Benutzerschnittstelle entkoppelt. Damit können Hardwarefunktionalitäten auch über geeignete Methoden von außen genutzt werden und sind nicht auf die eigentliche Anwendungssoftware des Geräts beschränkt. Darüber hinaus können verschiedene Anwendungen für ein Gerät implementiert werden, die auf die jeweiligen Erfordernisse (Inbetriebnahme, Wartung, regelmäßige Selbsttests, Standardbenutzung nach Zweckbestimmung) zugeschnitten sind.

Durch diese Entkopplung ist es möglich, dass auch die Anwendungssoftware spezielle Funktionalitäten als Dienste zur Verfügung stellt und so zum Beispiel andere Geräte die Benutzeroberfläche eines anderen Gerätes nutzen können, um die eigenen Daten dort darstellen zu lassen. Das kann zum Beispiel im Falle einer chirurgischen Fräse die aktuelle Motordrehzahl sein, die in das Endoskopbild oder das Navigationsbild mit eingeblendet wird. In Abbildung 6.6 ist die schematische Beschreibung eines Gerätes mit seinen Teilkomponenten und den Datenflüssen innerhalb des Geräts dargestellt.

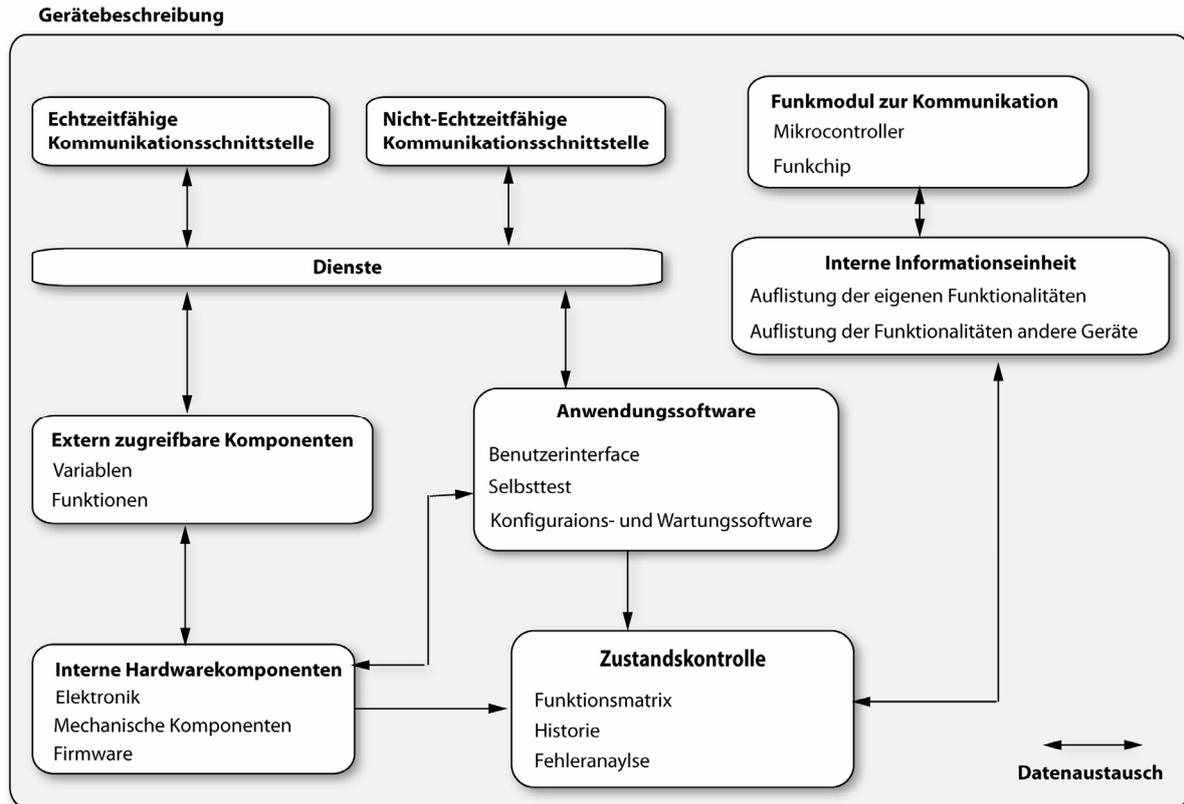


Abbildung 6.6: Allgemeine Gerätebeschreibung eines computerunterstützten Gerätes im Operationssaal. Die Schnittstellen, um mit anderen Geräten zu kommunizieren sind optional und müssen nicht an jedem Gerät verwendet werden oder können auch mehrfach auftreten.

Ein Gerät besteht demnach im vorgestellten Modell des Computer-Integrierten Operationssaals aus den folgenden Teilkomponenten:

- Anwendungssoftware:* Damit der Chirurg oder das OP-Personal ein Gerät nutzen kann, bieten die meisten Geräte eine Benutzeroberfläche, über die das Gerät gesteuert und Parameter manipuliert werden können. Daneben gibt es in jedem computerunterstützten Gerät eine Hauptapplikation, die nach dem Einschalten des Gerätes abläuft und den Geräteprozess darstellt. Diese Hauptapplikation kann neben der Steuerung und Benutzeroberfläche des eigentlichen Gerätes auch Funktionen und Dienste zur Verfügung stellen, die von anderen Geräten genutzt und so als Informationen in die Benutzeroberfläche eingeblendet werden.

Neben der Anwendungssoftware für den Chirurgen und das OP-Personal bietet jedes Gerät zusätzliche Anwendungssoftware für die Prozessinstallation des Gerätes und die regelmäßige Wartung. Die Anforderungen an die Software während dieser Phasen sind andere als bei der intraoperativen Benutzung. Das Gerät zeigt während der Installation und Wartung den richtigen Verkabelungsstatus sowie die Ergebnisse eines Selbsttests an. Zusätzlich können Kommunikationen mit anderen Geräten getestet und installiert werden. Außerdem können im Installations- und Wartungsmodus neue Softwaremodule eingespielt oder die gesamte Anwendungssoftware aktualisiert werden.

- *Interne Hardwarekomponenten mit Software:* Die eigentlichen Funktionen eines Gerätes werden durch die intern verbauten Komponenten erfüllt. Diese Komponenten bestehen aus elektrischen und mechanischen Bauteilen. Zusätzlich können viele Bauteile über Mikrocontroller programmiert werden und enthalten damit ebenfalls eine Softwarekomponente. Diese Komponenten sind nicht von außen zugreifbar und können nur vom Hersteller bei Wartungs- oder Installationsarbeiten aktualisiert werden.
- *Dienste:* Die nach außen verfügbaren Funktionen werden den übrigen Geräten als Dienste zur Verfügung gestellt. Dabei werden Dienste wie z.B. Bilddaten an einem angeschlossenen Bilddatenbus kontinuierlich zur Verfügung gestellt. Über einen Informationsbus können Dienste auch explizit von anderen Geräten angefordert werden.
- *Zustandskontrolle:* Jedes Gerät besteht aus mehreren zusammenhängenden Komponenten und Softwaremodulen. Es kann verschiedene Einstellungen einnehmen und damit auch durch verschiedene Zustände innerhalb der Benutzung durch den Anwender repräsentiert werden. Für ein Navigationssystem können diese verschiedenen Zustände zum Beispiel die Initialisierung, der Planungsmodus und der Navigationsmodus sein. Diese Zustände eines Gerätes werden intern für jedes Gerät überwacht und können bei Anforderung durch ein zweites Gerät ebenfalls als Dienst abgerufen werden.
- *Funkmodul zur Kommunikation:* Um nicht jedes Gerät mit einem anderen Gerät verbinden zu müssen, enthält jedes Gerät ein Funkmodul, über das es mit anderen Geräten im Operationssaal kommunizieren kann. Dabei ist die Reichweite der Funkchips so zu begrenzen, dass nur Geräte in der unmittelbaren Umgebung miteinander kommunizieren können. Die Geräte teilen sich dann per Funk ihre jeweiligen Dienste mit, die sie den anderen Geräten zur Verfügung stellen können.
- *Interne Informationseinheit:* Die eigenen Informationen eines Gerätes bzgl. der eigenen verfügbaren Dienste und Daten, sowie eine Liste der übrigen von anderen Geräten verfügbaren Dienste werden in einem geräteeigenen Informationsmodul abgelegt. Diese Daten müssen innerhalb des Netzwerkes konsistent gehalten und bei Hinzufügen von neuen Geräten oder beim Ausschalten eines Gerätes aktualisiert werden.
- *Extern zugreifbare Komponenten:* Wie die internen Hardwarekomponenten bestehen auch diese Komponenten aus Hard- und Software und sind für die Steuerung des Gerätes notwendig. Diese Komponenten mit ihren Funktionalitäten sind von außen über die Dienste zugreifbar und können vom Anwender oder anderen Geräten manipuliert werden.
- *Echtzeitfähige Kommunikationsschnittstelle:* Wie bereits in der Definition der vier Geräteklassen beschrieben, haben die Geräte je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Anforderungen an die Kommunikation. In der allgemeinen Gerätebeschreibung hat daher ein Gerät mindestens eine Schnittstelle für die Übertragung von zeitkritischen Daten. Diese Schnittstelle ist allerdings optional und kann bei der Realisierung von einigen Geräten entfallen. Die reale Umsetzung der Schnittstelle wird in den folgenden Kapiteln der Implementierung des vorgestellten Modells gezeigt.

- *Nicht-Echtzeitfähige Kommunikationsschnittstelle:* Jedes Gerät in einem vernetzten Operationssaal tauscht mit anderen Systemen Daten und Informationen aus. Daher bietet jedes Gerät mindestens eine physikalische Schnittstelle für die Datenübertragung von nicht-zeitkritischen Daten.

6.4 Verschaltung von Geräten

Nachdem in den vorangegangenen Unterkapiteln die formale Beschreibung der einzelnen Geräte eines Operationssaals eingeführt wurde, soll im nächsten Abschnitt die Verschaltung der Geräte zu einem interaktiven Netzwerk vorgestellt werden. Darin können Geräte miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Durch die Verschaltung von mehreren unabhängigen Geräten entstehen neue Funktionalitäten, die sich wiederum aus den spezifischen Funktionalitäten der einzelnen Geräte zusammensetzen.

Weiterhin spielt durch die ständig steigende Zahl von möglichen Eingabesystemen die Verschaltung der unterschiedlichen Eingabegeräte und deren Eingabefunktionalitäten mit den zu steuernden Geräten eines Operationssaals eine wichtige Rolle. Dabei können nicht immer alle Funktionalitäten eines Eingabegerätes für die spezifische Anwendung genutzt werden. Daher müssen die verfügbaren Eingabeparameter auf die tatsächlich benötigten Eingabesignale der Anwendung abgebildet werden können.

6.4.1 Multi-Agenten Netzwerk

Das Netzwerk der Geräte im Computer-Integrierten Operationssaal ist als Multi-Agenten-Netzwerk organisiert. Die Geräte in einem solchen Netzwerk werden als Agenten bezeichnet. Jedes Gerät tritt gegenüber den übrigen Agenten im Netzwerk als ein unabhängiges Gerät mit den gleichen Rechten bezüglich der Nutzung von allgemeinen Ressourcen wie z.B. einer Bilddatenbank oder einem allgemeinen Informationssystem auf. Jeder Agent stellt seine nach außen offenen Funktionen als Dienste an einem Datenbus zur Verfügung. Die anderen Agenten im Netzwerk können diese Dienste abrufen und nutzen.

Abbildung 6.7 zeigt den hierarchischen Aufbau eines beispielhaften Netzwerkes. Für jede Geräteklasse können mehrere unterschiedliche Geräte im Netz vertreten sein. Jedes Gerät ist seinen Anforderungen entsprechend an mehrere Bussysteme angeschlossen, die die jeweiligen Bedingungen an die Übertragung gewährleisten. Es gibt drei Bussysteme im Netzwerk:

- *Bilddatenbus:* Über diese Bussysteme werden die Bilddaten übertragen. Dabei existieren für intraoperative Bilddatenübertragungen Bussysteme, über die Bilder mit nur sehr geringer Zeitverzögerung übertragen werden können (FireWire800, VGA), während für das Laden oder Dokumentieren von Bilddaten zwischen zwei Geräten Kommunikationswege wie USB oder LAN ausreichend sind.
- *Informationsbus:* Zum Austausch von Informationen bzgl. Geräteeinstellungen und Parameterinformationen von gesendeten Daten wird ein Informationsbus verwendet, an den keine Echtzeitanforderungen zu stellen sind. Er kann als serielle Kommunikation implementiert werden.
- *Steuerbus:* Über den echtzeitfähigen Steuerbus können Steuersignale an Motorsteuerungen oder intelligente Haltesysteme übertragen werden. Diese Daten

verlangen Sicherheitsanforderungen und Zeitschranken, die durch das Übertragungssystem eingehalten werden müssen.

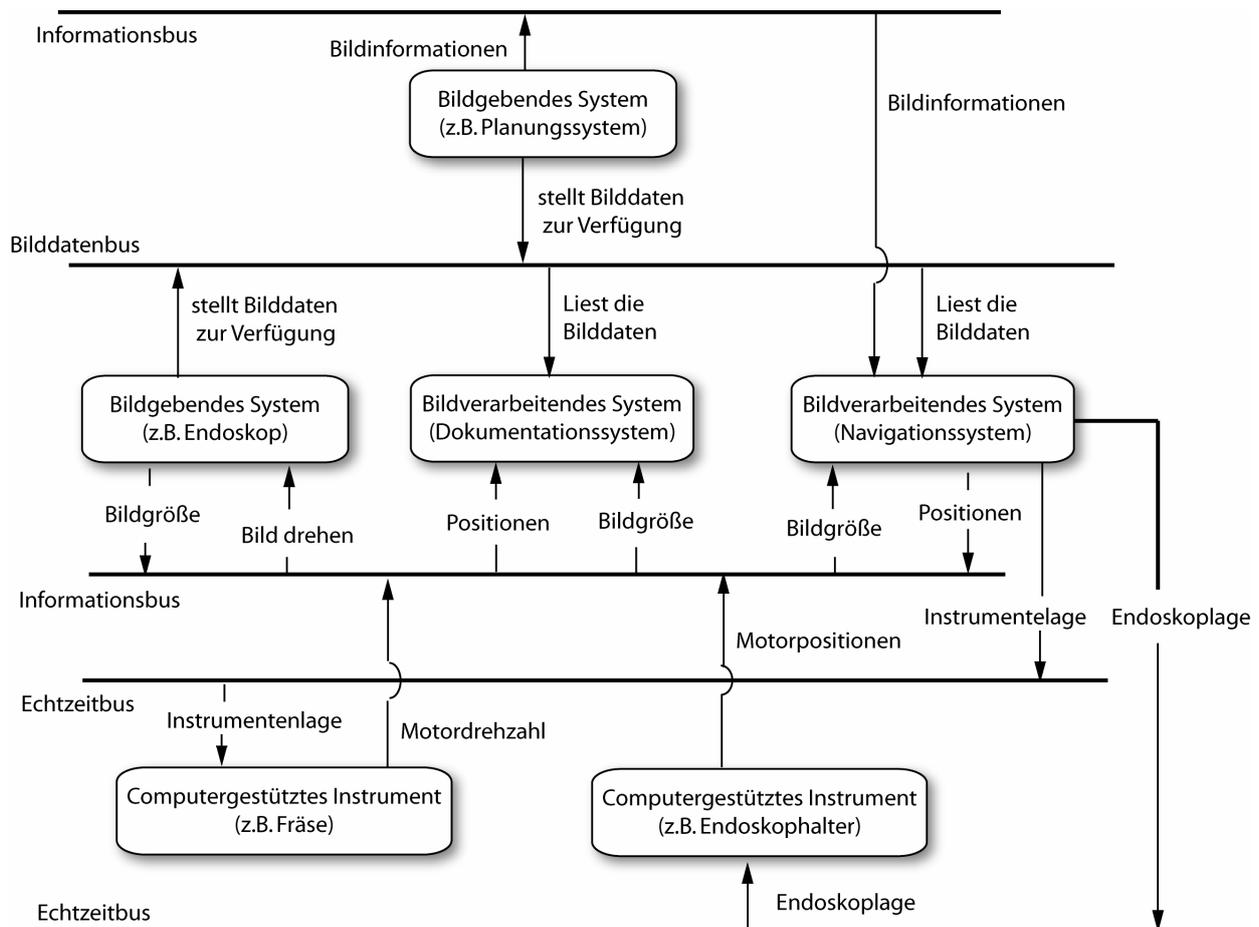


Abbildung 6.7: Beispielhafte Verschaltung von unterschiedlichen Systemen über die drei Bussysteme des Netzwerks.

Innerhalb des Netzwerks gibt es für jeden Gerätetypen einen eigenen Agent, der als Mediator im Netzwerk agiert. Das bedeutet, dass dieser Mediator bei Konflikten zwischen zwei Geräten vermittelt und Ressourcen zuteilen kann. Zusätzlich zu den Mediatoren der einzelnen Geräteklassen gibt es einen weiteren Agenten im Netzwerk, der ausschließlich für die Zustandsüberwachung des Systems verantwortlich ist. Dieser Agent kann die Einzelzustände der Systeme abfragen und so einen Gesamtzustand ableiten. Daraus kann eine Dokumentation von Ausfällen oder Fehlern im Netzwerk erstellt oder eine Übersicht über die für einen Eingriffstyp verwendeten und verschalteten Geräte generiert werden.

Zusätzlich kann dieser Gesamtzustand intraoperativ dafür verwendet werden, dem Chirurgen neue mögliche Funktionalitäten anzuzeigen oder ihn darauf hinzuweisen, dass durch weitere Komponenten zusätzliche Funktionalitäten genutzt werden können. Beispiele hierfür sind Situationen, in denen der Chirurg zum Beispiel ein Instrument oder eine bildgebendes System verwendet und das System ihn darauf hinweist, dass ebenfalls eine Navigationskamera freie Sicht auf den Situs hat und damit ein navigierter Einsatz der Instrumente möglich wäre.

Damit die unterschiedlichen Geräte überhaupt die Dienste eines anderen Gerätes nutzen können, müssen sie über die vorhandenen Dienste und Funktionalitäten innerhalb des

Netzwerks informiert sein. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Informationen zu verwalten und das Netzwerk zu steuern:

- *Zentrales Verwaltungs- und Steuergerät:* Alle Agenten im Netzwerk melden sich bei einem zentralen Verwaltungs- und Steuergerät an und teilen diesem die möglichen Dienste mit. Das Verwaltungsgerät speichert die notwendigen Informationen und meldet jedem neuen Agenten die bereits vorhandenen Dienste. Bei dieser Form der Datenverwaltung müssen die Agenten nicht direkt miteinander kommunizieren können. Allerdings müssen sich alle Agenten beim Verwaltungsgerät anmelden, um mit diesem Daten auszutauschen. Fällt die zentrale Verwaltung aus oder wird nicht vom OP-Personal angeschaltet, ist keine Vernetzung der Geräte möglich.
- *Dezentrale Informationsverwaltung:* Der Nachteil eines Ausfalls der gesamten Vernetzung wird durch eine dezentrale Informationsverwaltung vermieden. Hierbei kommunizieren alle im Netz verfügbaren Geräte untereinander und melden sich bei Inbetriebnahme an. Jedes Gerät speichert alle Informationen der übrigen Geräte. Dadurch können auch intraoperativ Geräte hinzugefügt bzw. entfernt werden, ohne die Gesamtvernetzung der übrigen Geräte zu beeinflussen.

In dem hier vorgestellten Modell des Computer-Integrierten Operationssaals wird die zweite Möglichkeit, die der *dezentralen Informationsverwaltung*, verwendet. Jedes Gerät fragt nach seiner eigenen Initialisierung über das integrierte Funkmodul die verfügbaren Dienste der übrigen Geräte an und speichert diese lokal ab. Zusätzlich agiert das erste Gerät jedes Gerätetyps der vier Geräteklassen als Mediator und teilt dies den zusätzlich hinzukommenden Geräten bei deren Anfrage nach dem Einschalten mit. Wird der Mediator abgeschaltet, wird über das Funkmodul dem zweiten Gerät seiner lokalen Liste mitgeteilt, dass es ab sofort als Mediator im Netzwerk auftritt. Der neue Mediator teilt die Änderung dann den übrigen Agenten im Netzwerk mit.

6.4.2 Verschaltung von Eingabegeräten mit zu steuernden Geräten

Bei bisherigen Eingabesystemen im Operationssaal ist die Bedienung und Steuerung eines Gerätes, d.h. das Bedienkonzept, fest mit einem Eingabegerät verbunden. Das bedeutet, dass mit einer 2D-Maus ein Mauszeiger in der Ebene bewegt wird, während mit einer 3D-Maus dreidimensionale Modelle manipuliert werden können. Im Bereich von Aktoren sind die Eingabegeräte Fußpedale oder Regler, über die Leistung an einem Aktor freigegeben werden kann. Auch hier sind die physikalischen Eigenschaften des Fußpedals fest mit dem Bedienkonzept und damit der Steuerung eines Aktors verbunden.

Um verschiedene Eingabegeräte auch für unterschiedliche Applikationen nutzen zu können, wird daher in dem hier vorgestellten Modell eine Trennung der physikalischen Eingabeparameter mit dem dahinter liegenden Bedienkonzept vorgestellt. Abbildung 6.8 zeigt die Trennung der beiden Ebenen durch eine Emulation von Eingabesignalen abhängig vom angeschlossenen Eingabegerät und vom angeschlossenen Aktor oder Gerät. Die physikalischen Eingabegeräte werden an ein zentrales Verschaltungssystem angeschlossen und liefern ihre Signale nicht direkt an ein zu steuerndes Gerät. In dieser zentralen Verschaltungseinheit werden die Eingabesignale ausgewertet und interpretiert. Dort sind ebenfalls verschiedene Eingabekonzepte hinterlegt, die die verschiedenen Anforderungen einer Anwendung abbilden können. Basierend auf den anliegenden Signalen des Eingabegeräts und den geforderten Bedienparametern des zu steuernden Geräts bildet das Verschaltungssystem die realen Eingabesignale auf ein passendes Bedienkonzept ab.

Um ein dynamisches Verschalten von Eingabegeräten und Aktoren oder Geräten zu gewährleisten, muss die Emulation der Steuerungssignale abhängig vom aktuell zu steuernden

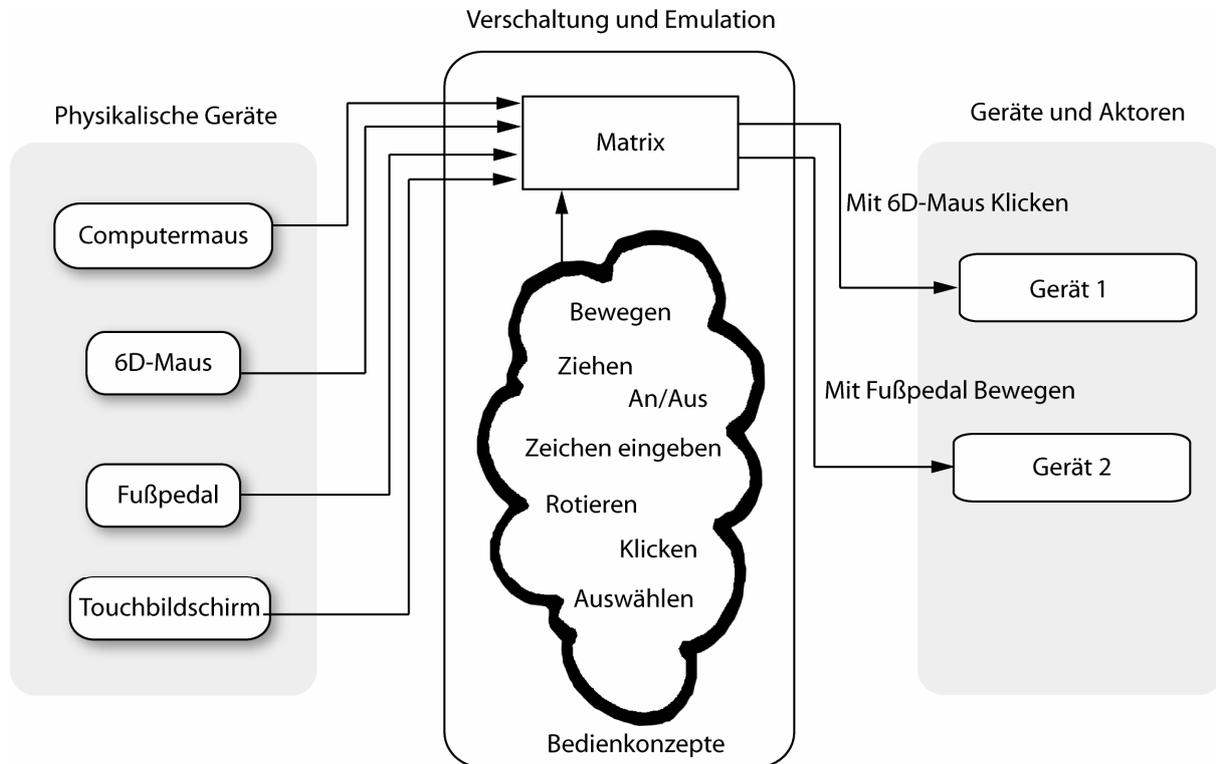


Abbildung 6.8: Trennung von physikalischem Eingabegerät und dem dahinter liegenden Bedienkonzept für die Steuerung unterschiedlicher Geräte.

Gerät sein. Das bedeutet, dass ein Gerät seine aktuellen Anforderungen an ein Bediensystem formulieren und dem Verschaltungssystem mitteilen muss. Das kann dann die Parameter des angeschlossenen Eingabegerätes analysieren und daraus die entsprechenden Eingabesignale emulieren. Die Realisierung für diese Form der anforderungsbasierten Verschaltung von Eingabegeräten wird im Kapitel 8 vorgestellt.

6.5 Zustandsanalyse

Wie bereits im Abschnitt über die Gerätebeschreibung dargestellt, besitzt jedes Gerät eine interne Zustandsüberwachung, über die der aktuelle Zustand eines Geräts abgefragt werden kann und die bei Fehlverhalten der Geräte das System in einen sicheren Zustand bringt, sodass daraus keine Gefährdung für den Patienten entsteht.

Um fehlerhafte Geräte auch im Gesamtnetzwerk zu identifizieren und eine mögliche Vernetzung von zwei Systemen im Netzwerk auch außerhalb der eigentlichen Geräte zu erkennen, wird eine eigene Zustandsanalyse durchgeführt. Diese wird in einem separaten Gerät realisiert und dient dazu, dem Chirurgen neue Funktionalitäten anzuzeigen oder ihn auf neue Möglichkeiten der Verknüpfung hinzuweisen. Das erfordert, dass die zentrale Zustandsüberwachung die bereitgestellten Funktionalitäten der einzelnen Geräte abfragt und dem Chirurgen bei Bedarf visualisieren kann. Darüber hinaus kann das System anzeigen, warum ein Fehlverhalten im System aufgetreten ist oder eine Verknüpfung von

Funktionalitäten nicht funktioniert. Abbildung 6.9 zeigt den schematischen Ablauf der Zustandsüberwachung und der zentralen Visualisierung von verfügbaren Funktionalitäten

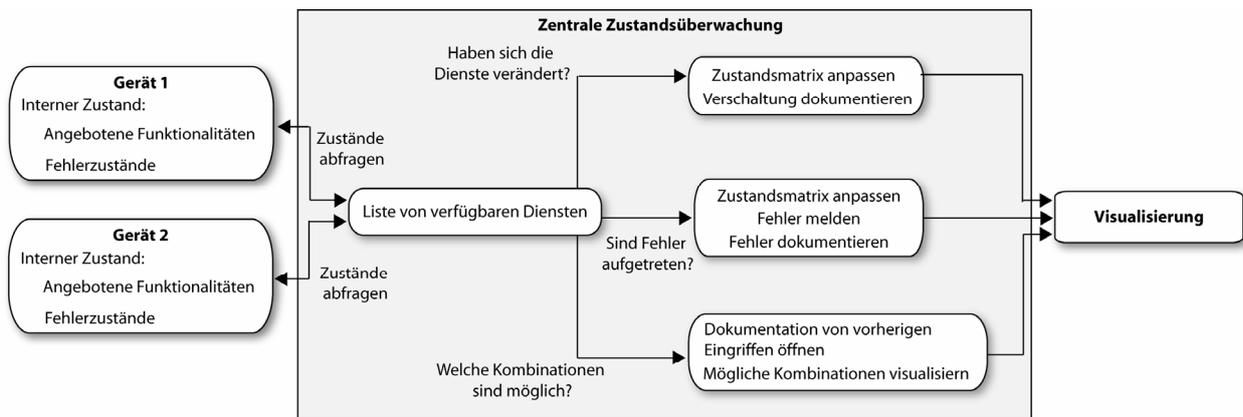


Abbildung 6.9: Aus den Einzelzuständen der Geräte wird ein Gesamtzustand für das Netzwerk abgeleitet. Aus dem lassen sich die verfügbaren Funktionalitäten für den Chirurgen visualisieren. Bei Fehlern in der Verschaltung oder der Kommunikation kann das System dem Chirurgen Hinweise zur Fehlerbehebung geben.

Neben dem Darstellen der bereits verfügbaren Funktionen kann durch die zentrale Zustandsüberwachung auch ein aktives Lernen von Verschaltungen und OP-Abläufen realisiert werden. Das bedeutet, dass sich der Chirurg auch die Kopplungen von Funktionen während anderer Eingriffe anzeigen lassen kann, um so durch eventuelles Hinzunehmen eines weiteren Gerätes ebenfalls die Gesamtfunktionalität zweier Systeme zu erreichen.

Diese Eigenschaft kann dann ebenfalls vom OP-Personal vor dem Eingriff dazu genutzt werden, einen Computer-Integrierten Operationssaal für die Bedürfnisse eines spezifischen Eingriffs vorzubereiten und die notwendigen Geräte und Instrumente bereitzustellen. Dadurch wird es ermöglicht, dass ein Operationssaal auch für unterschiedliche chirurgische Disziplinen in der Klinik genutzt werden kann und dabei nur die für die jeweilige Disziplin relevanten Kombinationen von Hilfsmitteln benutzt werden.

6.6 Bedienkonzept

Der Chirurg hat während der Operation bei vielen Geräten die Möglichkeit, diese über Eingabesysteme zu bedienen und zu steuern. Dazu stehen ihm verschiedene Hilfsmittel wie Computermäuse, spezielle Eingabegeräte wie eine 3D-Maus oder im Gerät integrierte Touchbildschirme zur Verfügung. Durch die Verschaltung der Geräte und das Routing der Videosignale auf große Bildschirme im Operationssaal ist die Bedienung der Geräte dabei allerdings nicht immer transparent und intuitiv. Der Chirurg schaut z.B. auf einen Großbildschirm und muss zum Bedienen auf ein kleines Display direkt am Gerät schauen und dort über eine Touchdisplay die Einstellungen am Gerät manipulieren.

In Abbildung 6.10 ist eine Situation dargestellt, bei der der Chirurg am Kopfende des Operationstisches operiert und dabei auf die beiden Bildschirme an der Decke schaut. Die Geräte, die er während des Eingriffs bedienen möchte, sind am Fußende des Tisches platziert, damit sie nicht in den sterilen Bereich kommen. Eine Bedienung von Geräten über die Touchbildschirme an der Decke ist nur für Geräte desselben Herstellers möglich. Alle anderen Geräte können die Informationen, die die Touchbildschirme liefern, nicht nutzen,

obwohl ihre Benutzeroberflächen durch Videoroutingsysteme auf den Touchbildschirmen visualisiert werden können.

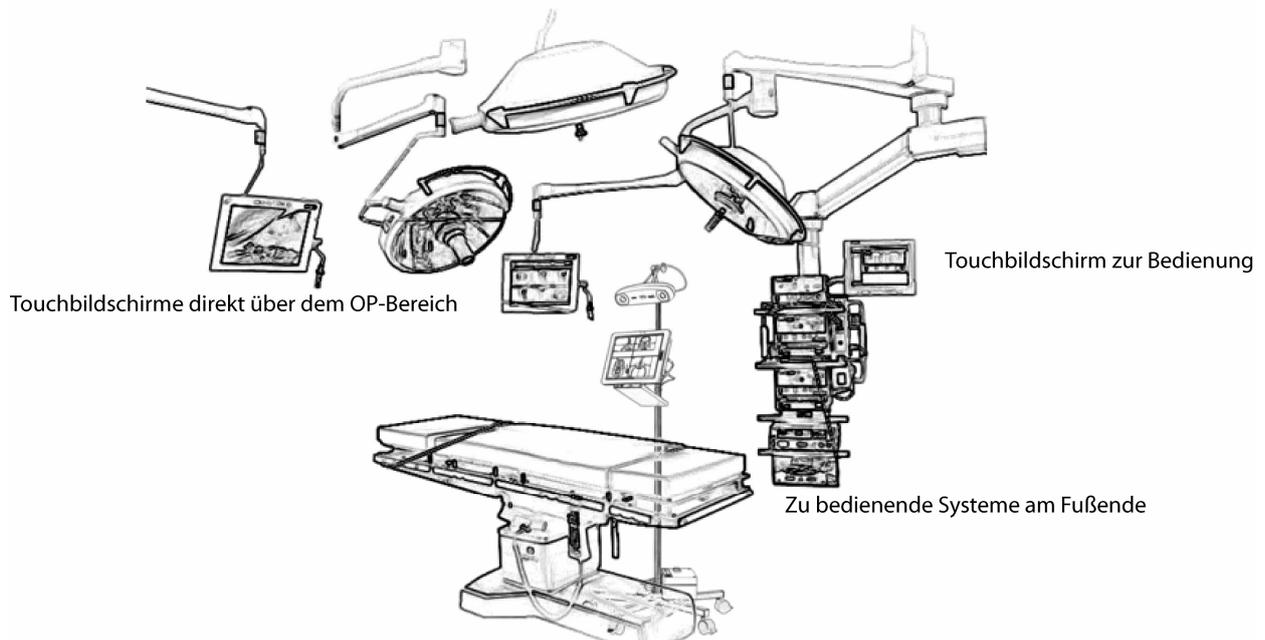


Abbildung 6.10: Die zu steuernden Geräte befinden sich am Fußende des OP-Tisches, während die Bildschirme am Kopfende in der Nähe des Operationsgebiets hängen. Der Chirurg muss sich bei der herkömmlichen Form der Bedienung vom Bildschirm abwenden, um das Gerät zu bedienen. Durch ein Videorouting und ein zwischengeschaltetes Modul zur Mausemulation kann jedes Gerät direkt über einen Touchbildschirm bedient werden.

Bei Eingabegeräten wie einer Computermaus, einer 3D-Maus oder einer Tastatur mit speziell programmierten Tasten ist die sterile Verwendung im OP-Bereich sowie die steigende Anzahl der Eingabegeräte im sterilen Bereich ein Problem, das dem Chirurgen eine einfache und schnelle Bedienung von Geräten erschwert.

Aus diesem Grund werden im hier vorgestellten Konzept drei Möglichkeiten vorgestellt, die diese Bedienmängel beheben sollen. Bei allen drei Bedienkonzepten und Geräten schaut der Chirurg auf den Großbildschirm, während er die Bedienoberfläche eines Geräts manipuliert und braucht sich so nicht dem eigentlichen Gerät zuzuwenden:

- *Bedienung über Touchbildschirm über dem sterilen Bereich:* Geräte, die über normale Computermäuse oder kleine Touchbildschirme direkt am Gerät bedient werden müssen, sollen direkt über einen Touchbildschirm über dem sterilen Bereich bedient werden. Dazu muss das Videosignal des Geräts auf diesen Bildschirm umgeleitet werden. Um nun die Bewegungen und Klicks auf dem Touchbildschirm an das Gerät zu übertragen, wird ein Modul zwischen den Touch und das zu bedienende Gerät geschaltet. Dieses Modul liest die Touchinformationen ein, verarbeitet sie in einem Mikrocontroller und emuliert sie als normale Mausebewegungen, wie sie auch eine externe Computermaus an das Gerät liefern würde. Das Modul muss sich dazu nur als HID (*Human Interface Device*) am Gerät anmelden, was einer normalen Computermaus entspricht. Mit dieser Form der Bedienung mit einem Touchbildschirm über dem sterilen Bereich ist es möglich, jedes Gerät mit einem Videoausgang und einem USB-Eingang bequem zu bedienen, ohne dass dafür Änderungen an der Hardware oder der Software des Gerätes notwendig werden.

- *Bedienung über ein kabelloses Eingabegerät:* Bei dieser Form der Eingabe wird das Videosignal des zu bedienenden Gerätes ebenfalls auf einen Großbildschirm an der Wand oder der Decke des Operationssaals angezeigt. Der Chirurg oder das OP-Personal bedienen den Bildschirm allerdings nicht über den Touchbildschirm sondern verwenden einen Stift mit zwei integrierten Infrarotdioden. An den Bildschirmen im Operationssaal sind eine bis vier kleine Kameras befestigt, die die Bewegung der Infrarotdioden erkennen und messen können. Über eine dahinter geschaltete Elektronik wird die Bewegung der Infrarotdioden in Mausbewegungen umgerechnet und an das zu steuernde Gerät per USB weitergeleitet. Bei dieser Form der Eingabe ist darauf zu achten, dass mehrere Bildschirme in einem Operationssaal hängen und dass der Chirurg mit dem selben Eingabegerät die Möglichkeit haben muss, verschiedene Anwendungen auf unterschiedlichen Bildschirmen zu bedienen, ohne dass gleichzeitig alle Anwendungen auf die Eingabe reagieren.
- *Bedienung über ein multifunktionales Eingabegerät:* Durch die Kombination von mehreren Eingabemodalitäten in einem Eingabegerät, das im sterilen Bereich direkt von einem Chirurgen verwendet werden kann, werden die Anzahl der Eingabegeräte im sterilen Umfeld und ein Wechseln der Eingabegeräte für die Bedienung des Geräts minimiert. Das integrierte Eingabegerät muss die Möglichkeit enthalten, zwei- und dreidimensionale Mausbewegungen oder Texteingabe auszuführen. Zusätzlich sollen frei programmierbare Knöpfe sowie die Anzeige von Statusinformationen und Bedienelementen über ein Display unterstützt werden.

6.7 Zulassungstechnische Aspekte

Da es sich bei den Geräten, die direkt am Patienten oder in dessen direktem Umfeld im Operationssaal eingesetzt werden, um Medizinprodukte handelt, sind diese Geräte nach dem Medizinproduktegesetz (MPG) zugelassen. Das bedeutet, dass alle Geräte im Rahmen eines Konformitätsbewertungsverfahrens nach Anhang X der *MDD 92/42EWG* hinsichtlich ihrer elektrischen und mechanischen Sicherheit geprüft werden, um die grundlegenden Anforderungen nachzuweisen. Zusätzlich werden Softwarekomponenten sowie die Schnittstellen zu anderen Geräten validiert und dokumentiert. Um eventuelles Fehlverhalten in der Benutzung und der Funktionsweise des Geräts zu minimieren, wird eine Risikoanalyse durchgeführt. Je nach Anwendungsgebiet werden die Geräte dabei in verschiedene Klassen (I, IIa, IIb, III) eingeteilt.

Für die Vernetzung der verschiedenen Geräte bedeutet das, dass in einem *Computer-Integrierten Operationssaal* Geräte unterschiedlicher Geräteklassen miteinander kommunizieren. Beispiel hierfür sind zum Beispiel die Kopplung von Navigationssystemen der Klasse I und chirurgischen Fräsen der Klasse IIa oder die Kopplung von bildgebenden Systemen der Klassen IIa und IIb mit Dokumentationssystemen der Klasse I.

Im Anhang X der europäischen Richtlinie *MDD 93/42 EWG* (Der Rat der Europäischen Gemeinschaft, 1993) steht, dass bei der Kopplung von zwei Medizinprodukten zu einem neuen Medizinprodukt das Konformitätsbewertungsverfahren für das Endprodukt nach den Vorgaben des höher einzustufenden Geräts durchgeführt werden muss. Für den *Computer-Integrierten Operationssaal* ist dieses Vorgehen nicht wirtschaftlich realisierbar, da nicht festgelegt ist, welche Produkte in welchen Operationssälen miteinander zusammengeführt werden. Aus diesem Grund ist der Computer-Integrierte Operationssaal als Gesamtsystem nicht als Medizinprodukt zuzulassen.

Stattdessen sind die einzelnen Geräte als einzelne Medizinprodukte zuzulassen, die jeweils die notwendigen Schnittstellen besitzen. Diese Schnittstellen müssen dann im Laufe des jeweiligen Zulassungsprozesses dokumentiert und validiert werden. Damit kann jedes Produkt für sich weiterhin als eigenständiges Medizinprodukt zugelassen werden. Jedes Produkt hat dann definierte Ein- und Ausgänge, über die es Daten empfangen oder senden kann, egal von welchem anderen Geräte die Daten stammen.

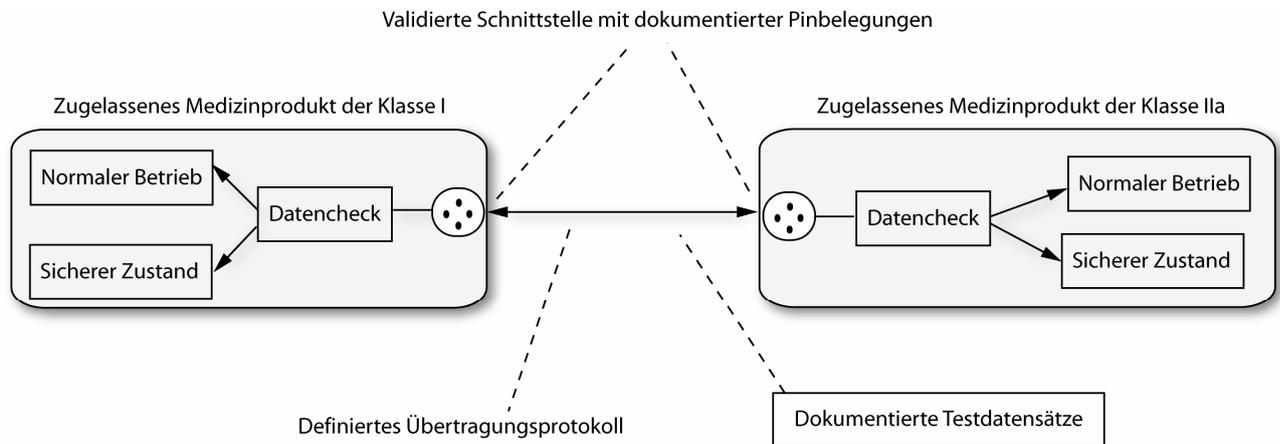


Abbildung 6.11: Verschaltung von Systemen unterschiedlicher Klassen nach dem Medizinproduktegesetz. Die Schnittstellen zur Kommunikation müssen im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens definiert, dokumentiert und validiert werden.

In Abbildung 6.11 ist eine schematische Darstellung der Verschaltung von zwei Geräten unterschiedlicher Konformitätsklassen dargestellt. Die beiden Geräte haben jeweils eine identische Schnittstelle und können über ein Verbindungskabel und ein definiertes Übertragungsprotokoll Daten austauschen. Dabei muss jedes Gerät beim Empfangen neuer Daten diese auf ihre Konsistenz und Richtigkeit überprüfen. Dazu werden die Daten entsprechend der Protokollspezifikation auf ihre Inhalte von ihm überprüft. Werden keine Fehler in den Daten festgestellt, wird das Gerät im normalen Betrieb fortgesetzt und die Daten verarbeitet. Wird allerdings ein Fehler in den Daten gefunden, muss sichergestellt sein, dass das Gerät keine Fehlfunktion ausführt und dass dadurch keine Gefährdung für den Patienten entsteht.

Um Gefährdungen für den Patienten bei einem Fehlverhalten auszuschließen, wird das Gerät bei fehlerhaften Daten zunächst in einen sicheren internen Zustand gebracht, das heißt, die normale Datenverarbeitung wird unterbrochen und eine Fehlermeldung auf einem Bildschirm im Operationssaal oder am Gerät angezeigt. Dem zweiten Gerät wird die fehlerhafte Übertragung in der Antwort mitgeteilt. Anschließend muss das Gerät, das die fehlerhaften Daten empfangen hat, entscheiden, ob der normale Betrieb ohne die Daten fortgesetzt und das System automatisch wieder in den normalen Betrieb überführt werden kann. Im Anschluss kann das zweite Gerät aufgefordert werden, die Daten erneut zu senden. Schlägt die Datenübertragung mehrfach hintereinander fehl, müssen beide Geräte die Kommunikation überprüfen. Dazu sendet das Gerät, das die fehlerhaften Daten festgestellt hat, mehrere validierte Testdatensätze, für die die Übertragung getestet wurde. Das zweite Gerät sendet im Anschluss ebenfalls diese Datensätze als Antwort zurück. Wird bei diesem Selbsttest erneut ein Fehler festgestellt, muss das OP-Personal aufgefordert werden, die Verbindung zwischen beiden Geräten zu überprüfen. Im anderen Fall wird das OP-Personal darauf hingewiesen, dass ein Kommunikationsfehler zwischen beiden Geräten aufgetreten ist, der eine weitere Kommunikation der beiden Geräte während des Einsatzes nicht ermöglicht.

Für eine Validierung der Schnittstellen müssen mindestens folgende Punkte definiert und in der Produktakte sowie der Gerätespezifikation dokumentiert werden:

- *Physikalische Schnittstelle:* Die physikalischen Stecker der nach außen geführten Schnittstellen müssen definiert sein. Hierbei ist auf Standardkomponenten zurückzugreifen, da für diese Steckverbindung meist bereits Zertifikate der Hersteller verfügbar sind, die die Zuverlässigkeit und die mechanischen Eigenschaften der Verbindung dokumentieren. Bei eigenen Steckverbindungen sind die Festigkeiten von Befestigungen im Gehäuse sowie die Festigkeit von Lötverbindungen durch geeignete Tests nachzuweisen.
- *Kommunikationsprotokoll:* Für den Informationsaustausch sind die Datenpakete sowie die Kommunikationsprotokolle zu definieren. Hierbei ist auf die jeweiligen Anforderungen bezüglich Zeitgrenzen bei der Übertragung sowie die Datensicherheit zu achten. Es müssen die Algorithmen zur Datencodierung sowie zur Decodierung dokumentiert werden. Dazu gehört auch die Dokumentation der verwendeten Algorithmen zur Überprüfung von inkonsistenten Daten, z.B. Checksummen oder anderen Prüfsummen. Darüber hinaus muss die Art der Kommunikation festgelegt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass ein Gerät ausschließlich Daten über eine Schnittstelle empfangen kann oder dass eine Kommunikation in beide Richtungen möglich ist.
- *Verhalten bei fehlerhaften Daten:* Da nicht immer davon ausgegangen werden kann, dass Daten korrekt ausgetauscht werden können, muss innerhalb der Gerätedokumentation definiert sein, wie im Falle von fehlerhaften Daten weitergearbeitet wird. Das Gerät darf durch fehlerhafte Daten nicht in seiner Funktionsweise gestört werden, sodass ein Patient oder das OP-Personal zu Schaden kommen kann. Das System muss in diesem Fall den Anwender auf den Fehler aufmerksam machen und in einen sicheren Zustand überführt werden. Dieser sichere Zustand kann nur vom Anwender deaktiviert werden, indem das System neu gestartet oder die Verbindung zu einem anderen Gerät neu hergestellt wird.
- *Testfälle:* Um die Zuverlässigkeit einer Schnittstelle sowohl während des Zulassungsprozesses aber besonders auch im Rahmen von regelmäßigen Wartungsarbeiten testen und nachweisen zu können, müssen Testfälle konstruiert werden, die sowohl den Fall der korrekten Datenkommunikation repräsentieren aber auch alle identifizierten Risiken und fehlerhaften Datensätze mit abdecken. Diese Testfälle sind Teil der Gerätedokumentation.

7. Implementierung der Gerätespezifikation

Das im vorherigen Kapitel vorgestellte Gerätemodell beschreibt den Aufbau der Geräte mit den enthaltenen Komponenten und Schnittstelle. Für die Implementierung und Beschreibung der tatsächlichen Anforderungen eines Geräts können zwei mögliche Spezifikationen verwendet werden. Dabei können zum einen die Funktionen und das Verhalten des Systems eine mögliche Form der Beschreibung sein (*Verhaltensbeschreibung*). Des Weiteren können physikalische Parameter wie die Schnittstellen oder die benötigten Ressourcen an elektrischen Verbindungen und der Platzbedarf im Operationssaal eine Beschreibung darstellen (*Physikalische Beschreibung*).

Abbildung 7.1 zeigt eine schematische Darstellung der beiden möglichen Spezifikationen mit den dazugehörigen Untergruppen und Unterscheidungsmerkmalen zwischen zwei Geräten.

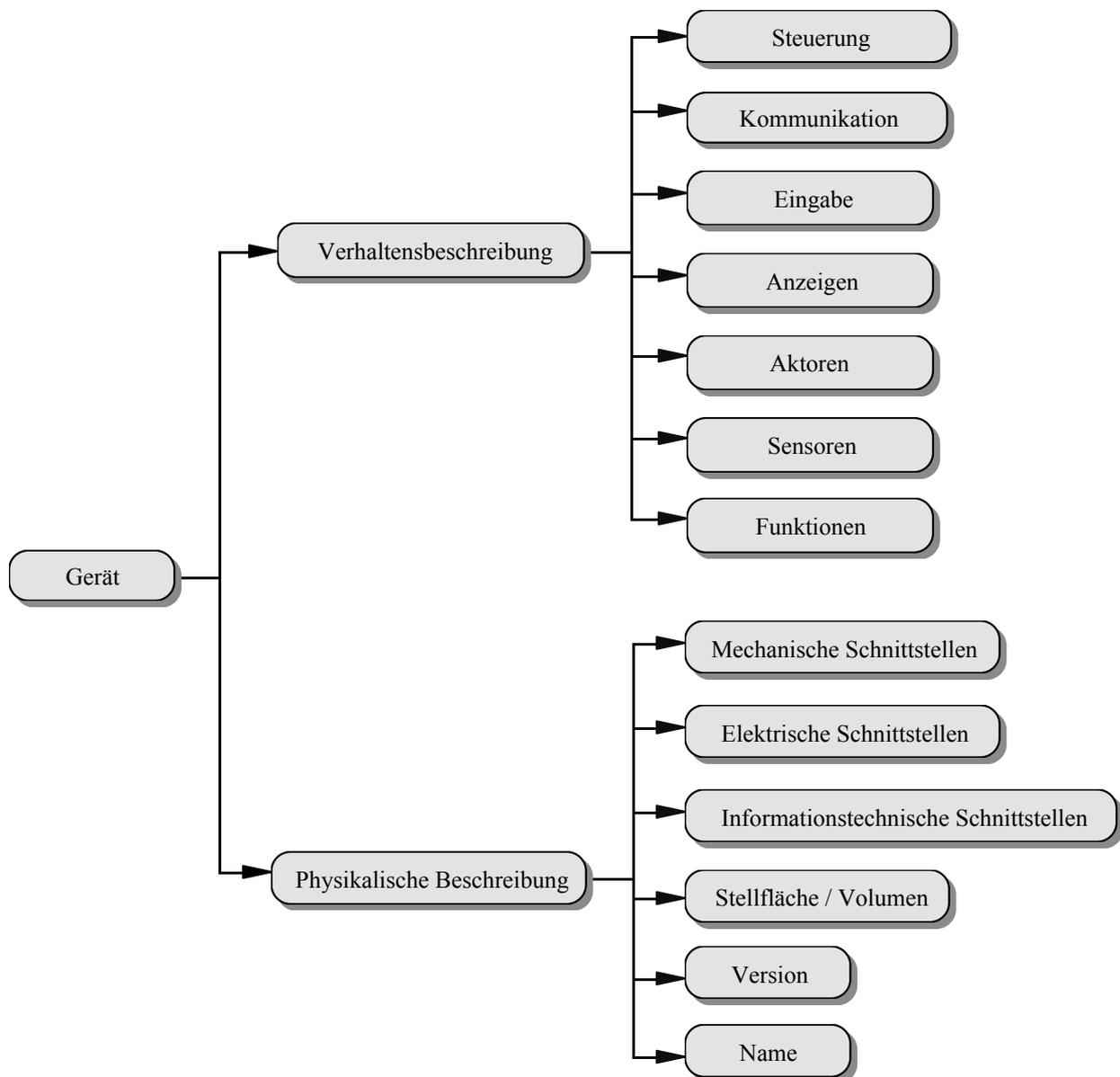


Abbildung 7.1: Zwei mögliche Implementierungen der Gerätebeschreibung. Die erste mögliche Spezifikation ist eine verhaltensbasierte Beschreibung, bei der alle Funktionalitäten und Interaktionsmöglichkeiten des Gerätes mit einfließen. Die zweite physikalische Beschreibung basiert auf Schnittstellen und physikalischen Parametern eines Gerätes.

7.1 Verhaltensbeschreibung

Bei dieser Form der Beschreibung stehen die Funktionalitäten und steuerungstechnischen Aspekte eines Geräts im Vordergrund. Die Geräte werden über die folgenden Parameter beschrieben:

- *Steuerung:* Mit diesem Beschreibungsparameter werden alle von außen zu beeinflussenden Steuerungsmöglichkeiten eines Gerätes definiert. Die Steuerungsmöglichkeiten beinhalten sowohl das manuelle Steuern über Knöpfe und Regler am Gehäuse eines Gerätes, aber sie beinhalten auch die Steuerungsmöglichkeiten durch andere Geräte über definierte Kommunikationswege.
- *Kommunikation:* Die meisten Geräte im Operationssaal können Daten und Informationen mit anderen Geräten austauschen. Dazu existieren verschiedene herstellerunabhängige Kommunikationsschnittstellen wie LAN oder USB. Daneben gibt es für verschiedene Hersteller eigene Kommunikationsschnittstellen, über die nur die jeweiligen Geräte eines Herstellers miteinander kommunizieren können (z.B. *Storz Communication Bus, SCB von Karl Storz*). In diesem Unterpunkt werden alle Kommunikationsmöglichkeiten eines Gerätes zusammengefasst und für diese Teile der Gerätebeschreibung verwendet.
- *Eingabe:* Alle Möglichkeiten, interne Parameter des Gerätes zu verändern und Eingaben in das Gerät einzugeben, werden in dieser Untergruppe zusammengefasst. Dazu zählen zum Beispiel Eingaben über Touchbildschirme, spezielle Eingabegeräte oder Sprachsteuerungen.
- *Anzeigen:* Um den internen Zustand eines Gerätes oder dessen Bedienoberfläche für den Anwender zu visualisieren, haben viele Geräte im Operationssaal Displays und Statusanzeigen. Die Art und Weise der Darstellung verschiedener Parameter und die damit verbundene Interaktion des Gerätes mit dem Anwender kann ebenfalls als ein Beschreibungsmerkmal von Geräten verwendet werden.
- *Aktoren:* Viele computerunterstützte Geräte im Operationssaal besitzen Motoren, Pumpen oder andere Antriebe, die zum Beispiel mechanische Geräte antreiben oder steuern. Die Art der Aktoren sowie deren Anzahl an einem Gerät wird als Beschreibungsmerkmal herangezogen.
- *Sensoren:* Neben den Aktoren werden Geräte durch Sensoren in die Lage versetzt, Parameter wie z.B: Lage eines Instrumentes im Raum bzw. dessen Abstand zu Risikostrukturen zu messen. Da die Sensorinformationen eines Gerätes nicht nur für die eigenen Anwendung sondern auch für andere Geräte im Operationssaal interessant sein können, spielen Sensoren und deren Vernetzung in zukünftigen Operationssälen eine wichtige Rolle. In der Gerätebeschreibung spielt daher neben der Art der Sensoren und deren Anzahl auch die Verfügbarkeit der Sensorinformation für andere Geräte eine wichtige Rolle.
- *Funktionen:* In den vorherigen Beschreibungsmerkmalen wie Aktoren/ Sensoren oder der Steuerung wird implizit schon die Funktion eines Gerätes mit beschrieben. So hat ein Gerät mit einer chirurgischen Fräse als Aktor bereits eine klar definierte Funktionalität des Fräsens von knöchernen Strukturen. Daneben bieten aber viele Geräte zusätzlich Funktionen, die entweder über ein Bediensystem oder eine

Steuerungsleitung ausgewählt werden können. Diese Funktionalitäten werden ebenfalls für die Beschreibung eines Gerätes verwendet.

7.2 Physikalische Beschreibung

Bei der physikalischen Beschreibung eines Gerätes spielen die nach außen geführten elektrischen und physikalischen Schnittstellen sowie die physikalischen Anforderungen an den Platz und die Integration im Operationssaal eine Rolle. Die Beschreibungsparameter aus Abbildung 7.1 sind im Folgenden aufgeführt:

- *Mechanische Schnittstellen:* Zu den mechanischen Schnittstellen eines medizinischen Gerätes gehören zum einen mechanische Adapter, über die zwei Geräte miteinander verbunden werden können, um sie in einem gemeinsamen Kontext zu verwenden. Außerdem zählen hierzu Befestigungsmöglichkeiten für Anwendungsteile wie einen Ultraschallkopf, die intraoperativ verwendet werden und zwischendurch dort abgelegt werden können. Weiterhin zählen zu den mechanischen Schnittstellen spezielle Gehäuseformen mit vorgegebenen Führungen, damit zum Beispiel mehrere Gehäuse übereinander gestapelt werden können.
- *Elektrische Schnittstellen:* Damit Geräte physikalische Daten austauschen können, benötigen sie definierte Stecker und Anschlüsse, über die sie mit anderen Geräten oder dem Spannungsnetz verbunden werden können. Diese Form der Schnittstellen sind bei den meisten medizinischen Geräten USB-, RS232- oder LAN-Verbindungen zum Datenaustausch und VGA-, S-Video oder DVI-Verbindungen für Videosignalübertragungen. Daneben existieren herstellerspezifische Lösungen wie z.B. der *Storz Communication Bus* der Firma Karl Storz, der auf einem CAN-Bus basiert und zum Datenaustausch zwischen Geräten der Firma Karl Storz verwendet wird. Diese elektrischen Schnittstellen und ihre Datenaustauschprotokolle müssen je nach Anwendungsgebiet und Gerät verschiedene Kriterien bzgl. Datenstabilität und Transportzeiten erfüllen.
Neben der Anzahl und der Art der elektrischen Verbindungen spielt die Position des Anschlusses im Gehäuse eine wichtige Rolle, da diese Position die Integrierbarkeit eines Gerätes in einem vorhandenen Geräteturm beeinflussen kann. Die Anschlüsse, die häufig vom OP-Personal gewechselt oder verändert werden müssen, sollten so platziert sein, dass sie einfach zu erreichen sind.
- *Informationstechnische Schnittstellen:* Unter den informationstechnischen Schnittstellen eines computerunterstützten Gerätes zählen zum einen die Austauschprotokolle, die das Gerät unterstützt, um Daten auszutauschen. Daneben gehören dazu die informationstechnische Darstellung von Parametern und die Interaktion mit dem Anwender des Geräts.
- *Stellfläche:* Da die zur Verfügung stehende Fläche eines Operationssaals sehr beschränkt ist und nicht beliebig erweitert werden kann, spielt die Größe und die Gehäuseform, und damit die Integrierbarkeit eines medizinischen Gerätes eine wichtige Rolle. Oft werden Geräte desselben Herstellers in Türmen übereinander gestellt.
- *Geräteversion:* Fast alle Geräte werden im Laufe ihrer Lebensdauer weiterentwickelt oder überarbeitet. Um dabei jedem Gerät einen eindeutigen Entwicklungszustand

zuweisen zu können, erhält jede Ausbaustufe und Weiterentwicklung eines Gerätes eine Versionsnummer, die am Gerät von außen am Gehäuse angebracht wird.

- *Name des Gerätes:* Jedes Gerät hat einen festen, vom Hersteller festgelegten Namen.

7.3 Einheitliche Gerätespezifikation

Durch die steigende Anzahl von computerunterstützten Geräten im Operationssaal steigt der Wunsch des Chirurgen, Funktionalitäten von Geräten gemeinsam nutzen zu können. Das bringt ihm zum einen eine Erhöhung der Präzision des Eingriffs, zum anderen kann es zu einer Zeitersparnis im Operationsverlauf kommen. Um verschiedene Funktionalitäten der Geräte unterschiedlicher Hersteller gemeinsam nutzen zu können, müssen die einzelnen Geräte über die Funktionalitäten der anderen Geräte informiert werden, d.h. dass zum Beispiel das Navigationssystem wissen muss, dass ein Endoskop oder ein Mikroskop verfügbar sind und dass deren Bildinformationen genutzt werden können.

Im vorherigen Kapitel *Systementwurf* wurde bereits der objektorientierte Ansatz bei der Gerätebeschreibung vorgestellt. Zusammenfassend kann man sagen, dass jedes Gerät einige seiner Funktionen als Dienste nach Außen für andere Geräte zur Verfügung stellen kann. Die Aufspaltung der Benutzeroberfläche und der Funktionalitäten eines Gerätes ermöglichen darüber hinaus, dass auch die Benutzerschnittstelle Dienste nach außen anbieten kann, um so Daten von anderen Geräten und Applikationen darstellen zu können.

Damit allerdings alle Geräte wissen, welche Dienste im Netzwerk zu einem definierten Zeitpunkt zur Verfügung stehen, müssen alle Geräte im Netzwerk ihre Dienste anmelden. Ein Gerät im Netzwerk verwaltet diese Dienste. Dieses Verwaltungsgerät wird in bekannten Multi-Agenten Systemen als Mediator bezeichnet und dient auch bei Kommunikationskonflikten zwischen zwei Geräten als Problemlöser. Um ein solches Gesamtnetzwerk im Operationssaal aufzubauen und für jede der vier definierten Geräteklassen aus dem Kapitel Systementwurf einen Mediator installieren zu können, müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

- *Funkbasierte Kommunikation:* Jedes Gerät kennt seine eigenen Dienste und kann mit anderen Geräten kommunizieren, um sie über seine eigenen Dienste zu informieren. Da im Operationssaal zusätzliche Geräte auch während der Operation dynamisch in das Netzwerk eingebunden werden müssen, ist dabei eine Verkabelung der einzelnen Geräte zur Identifikation untereinander nicht sinnvoll. Stattdessen hat jedes Gerät einen Funkchip integriert, über den es mit anderen Geräten kommunizieren kann. Gleichzeitig muss jedes Gerät die angebotenen Dienste von anderen Geräten abspeichern können. Ein Beispiel für ein solches Funkmodul mit integriertem Mikrocontroller ist das *nanoLOC AVR Modul* der Firma Nanotron (Nanotron, 2008). Das Modul beinhaltet bereits eine integrierte, robuste Kommunikation zwischen einzelnen Modulen bis zu einem Abstand von 8m. Weiterhin existieren Protokolle, mit denen ein Netzwerk von mehreren Modulen zusammengeschaltet werden kann und Informationen von einem Modul zum nächsten Modul weitergegeben werden können. Damit ergibt sich die Möglichkeit, dass Geräte, die weiter entfernt sind, über andere Geräte im Netzwerk miteinander kommunizieren.
- *Dynamische Verhalten:* Um den Mediator zu installieren, kann ein eigenes System im Operationssaal installiert werden. Dieses System ist als zentrales Gerät immer vorhanden und verwaltet die übrigen Geräte. Um die Kosten und den Aufwand für ein

solches Netzwerk im Operationssaal aber möglichst gering zu halten, soll in dem hier vorgestellten Konzept kein zusätzliches Gerät als Mediator verwendet werden. Stattdessen dient das erste Gerät, das während der Vorbereitung einer Operation oder während des Eingriffs eingeschaltet wird, als Mediator. Das bedeutet, dass dieses Gerät alle neu im Netzwerk hinzugekommenen Geräte abspeichert und verwaltet. Jedes Gerät teilt damit allen anderen Geräten seine Funktionalitäten aus der verhaltensbasierten Beschreibung per Funk mit. Die Übermittlung kann zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden. In Abbildung 7.2 ist ein Beispiel für den Ablauf der Kommunikation dargestellt:

- Jedes Gerät übermittelt seine Daten an alle anderen Geräte, nachdem es selbst eingeschaltet wurde. Damit kennen alle Geräte nach dem initialen Setup des Operationssaals die verfügbaren Funktionen der übrigen Geräte.
- Wird ein Gerät abgeschaltet, teilt das Identifikationsmodul die Änderung allen anderen Geräten mit.
- Wird ein Gerät, das Funktionalitäten für andere Geräte zur Verfügung stellen kann, während des Eingriffs eingeschaltet, sendet es seine gesamte Identifikation. Der zentrale Mediator fordert anschließend alle übrigen Geräte der Reihe nach auf, ihre eigenen Informationen erneut zu senden, damit das neu hinzugekommene Gerät ebenfalls über die verfügbaren Funktionalitäten informiert ist.
- Wird während des Eingriffs der aktuelle Mediator abgeschaltet, teilt dieser dem ersten Gerät in seiner Liste die Aufgabe des neuen Mediators zu. Da jedes Gerät im Netzwerk die Informationen über die übrigen Geräte abgespeichert hat, kann auch jedes Gerät zu jedem Zeitpunkt als Mediator dienen.

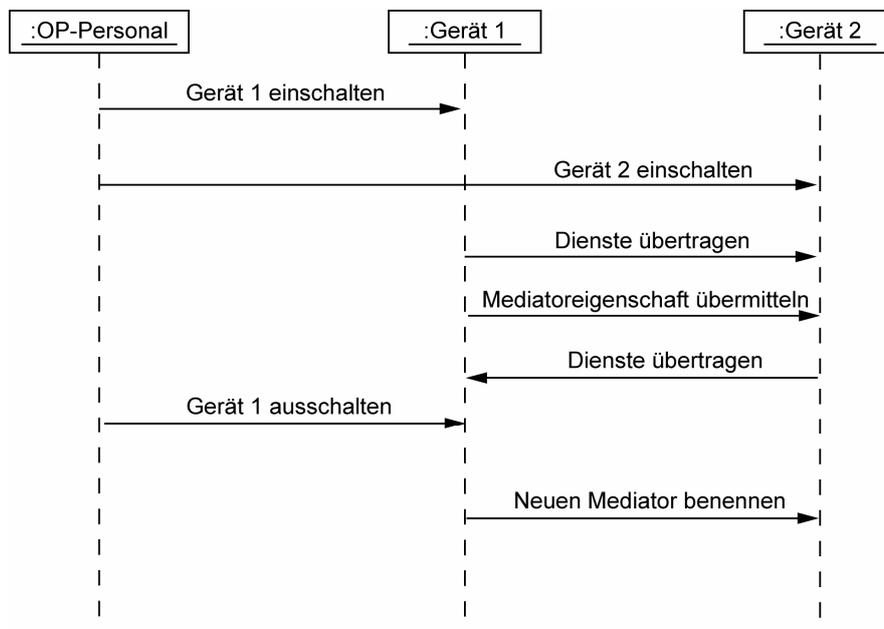


Abbildung 7.2: Timeline Diagramm der Kommunikation verschiedener Geräte beim Ein- und Ausschalten durch das OP-Personal.

Die Verschaltung der einzelnen Geräte untereinander wird im Kapitel 8 der Arbeit detaillierter beschrieben. Im folgenden Abschnitt werden jetzt die gerätetechnischen

Voraussetzungen für die automatische Verschaltung dargestellt. Dazu wird zunächst das Informationsmodul für die einzelnen Geräte näher vorgestellt. Im Anschluss daran werden die gerätespezifischen Kommunikationsanforderungen entsprechend der Kategorisierung aus dem Kapitel Systementwurf spezifiziert.

7.3.1 Gerätespezifisches Identifikationsmodul

Damit das Erkennen der anderen Geräte im Operationssaal nicht durch eine manuelle Zuweisung und das nachfolgende Konfigurieren nicht manuell durch eine OP-Schwester oder den Chirurgen durchgeführt werden muss, tauschen die Geräte ihre Kennungen und möglichen Funktionalitäten automatisch miteinander aus. Dazu enthält jedes Gerät ein eigenes Modul, das per Funk mit anderen Geräten kommunizieren kann. Es besteht aus einem Mikrocontroller und einem Funkchip. Diese beiden Komponenten können entweder direkt im Gerät integriert sein oder später durch ein externes Modul von außen am Gerät ergänzt werden. In Abbildung 7.3 ist der Aufbau des zusätzlichen Identifikationsmoduls und der darin gespeicherten Informationen dargestellt.

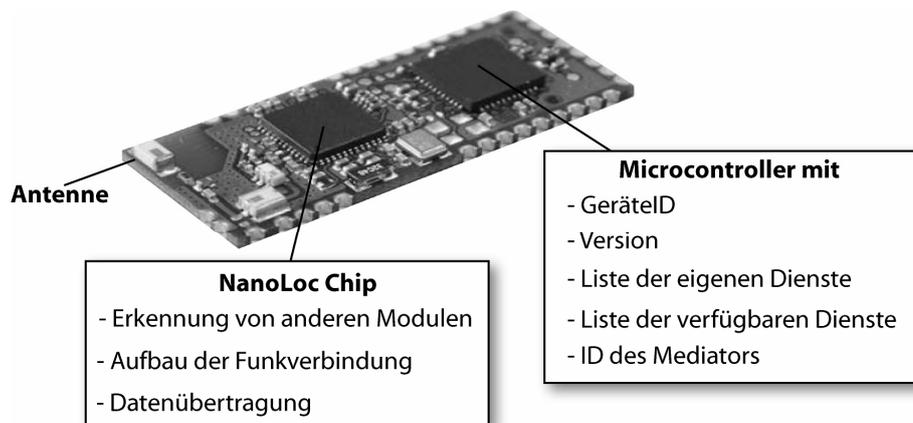


Abbildung 7.3: Schematische Darstellung der funkbasierten Kommunikation zwischen den einzelnen Geräten eines Operationssaals. Das Identifikationsmodul kann entweder direkt im Gerät verbaut sein oder nachträglich über ein Zusatzmodul installiert werden.

Das Identifikationsmodul enthält die folgenden Informationen eines Gerätes:

Name und Version des Gerätes

Über den Namen und die Version des Gerätes kann jedes Gerät im Gesamtnetzwerk des Operationssaals eindeutig identifiziert werden.

Eingruppierung des Gerätes in eine der vier Klassen aus dem Systementwurf

Im Kapitel Systementwurf wurde eine Aufteilung der computerunterstützten Geräte eines Operationssaals in die folgenden vier Kategorien vorgenommen:

- 1) Geräte zur Erzeugung und Verarbeitung von medizinischen Bilddaten
- 2) Computergestützte Instrumente und Werkzeuge
- 3) Systeme zur Überwachung und Steuerung der Vitalparameter

4) Systeme der OP-Infrastruktur

Im Identifikationsmodul eines Geräts ist die Zugehörigkeit zu einer der vier Kategorien gespeichert. Für eine Vernetzung und spätere Kommunikation der unterschiedlichen Geräte spielt die Zugehörigkeit zu einer der Klassen eine wichtige Rolle, da hierüber die einzelnen Geräte direkt wissen, welche Anforderungen (Zeitschranken für die Übermittlung, Datenprotokolle, usw.) an eine Kommunikation und einen Datenaustausch erfüllt sein müssen. Darüber hinaus wissen die Geräte, an welchen physikalischen Bussystemen (Bilddatenbus, Echtzeitbus, Informationsbus) die jeweiligen Kommunikationspartner angeschlossen sein können. Diese Information wird für das Abrufen von zur Verfügung gestellten Daten benötigt.

Benötigte Ressourcen der OP-Infrastruktur

Das Identifikationsmodul beinhaltet die Parameter der physikalischen Gerätebeschreibung. Diese Informationen beinhalten die Daten für die Inbetriebnahme des Gerätes wie z.B. Art der Spannungsversorgung (12V, 220V) und die zum normalen Betrieb erforderlichen Anschlüsse (VGA, LAN, usw.). Mit den Informationen können bereits während der Installation von neuen Geräten in einem Operationssaal mit einem Lesegerät alle erforderlichen Anforderungen der vorhandenen Geräte bestimmt werden. Damit können die Anschlüsse für die Stromversorgung, Anschlüsse für die Anbindung an das Krankenhaus-Informationssystem oder Videoanschlüsse für Bildschirme direkt geplant und ebenfalls installiert werden.

Zur Verfügung stehende Informationen und Daten für andere Geräte

Durch das Verschalten von mehreren Geräten können die verschiedenen Geräte die Funktionen der übrigen Geräte nutzen. Wie im Kapitel Systementwurf vorgestellt, werden die Geräte nach einem Multi-Agenten-Ansatz miteinander vernetzt. Damit nun innerhalb eines solchen Multi-Agenten-Netzes jedes Gerät als Agent agieren und seine Dienste und Daten den übrigen Geräten zur Verfügung stellen kann, müssen die anderen Geräte bzw. Agenten im Netzwerk überhaupt von der Verfügbarkeit der Daten in Kenntnis gesetzt werden. Das geschieht über das Senden der Art der verfügbaren Information (z.B. „ein Endoskopbild ist am Bilddatenbus 3 verfügbar“ oder „eine 3D-Maus als Eingabegerät ist angeschlossen“).

Jeder andere Agent im Netzwerk kann dann weitere Informationen über das verfügbare Bild oder das Eingabegerät über eine eventuelle direkte physikalische Verbindung zum entsprechenden Gerät stellen oder aber die Bilddaten am Bilddatenbus lesen.

Liste der zur Verfügung stehenden Geräte und ihrer Funktionalitäten

Jedes Modul speichert die Informationen der übrigen Geräte. Damit kennt jedes Gerät zu jedem Zeitpunkt die übrigen Geräte und kann als Mediator im Gesamtnetzwerk dienen.

7.3.2 Gerätespezifische Kommunikationsanforderungen

Für die Kommunikation und die Übertragung von Daten stehen drei Kommunikationssysteme zur Verfügung. Sie können je nach Ausstattung des Operationssaals in unterschiedlicher Anzahl installiert sein:

- *Bilddatenübertragung*: Für die Übertragung von Bilddaten werden normale VGA oder DVI-Daten bereitgestellt. Die Signale werden dann über Framegrabber in andere

Geräte eingelesen und dort weiterverarbeitet. Weiterhin stehen FireWire und USB Verbindungen für einen direkten Datentransfer ohne zusätzliche Hardware zur Verfügung. Die Signale werden dann über eigene Treiber und Softwareschnittstellen in den jeweiligen Anwendungen eingelesen und interpretiert.

- *Nichtzeitkritische Daten:* Für die Kommunikation von nicht-zeitkritischen Daten werden serielle Verbindungen (USB, RS232) installiert. Über sie können Daten wie Bildinformationen oder Steuerbefehle versendet werden. Dazu werden die Signale ebenfalls durch geeignete Treiber und Softwareschnittstellen auf beiden Geräten umgesetzt.
- *Echtzeitschnittstellen:* Für die Übertragung von Daten mit Echtzeitanforderungen wird das serielle RS232 Protokoll verwendet. Damit können Zeitintervalle, in denen die Daten übertragen werden sollen, gewährleistet werden. Der Aufbau der gesendeten Datenpakete hängt hierbei von den jeweiligen Applikationen ab, die Daten austauschen. Für die Übertragung von zeitkritischen Daten über längere Verbindungen (größer 10m) kann zusätzlich ein PROFIBUS verwendet werden, der für die Übertragung auch über längere Distanzen geeignet ist. Hierbei werden mit jedem Datenpaket zunächst ein Header gesendet, in dem z.B. die Anzahl der folgenden Bytes sowie weitere Informationen enthalten sind. Daran anschließend folgen die eigentlich Daten. Am Ende werden verschiedene Kontrollbytes gesendet, um zu überprüfen, ob Daten verloren oder falsch übermittelt wurden.

8. Implementierung einer Verschaltung von Geräten

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, existieren in einem Operationssaal bereits eine Vielzahl von Eingabesystemen. Dabei ist das Eingabekonzept aber fest mit dem physikalischen Eingabegerät verknüpft. Im folgenden Kapitel wird eine Realisierung des Konzepts für die Verschaltung von Geräten mit Videoausgang und beliebigen Eingabegeräten vorgestellt. Im Anschluss wird nach dem gleichen Prinzip eine Verschaltung von Eingabegeräten und Aktoren vorgestellt.

8.1 Verschaltung von bildgebenden Geräten und Eingabegeräten

Viele Geräte im Operationssaal erzeugen Bilddaten (Endoskop, Mikroskop, Ultraschall, C-Bogen, CT, Navigation, usw.). Die Bilddaten werden zu verschiedenen Zeitpunkten des Eingriffs und auf verschiedenen Bildschirmen im Operationssaal benötigt. Um die Bildparameter oder andere Geräteparameter vom Chirurgen oder dem OP-Personal einstellen zu lassen, bieten diese Geräte Schnittstellen, an die Keyboards, Computermäuse, oder andere Eingabegerät angeschlossen werden können.

Um die Eingabegeräte für die unterschiedlichen Systeme im Operationssaal verwenden zu können, müssen die einzelnen Eingabefunktionen auf die betreffenden Systeme abgebildet werden. Das bedeutet, dass ein 3D-Eingabegerät für die Bedienung eines 3D-Modells einer Visualisierung genutzt werden kann. Es kann allerdings auch für die Bedienung einer einfachen 2D Anwendung verwendet werden, wenn die Eingabesignale entsprechend der zu steuernden Anwendung umgerechnet und abgebildet werden können. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Steuerungskonzept umzusetzen:

- **Das Eingabegerät passt sich den zu steuernden Geräten an:** Bei dieser Form der Umsetzung bekommt das Eingabegerät die Anforderungen des zu steuernden Systems direkt mitgeteilt. Es muss entsprechend für unterschiedliche Systeme verschiedene Eingabemodi unterstützen bzw. die entsprechenden Treiber enthalten. Diese Form der Umsetzung beinhaltet, dass die Hersteller der Eingabegeräte die Funktionen der zu steuernden Geräte kennen und unterstützen. Erweiterungen für neue Geräte müssen für jedes Eingabegerät entwickelt und aufgespielt werden.
- **Das zu steuernde Gerät passt sich dem Eingabegerät an:** Um zu gewährleisten, dass ein Gerät mit einem Eingabegerät bedient werden kann, müssen auf dem zu steuernden Gerät Treiber installiert werden. Diese Treiber setzen dann die Signale und Steuerbefehl des Eingabegeräts um. Das bedeutet, dass für jedes Eingabegerät, das für die Steuerung benutzt werden soll, ein eigener Treiber entwickelt und auf einem System aufgespielt werden muss. Und das, obwohl die Eingabeparameter für das speziell zu steuernde Gerät nur einmal definiert und nicht verändert wurden. Es entstehen damit für jedes neue Eingabegerät ein zusätzlicher Aufwand und Kosten für die Aktualisierung und Wartung der Gerätetreiber, obwohl sich die Anforderungen des zu steuernden Gerätes vielleicht nicht verändert haben.
- **Ein System wird zwischengeschaltet, das die Anforderungen umsetzt:** Der beste Weg, das Verschaltungskonzept umzusetzen, ist die Verschaltung der Systeme und der Eingabegeräte über ein zusätzliches Verschaltungssystem. Dieses System interpretiert die Signale der angeschlossenen Eingabegeräte. Aus den Informationen über die erforderlichen und unterstützten Eingabeparameter eines zu steuernden Gerätes und den Signalen der Eingabegeräte bildet das System die Funktionalität des

Eingabegeräts auf die Anforderungen des zu steuernden Systems ab und emuliert die Eingabe. Mit dieser Lösung müssen für neue Eingabegeräte lediglich die Treiber und die Abbildungsvorschriften neu entwickelt werden und nur auf das Verschaltungssystem gespielt werden. Alle Eingabegeräte und zu steuernde Geräte müssen nicht verändert werden, was die Neukonfiguration und die Wartung solcher computerunterstützten Operationssäle vereinfacht.

Aufgrund der Vorteile der modularen Konfigurierbarkeit und der besseren Wartbarkeit wird im Folgenden die dritte Möglichkeit der Verschaltung näher betrachtet und ein passendes Entwicklungskonzept vorgestellt.

8.2 Anforderungsbasierte Verschaltung von Videoquellen mit Eingabegeräten

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, lässt sich das Konzept der anforderungsbasierten Verschaltung in zwei Bestandteile zerlegen:

1. Die Videoquelle sendet dem Verschaltungssystem, welche Anforderungen sein derzeitiger Visualisierungs- und Benutzungszustand an ein externes Bediensystem stellt.
2. Das Verschaltungssystem analysiert die Eingangssignale der angeschlossenen Eingabegeräte und emuliert das passende Signal, entsprechend den Anforderungen des zu steuernden Gerätes.

Bevor das Konzept der Anforderungen näher spezifiziert wird, sollen zunächst die möglichen Anforderungen eines Systems und seiner Bedienoberfläche zusammengefasst werden. Abbildung 8.1 zeigt eine Auflistung der Anforderungen.

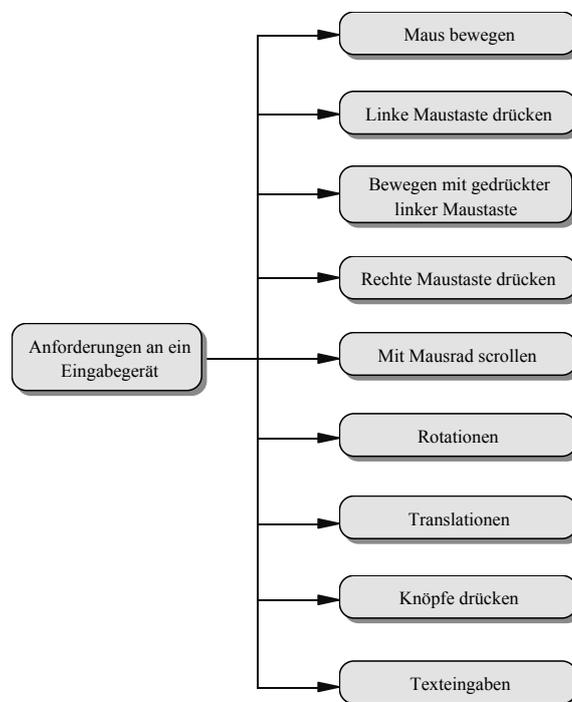


Abbildung 8.1: Auflistung der Anforderungen eines videobasierten Systems an ein Eingabegerät.

Die Bedienoberflächen der Geräte werden im einfachsten Fall mit Hilfe eines normalen Mauszeigers bedient. Das bedeutet, dass ein Eingabegerät in diesem Fall die Mausbewegung

in x- und y-Richtung auf dem Bildschirm und einen Mausklick unterstützen muss. Weitere optionale Eingabemodi sind das Bewegen der Maus bei gedrückter linker Maustaste, der Doppelklick mit der linken Maustaste, der Klick mit der rechten Maustaste oder das Scrollen mit Hilfe eines Mousrades. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass Knöpfe in der Benutzeroberfläche des Geräts direkt über eine Fernbedienung ausgewählt und gedrückt werden können oder dass Texteingaben über eine Tastatur erfolgen. Bei Anwendungen, in denen dreidimensionale Bilddaten angezeigt werden, besteht die Anforderung, die Daten im dreidimensionalen Raum frei bewegen zu können, d.h. das Eingabegerät muss Rotationen und Translationen unterstützen.

Neben den klassischen Eingabegeräten bietet das vorgestellte Konzept die Möglichkeit, weitere Eingabegeräte oder Konzepte in das Bedienungsumfeld im Operationssaal zu integrieren. Dazu können für Sprachsteuerungen verschiedener Hersteller eigene Module entwickelt werden, die die Sprachbefehle in die oben aufgeführten Befehle codieren und an die zu steuernden Geräte liefern. Weiterhin besteht die Möglichkeit, bereits im Operationssaal vorhandene Geräte wie Fußpedale für eine Eingabe zu nutzen. Dazu müssen die Signale des Fußpedals in der zentralen Steuereinheit definiert und entsprechend ausgewertet werden. Dem Chirurg bietet sich damit z.B. die Möglichkeit, mit dem Fußpedal Knöpfe in einer Bedienoberfläche zu drücken.

Um die Anforderungen der Geräte an die zentrale Steuereinheit zu übertragen, wird eine Codierung eingeführt, die durch die angeschlossenen Geräte unterstützt werden muss. In Tabelle 1 sind Codierungen der oben aufgeführten Steuerungsmöglichkeiten aufgelistet.

Tabelle 1: Anforderungen an ein Eingabegerät und ihre Codierungen im Verschaltungsnetz von zu steuernden Geräten und den Eingabegeräten

Anforderung der Bedienoberflächen	Codierung
Maus bewegen	0001
Linke Maustaste drücken	0010
Bewegen mit gedrückter linker Maustaste	0100
Rechte Maustaste drücken	1000
Mit Mousrad scrollen	0011
3D-Rotationen	0101
Translationen	1001
Knöpfe drücken	0111
Texteingaben	1011

Diese Eingabesignale müssen von einem Verschaltungssystem für bildbasierte Geräte unterstützt und emuliert werden können. Damit ist es dann möglich, eine transparente Verschaltung nicht nur der Videosignale sondern auch der Bedienkonzepte vorzunehmen.

Abbildung 8.2 zeigt die schematische Darstellung des Konzepts. Alle Eingabegeräte werden mit einem zentralen System im Operationssaal über z.B. USB oder LAN verbunden. Dieses zentrale Verschaltungssystem ist dann mit allen zu steuernden Geräten verbunden. Da es sich bei den Geräten um videobasierte Geräte und Anwendungen handelt, ist die Verbindung zum

einen z.B. eine VGA-, S-Video oder DVI-Verbindung, des Weiteren eine Steuerungsleitung wie eine USB- oder LAN-Verbindung.

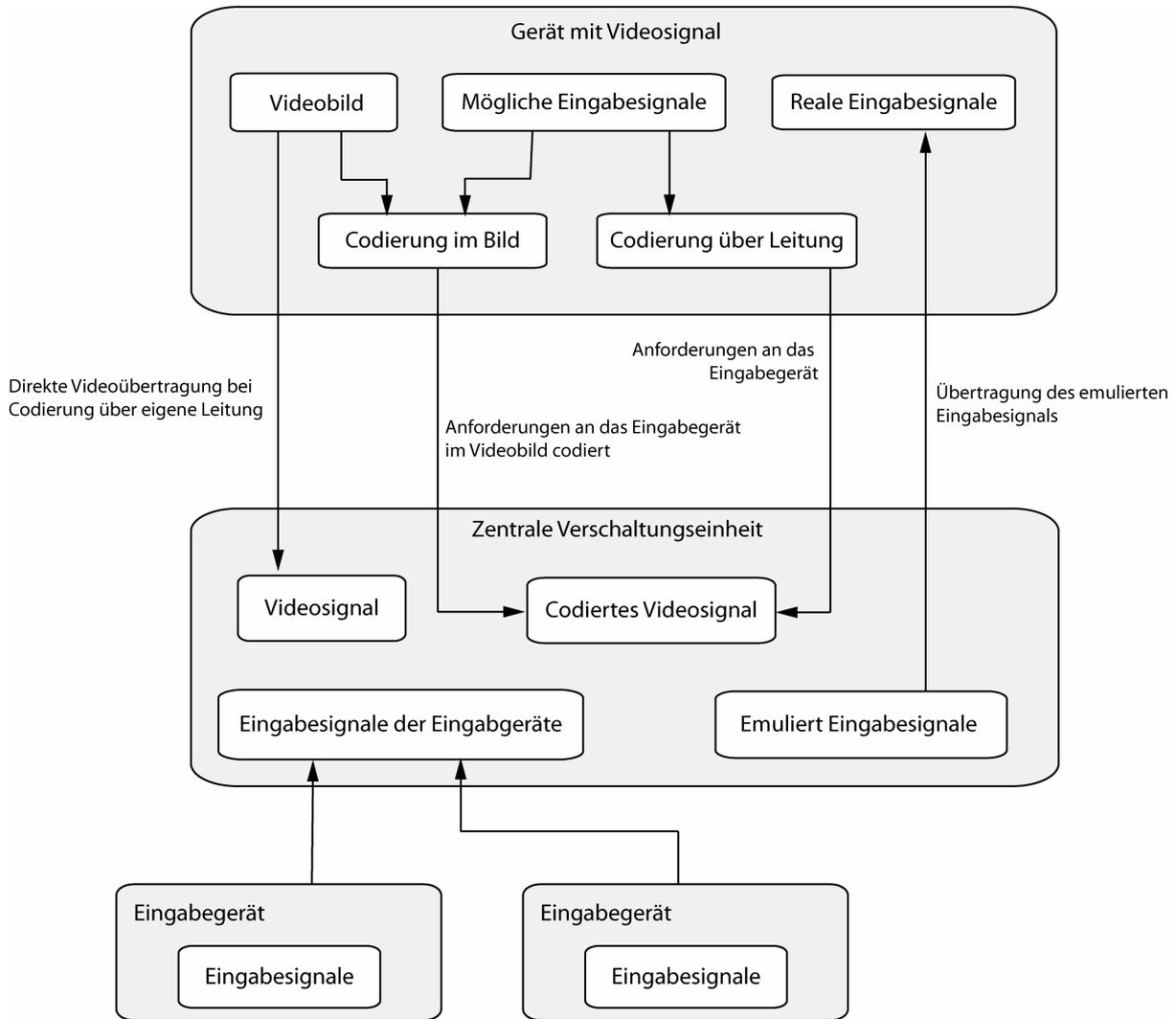


Abbildung 8.2: Konzept der anforderungsbasierten Verschaltung von Videoquellen mit Eingabegeräten

Um seine Anforderungen an ein Eingabegerät an die zentrale Verschaltung mitzuteilen, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Eine eigene Kommunikationsleitung

Zwischen dem zu steuernden Gerät und der zentralen Verschaltung existiert eine eigene Kommunikationsleitung. Über diese Kommunikationsleitung sendet das Gerät seine Anforderungen mit Hilfe eines definierten Protokolls. Das Protokoll verwendet dabei die gleiche Codierung wie in Tabelle 1. Für die Kommunikation kann eine serielle RS232 oder eine USB-Leitung verwendet werden.

Codierung in den Randbereichen des Videobildes

Da bei bildbasierten Geräten die wichtigsten Bildinformationen immer im mittleren Bereich des Bildes liegen, können z.B. die erste Zeile und die erste Spalte des Bildes dazu verwendet werden, codierte Informationen an die zentrale Verwaltungseinheit zu übermitteln. Dazu

werden z.B. in den Pixeln der ersten Zeile die Codierung aus Tabelle 1 verwendet. Im Rotkanal des ersten Pixels in der oberen linken Ecke steht die Gesamtanzahl der folgenden Codierungen, im Grünkanal des ersten Pixels steht die Länge der Codierung, hier also 4. In den Farbkanälen der darauf folgenden Pixeln sind dann jeweils die eigentlichen Codierungen gespeichert. Eine 0 bedeutet eine 0 in der Codierungstabelle, eine 255 bedeutet eine 1 in der Codierung. In Abbildung 8.3 ist ein Beispiel für eine solche Codierung im Videobild abgebildet.

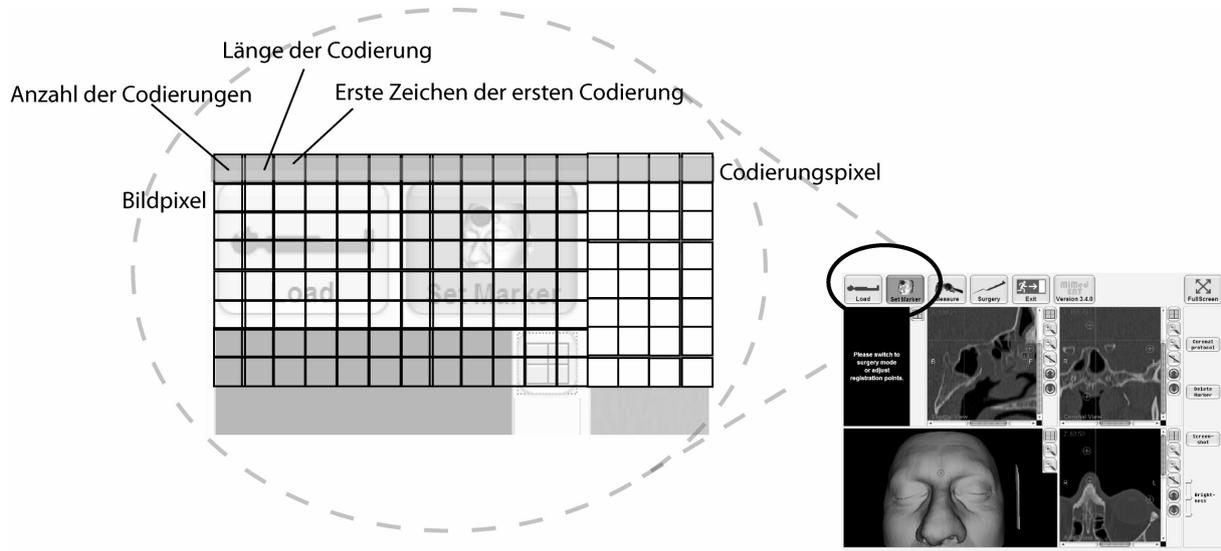


Abbildung 8.3: Codierung der Anforderungen in der ersten Zeile eines Bildes.

Das erfordert allerdings, dass die zentrale Verschaltungseinheit nicht nur eine reine Verschaltungsmatrix ist, die Eingänge auf Ausgänge weiterleitet. Stattdessen muss das Verschaltungssystem die Bilddaten der einzelnen angeschlossenen Geräte intern einlesen und weiterverarbeiten, um die Anforderungen der angeschlossenen Geräte zu decodieren. Das System muss entsprechende Bildverarbeitungsalgorithmen sowie die erforderliche Hardware in Form eines Framegrabbers mit Zugriff auf die angeschlossenen Bildsignale unterstützen.

Die Codierung in den Randbereichen des Videobildes kann entweder direkt in der ursprünglichen Anwendung durch den Hersteller des Systems erfolgen, indem er in seiner eigenen Software diese Informationen einbaut. Eine weitere Möglichkeit ist die Bereitstellung von verschiedenen Modulen, die zwischen das Gerät mit dem Videosignal und die zentrale Verschaltungseinheit geschaltet werden. Der Vorteil eines solchen Moduls ist die einfache Erweiterbarkeit bei der Ergänzung weiterer Steuerungsanforderungen oder neuer Eingabegeräte.

Abbildung 8.4 zeigt den Aufbau des Moduls und dessen Kopplung in das Gesamtsystem. Das Modul liest das Videosignal und überlagert das Signal mit den Parametern der gewünschten Eingabefunktionalität. Die Information über das Eingabegerät ist auf einem Mikrocontroller gespeichert. Zusätzlich enthält das Modul einen Funkchip wie alle Geräte laut der Gerätespezifikation im vorherigen Kapitel, damit es Daten mit anderen Geräten im Operationssaal austauschen oder neu programmiert werden kann. Damit ist es prinzipiell auch möglich, dass ein Gerät mit Videoquelle nach einem neuen Softwareupdate seine neuen Anforderungen an das Modul mitteilt oder die ursprünglichen Einstellungen von ihm abfragt. Gleiches gilt für das Hinzufügen eines neuen Eingabegerätes. Dieses kann allen Modulen im Operationssaal die Verfügbarkeit einer neuen Funktionalität mitteilen. Das Modul ist in

verschiedenen Ausprägungen für unterschiedliche Eingabegeräteanforderungen und Konfigurationen erhältlich. Die Codierungen der definierten Anforderungen aus Tabelle 1 werden wie in Abbildung 8.4 dargestellt, auf die Bildinformationen abgebildet.

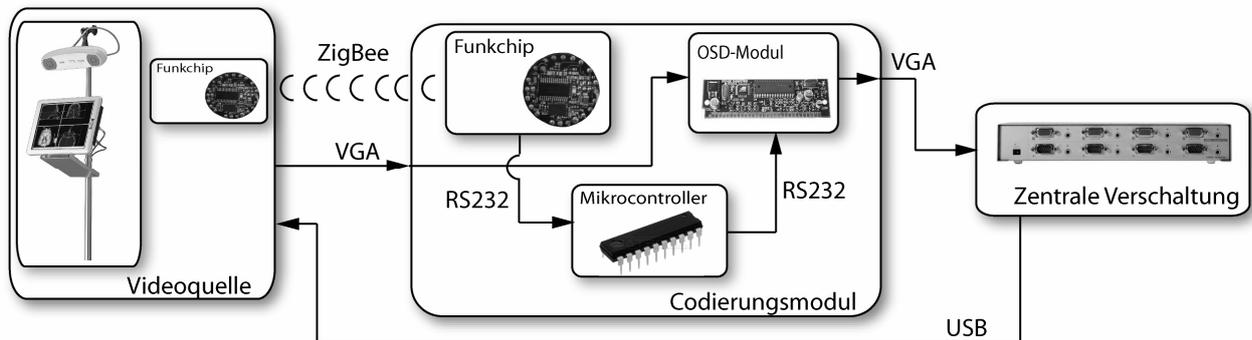


Abbildung 8.4: Aufbau eines Moduls zwischen die Videoquelle und das zentrale Verschaltungssystem. Das Modul beinhaltet einen Mikrocontroller, in dem die Anforderungen der Videoquelle an ein Eingabegerät konfiguriert sind und über ein OSD-Modul in das Videobild codiert werden.

Definierte Symbole im Videobild, die von der Verschaltung erkannt werden

Anstatt die Anwendung und ihre Anforderungen an ein Eingabegerät direkt über einen Bitcode am Bildrand zu codieren, können in Anwendungen Symbole eingefügt werden, die die Anforderungen identifizieren. Die Symbole werden in der zentralen Verschaltung in einer Look-Up Table hinterlegt und über Bilderkennungsalgorithmen erkannt. Dabei müssen nicht für jede Anforderung eigene Symbole verwendet werden. Stattdessen kann anhand von Schriftzügen und Symbolen auf den Knöpfen einer Anwendung selbige erkannt werden und so eine Zuordnung zu den Bedienkonzepten erfolgen.

Manuelles Einstellen der Anforderungen im Verschaltungssystem

Der für die Implementierung einfachste Weg der Erkennung von Anforderungen eines Gerätes ist das manuelle Einstellen der Eingabekonzepte für eine Anwendung. In dem Fall müsste an der zentralen Verschaltung die Möglichkeit gegeben sein, den angeschlossenen Geräten manuell die Eingabemodalitäten zuzuweisen. Diese Art der Zuweisung erfordert allerdings, dass eine OP-Schwester die Handlung durchführt. Um den Aufwand für das Personal während des Betriebs des Computer-Integrierten Operationssaals möglichst gering zu erhalten, ist diese Form der Zuweisung jedoch nicht umzusetzen.

8.3 Verschaltung von Geräten zur Motorsteuerung und Eingabegeräten

Neben den bildbasierten Systemen spielen die leistungsgesteuerten, chirurgischen Instrumente eine wichtige Rolle in heutigen Operationssälen. Es existieren für viele Anwendungen der Knochenchirurgie chirurgische Fräsen, Bohrer und Sägen, mit denen Knochenmaterial abgetragen oder zertrennt werden kann. Daneben existieren Lasersysteme, die sowohl für den Abtrag von Knochen oder das Fertigen von Kavitäten, aber auch für das Zertrennen von Weichgewebe genutzt werden können. Im Bereich der Weichgewebeschirurgie werden zusätzlich noch Ultraschalldissektoren verwendet, um Weichgewebe zu durchtrennen. Alle diese Geräte existieren in verschiedenen Ausprägungen und Ausbaustufen und von verschiedenen Herstellern.

Da der Chirurg während des Eingriffs im sterilen Bereich mit seinen Händen bereits das chirurgische Werkzeug an der richtigen Stelle am Patienten hält, erfolgt die Freigabe der Leistung entweder konventionell durch ein Fußpedal oder in neuesten Entwicklungen durch die zusätzliche Verwendung einer positionsabhängigen Leistungssteuerung. Da aber für jedes Gerät demnach ein eigenes Fußpedal erforderlich ist, muss der Chirurg bereits bei der Verwendung einer chirurgischen Fräse und eines Ultraschalldissektors für Weichgewebe mit zwei Fußpedalen zurechtkommen. Sehr häufig werden zusätzliche Fußpedale für die Steuerung von Saugern und weiteren OP-Geräten wie C-Bogen oder Mikroskop verwendet. Alle diese Eingabepedale unter dem Operationstisch können Fehler durch die Verwechslung der Fußpedale in Stresssituationen durch den Chirurgen verursachen.

8.3.1 Anforderungsbasierte Verschaltung von Geräten zur Motorsteuerung mit Eingabegeräten

Um die Anzahl der Fußpedale unter einem Operationstisch zu reduzieren, muss eine Möglichkeit gegeben sein, mehrere Geräte mit einem Fußpedal steuern zu können. Dazu soll ähnlich wie bei den bildgebenden Systemen eine zentrale Verschaltung für diese Art der Geräte entwickelt werden. Die Anforderungen an die zentrale Verschaltung sind allerdings anders, da hier nicht das vorhandene Signal eingelesen und nach einer internen Verarbeitung weitergeleitet wird.

Bei den Geräten für die motorgesteuerten Instrumente wird abhängig von den Strömen, die ein Fußpedal liefert, die Leistung des motorisierten Instruments frei geschaltet. Dabei können jedoch verschiedene Zustände je nach Fußpedal und Gerät notwendig sein. Einige Geräte benötigen lediglich einen gewissen Strompegel für den Befehl „Fußpedal gedrückt“ oder nicht, bei anderen Geräten kann über das Fußpedal je nach Stellung des Pedals (z.B. halb durchgedrückt) die Leistung des Motors variiert werden. Zusätzlich unterscheiden sich für Geräte unterschiedlicher Hersteller die Anzahl der Pedale sowie die Ströme, die bei den zugehörigen Fußpedalen fließen, wenn es getreten wird.

Damit ergeben sich für eine zentrale Verschaltung zwischen Fußpedalen und zu steuernden Geräten die folgenden Anforderungen:

- *Geräte müssen ihre Anforderungen an ein Fußpedal senden:* Ähnlich wie bei den bildgebenden Systemen übermitteln die angeschlossenen Geräte ihre Anforderungen an die Anzahl der Pedale und die erforderlichen Ströme und Spannungen an die zentrale Verschaltungseinheit. Die wertet diese Anforderungen aus und bildet die vorhandenen Signale der angeschlossenen Fußpedale auf die Anforderungen ab. Dabei besteht wie bei den bildgebenden Systemen die Möglichkeit, dass die Anforderungen an ein Fußpedal über eine eigene Steuerleitung mit der zentralen Verschaltung ausgetauscht werden. Die Codierung in einem bereits vorhandenen Signal besteht bei dieser Form der Verschaltung nicht, da die Motoreinheiten und das Verschaltungssystem im Normalfall keine Daten austauschen. Die Übermittlung der Anforderungen kann über eine nicht-echtzeitfähige Kommunikation wie z.B. USB oder der *Storz Communication Bus* realisiert werden.
- *Die zentrale Verschaltung kann die Signale von Fußpedalen einlesen:* Die Fußpedale werden bei dieser Form der Verschaltung nicht direkt an die Motoreinheiten der chirurgischen Instrumente angeschlossen. Stattdessen werden sie an eine zentrale Verschaltungseinheit angeschlossen, die die Signale und Ströme einliest und verarbeitet.

- *Der Verschaltungszustand wird visualisiert:* Um dem Anwender die aktuelle Zuordnung der angeschlossenen Pedale zu den Motoreinheiten zu visualisieren, wird die Verschaltung wie bei den bildgebenden Systemen auf einem Display im Gehäuse angezeigt. Der Nutzer kann die Verschaltung über einen Touchscreen durch einfaches Ziehen mit dem Finger verändern und so ein Fußpedal einer anderen Motoreinheit zuweisen.
- *Die zentrale Verschaltung kann die erforderlichen Signale erzeugen:* Um die gerätespezifischen Ströme eines Fußpedals zu erzeugen, muss die zentrale Verschaltung die Anforderungen der Geräte und die Signale des zugeordneten Fußpedals interpretieren. Dazu sind auf der Ein- und Ausgangsseite A/D-Wandlerkarten notwendig, über die analoge Signale in einen Zentralrechner eingelesen bzw. erzeugt werden können.

In Abbildung 8.5 ist die Verschaltung von zwei Fußpedalen mit unterschiedlichen Motorsteuerungen abgebildet. Die zentrale Verschaltung erkennt die unterschiedlichen Signale der Fußpedale und erzeugt anhand der Anforderungen der angeschlossenen Geräte die erforderlichen Ströme und Spannungen, um die Eingabesignal auf die Geräteanforderungen abzubilden.

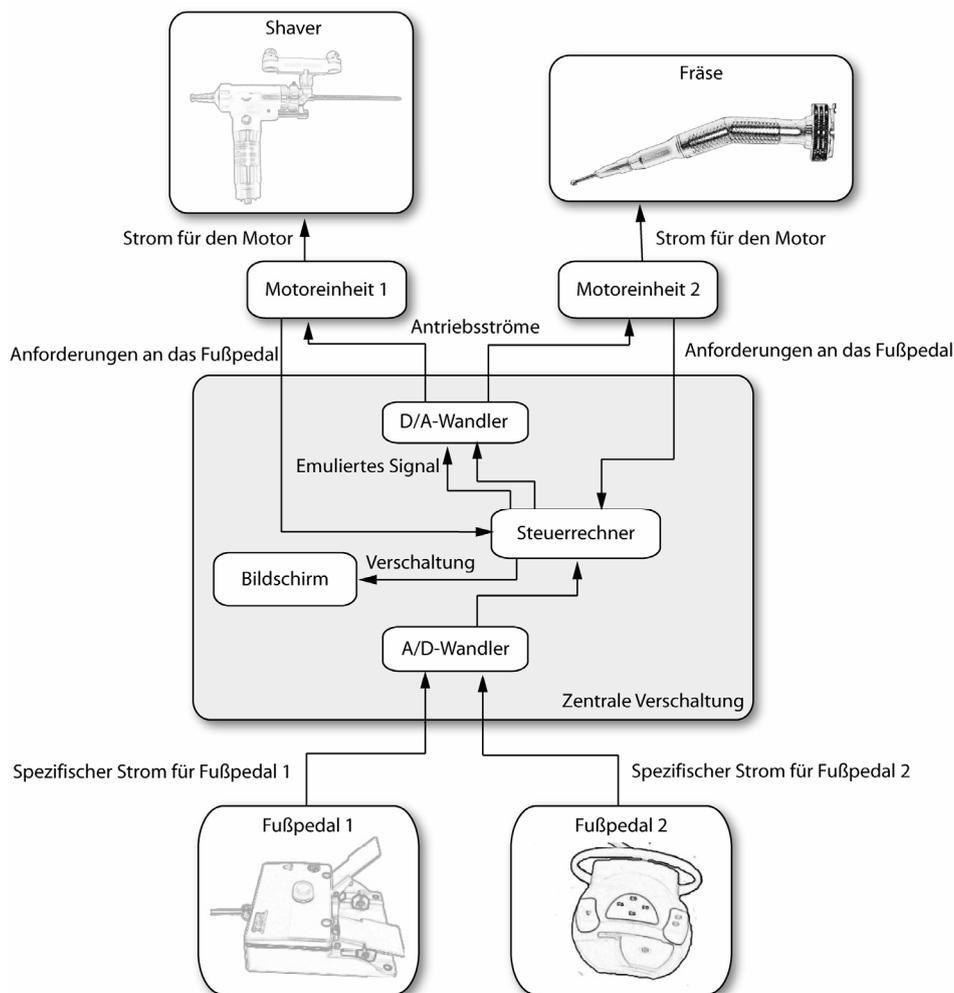


Abbildung 8.5: Verschaltung verschiedener Motoreinheiten mit Fußpedalen. Die zentrale Verschaltung bildet die vorhandenen Signale der Fußpedale auf die zu steuernden Motoreinheiten ab.

9. Implementierung einer Zustandkontrolle und Visualisierung

Um dem Chirurgen bei Bedarf alle im Netzwerk verfügbaren Funktionalitäten anzuzeigen, wird ein eigenes Gerät in das Netzwerk integriert, das alle Zustände im Netzwerk überwacht und analysiert. Dazu werden in regelmäßigen Abständen die von den einzelnen Geräten angebotenen Dienste im Netzwerk abgefragt und in einer Matrix gespeichert. Über diese Matrixdarstellung kann der Chirurg oder das OP-Personal jederzeit auf einem Bildschirm im Operationssaal die angebotenen Funktionalitäten erkennen. Es kann basierend auf dieser Information entschieden werden, welche beiden Funktionalitäten miteinander kombiniert werden können, um weitere Informationen zu gewinnen. Das kann zum Beispiel die Fusion verschiedener Bildmodalitäten wie CT/Endoskop, CT/MRT oder CT/Ultraschall sein.

Um die im Netzwerk verfügbaren Geräte zu identifizieren, ist in das zentrale Kontrollsystem ebenfalls ein Identifikationsmodul mit eingebautem Funkmodul integriert. Über dieses Modul erkennt das Kontrollsystem alle verfügbaren Geräte und deren Dienste. Es kann so schon vor dem Beginn des Eingriffs alle möglichen Funktionalitäten darstellen und das OP-Personal so bei der Bereitstellung des Operationssaals unterstützen.

Darüber hinaus erkennt das System, welche Funktionalitäten bei vergleichbaren Eingriffen in der Vergangenheit gemeinsam genutzt wurden und bietet dem OP-Personal darauf basierend Vorschläge an, welche Geräte oder Komponenten hinzugefügt werden müssen, um weitere Funktionalitäten zu erreichen. Das kann im Falle der Navigation zum Beispiel das Hinzufügen von weiteren optischen Reflektoren auf bereits verfügbare Instrumente oder Optiken sein. Sie könnten dann ebenfalls navigiert verwendet und in den Bilddaten des Navigationssystems angezeigt werden.

In einer Realisierung besteht das Kontrollsystem aus einem Steuerrechner, einem Identifikationsmodul und bietet Schnittstellen, über die die unterschiedlichen Kommunikationsprotokolle des Computer-Integrierten Operationssaals verarbeitet werden können. Nachdem das System eingeschaltet wurde, informiert es sich über die vorhandenen Geräte im Operationssaal und überprüft dann kontinuierlich die bereitgestellten Dienste und Daten.

In Abbildung 9.1 ist ein Beispiel für eine mögliche Visualisierung bei drei im Netzwerk verschalteten Geräten dargestellt. Die angebotenen Funktionalitäten werden in den Zeilen und Spalten abgebildet. Die Kreuze markieren die in einem Gerät aktuell gemeinsam genutzten Funktionen. Sie können sich je nach OP-Verlauf und verwendeten Geräten dynamisch ändern und müssen in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Auf Wunsch kann der Chirurg auf die Datenbank zurückgreifen, in der die für diese Gerätetypen in der Vergangenheit verwendeten Kombinationen abgespeichert sind. Er kann Verschaltungsprofile abrufen, die die Konfiguration der angeschlossenen Systeme wiederherstellen und so eine schnelle und einfache Neukonfiguration des Gesamtsystems ermöglichen.

Durch die kontinuierliche Überwachung der Einzelzustände kann das Kontrollsystem Fehler oder Ausfälle in den einzelnen Geräten feststellen. Fällt zum Beispiel eine Funktion eines Geräts während des Eingriffs kurzzeitig aus, kann das System den Chirurgen darüber informieren. Dazu wird auf dem Bildschirm des zweiten Geräts, das die ausgefallene Funktionalität genutzt hat, ein Hinweis eingeblendet. Das kann entweder über Verwendung eines Dienstes der Benutzeroberfläche des Gerätes erfolgen oder über die Einblendung in das vorhandene Videosignal. Dazu informiert das Kontrollsystem die zentrale

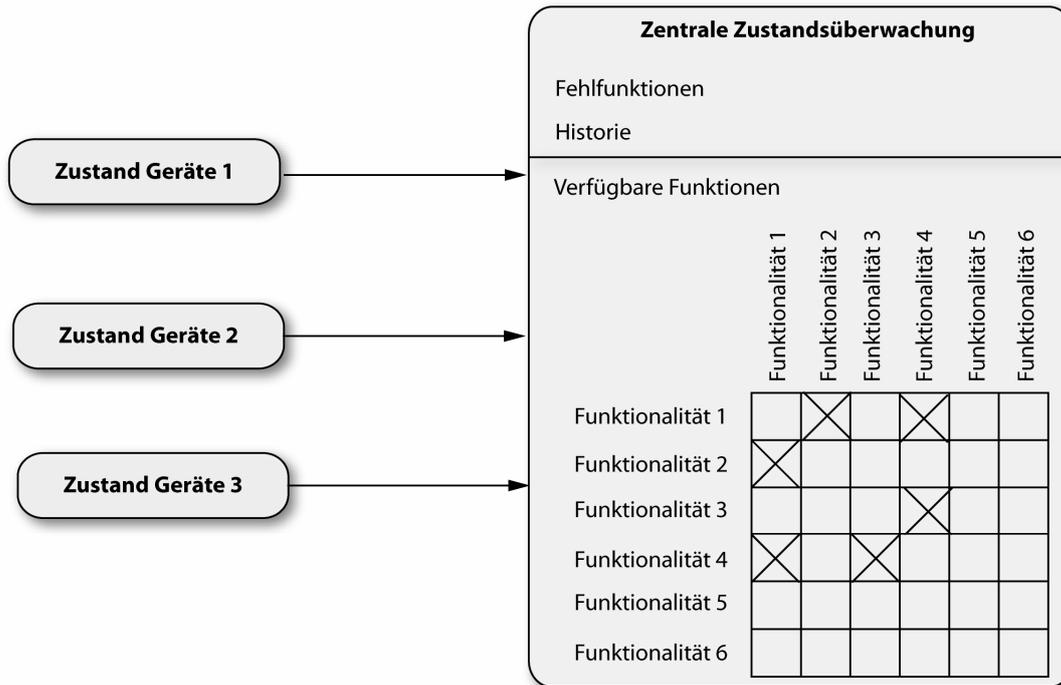


Abbildung 9.1: Aus den Zuständen der einzelnen Geräte werden die aktuell verfügbaren Funktionalitäten eines Geräts abgeleitet und bei Bedarf zentral alle verfügbaren Funktionalitäten in einer Matrix visualisiert.

Videoverschaltung, die alle Videosignale verarbeitet. In diese zentrale Videoverschaltung sind vor jedem Videoausgang *OnScreen-Displays (OSD)* integriert, über die Text- oder Bildinformationen in ein vorhandenes Videosignal eingeblendet werden können. Das Kontrollsystem blendet so Informationen in das vorhandene Videosignal ein und gibt Hinweise, wie der Fehler behoben werden kann. Im Falle der Navigation kann zum Beispiel der Fall eintreten, dass eine Neuausrichtung der Navigationskamera erforderlich ist, so dass alle navigierten Instrumente innerhalb des Sichtbereichs der Navigationskamera liegen.

Durch die Überwachung der Gerätezustände kann mit Hilfe des Systems auch auf den OP-Verlauf geschlossen werden. Dazu werden die Reihenfolge der verwendeten Geräte sowie deren Einsatzdauer und Verschaltungen ausgewertet. Durch die Archivierung und den Vergleich mit vorangegangenen Eingriffen kann so auf die nächsten Schritte innerhalb des Eingriffs geschlossen werden. Das kann zum Beispiel die Planung und Verfügbarkeit weiterer Geräte betreffen oder sich auf die Bereitstellung von Verbrauchsmaterialien für den Abschluss des Eingriffs beziehen. Der Abschluss des Eingriffs kann so auch außerhalb des Operationssaals auf Bildschirmen eingesehen und das weitere Vorgehen für den nächsten Patienten und die postoperative Versorgung des aktuellen Patienten geplant werden.

Aus der kontinuierlichen Aufzeichnung der verwendeten Geräte und deren Verschaltung untereinander wird automatisch ein OP-Protokoll generiert, das transparent die entstandenen Kosten durch die Verwendung der Geräte aufschlüsselt. Das Protokoll enthält die folgenden Informationen:

- *Ort, Datum und Operateur des Eingriffs:* Das Datum der Operation und der Typ des Eingriffs werden als erste Information abgespeichert. Dazu muss der Typ des Eingriffs sowie der Name des Operateurs vorab durch das OP-Personal manuell eingegeben

oder aus dem zentralen OP-Belegungsplan eingelesen werden. Zusätzlich wird die Dauer des Eingriffs dokumentiert.

- *Auflistung der verwendeten Geräte:* Aus den verfügbaren Diensten und der Zustandsabfrage über das Identifikationsmodul wird eine Liste der verwendeten Geräte während eines Eingriffs angelegt. In dieser Liste sind die Zeiten, in denen ein Gerät tatsächlich benutzt wurde, aufgeführt. Die Zeiten, in denen ein Gerät zwar eingeschaltet aber nicht benutzt wurde, wird hierbei nicht berücksichtigt. Das erfordert, dass automatisch die Benutzung eines Geräts erkannt wird. Die Information wird in der zentralen Verschaltungseinheit für Videosignale bzw. für Motorsteuerungen gefiltert. Dazu werten die Verschaltungssysteme die anliegenden Signale aus. Bei bildgebenden Systemen erfolgt das durch die Veränderung der Bildinformationen. Ändert sich der Bildinhalt eines Geräts über einen definierten Zeitraum nicht, kann davon ausgegangen werden, dass das System nicht verwendet wird. Bei Motorsteuerungen kann diese Information direkt aus den gemessenen Motorströmen und der abgegebenen Leistung erkannt werden.
- *Verweise auf generierte Bildinformationen:* Durch die automatische Dokumentation von Bilddaten durch ein Dokumentationssystem oder die zentrale Videoverschaltung werden unterschiedliche Bilder von verschiedenen Quellen abgespeichert. In diesem Teil des Protokolls sind die Ablageorte innerhalb des Bildservers abgespeichert und eine Zuordnung zu den verwendeten Geräten aufgeführt. Das Kontrollsystem zur Überwachung der Zustände bietet dazu einen Dienst an, über den es die entsprechenden Dokumentationssysteme, die Speicherorte und die Art der aufgezeichneten Daten informieren kann. Damit kann der Chirurg nach dem Eingriff und mit Hilfe des Protokolls auf die Bilddaten zugreifen und sie in seine OP-Dokumentation aufnehmen.
- *Verweis auf aufgezeichnete Parameter:* Wie bei den Bilddaten werden auch die Daten der Motorströme, die des Navigationssystems sowie die verwendeten Verbrauchsmaterialien während der Operation dokumentiert. Um auf diese Informationen nach dem Eingriff zugreifen zu können, teilen die Dokumentationswerkzeuge die Speicherorte wieder über einen zur Verfügung gestellten Dienst des Kontrollgeräts mit. Diese werden den Geräten zugeordnet und können vom Chirurgen verwendet werden.
- *Verschaltungsplan:* Die Verschaltung der Geräte dient als Grundlage für zukünftige Einsätze. Es wird für die durchgeführten Eingriffstypen eine Liste der verwendeten Geräte sowie deren Verwendung von Funktionalitäten untereinander aufgeführt. Damit können die OP-Schwester diese Information vor einem Eingriff dazu verwenden, um die notwendigen Geräte im Operationssaal vorzubereiten und die dazugehörigen Komponenten und sterilen Instrumente bereitzulegen.
- *Fehlfunktionen:* Treten während der Benutzung der Systeme Fehler auf oder fällt eine Funktion eines Geräts während des Eingriffs aus, werden diese Informationen und die Gründe dokumentiert. Sie dienen dazu, die Fehler bei der Vorbereitung nachfolgender Eingriffe auszuschließen und das Setup während der Operation entsprechend anzupassen, so dass die Fehler nach Möglichkeit nicht mehr auftreten.

10. Implementierung unterschiedlicher Bedienkonzepte

Wie im Kapitel 6.6 beschrieben besteht der Wunsch des Chirurgen nach einer Möglichkeit, Geräte und ihre Anwendungen direkt über die Großbildschirme an der Decke oder den Wänden des Operationssaals zu bedienen, auf denen ihre Videosignale angezeigt werden. Dazu werden im Folgenden drei mögliche Implementierungen von Bediensystemen und den zugehörigen Bedienkonzepten beschrieben.

10.1 Bedienung über Touchbildschirme im sterilen Bereich

Viele bereits heute verfügbare Geräte im Operationssaal besitzen einen Videoausgang zur Anzeige der Videobilder auf einem Großbildschirm sowie einen USB-Eingang zum Anschließen einer normalen Computermaus. Um diese Geräte direkt im sterilen Bereich bedienen zu können, existieren zusätzlich Touchbildschirme, die an der Decke des Operationssaals montiert sind. Die Geräte, die über diese Touchbildschirme bedient werden, besitzen zusätzlich zum normalen USB-Eingang noch eine Schnittstelle, über die die Mausinformationen des Touchbildschirms an das Gerät übertragen werden. In der Software des Geräts bzw. dessen Treiber werden die Touchinformationen dann in Mauskoordinaten umgerechnet und an die Anwendungssoftware weitergeleitet. In dieser Konfiguration ist es daher nicht möglich, Geräte mit der fehlenden Schnittstelle für einen Touch nachträglich mit den Touchbildschirmen im Operationssaal zu verknüpfen.

In Abbildung 10.1 ist eine beispielhafte Lösung des Problems dargestellt. Das Videobild eines Gerätes wird auf dem Touchbildschirm angezeigt. Anstatt die Computermaus direkt an das Navigationssystem anzuschließen, wird zwischen den Touchbildschirm und das zu bedienende Gerät ein nachrüstbares Modul geschaltet. Dieses Modul besteht aus einem Mikrocontroller, der die seriellen Signale des Touchbildschirms einliest und verarbeitet. Gegenüber dem zu steuernden Gerät meldet sich der Mikrocontroller als HID-Gerät an. Das bedeutet, dass das Gerät davon ausgeht, dass z.B. eine USB-Maus angeschlossen wurde. Damit sind auf dem zu steuernden Gerät keine zusätzlichen Treiberinstallationen notwendig, da sie durch das Betriebssystem unterstützt werden. Aus den Touchkoordinaten und den Auflösungen des Touchbildschirms und des zu steuernden Gerätes entstehen durch eine lineare Interpolation die Mauskoordinaten für das angeschlossene Gerät.

Um die Mauskoordinaten berechnen zu können, benötigt das Modul die Auflösungen des Touchbildschirms. Die Auflösung des angeschlossenen Gerätes, das bedient werden soll, wird nicht benötigt, da die Mauskoordinaten automatisch vom Betriebssystem des Gerätes angepasst werden. Die Mauskoordinaten des Touchbildschirm werden dazu zunächst vom USB-Modul auf eine Größe von 32.000×32.000 Pixel skaliert und im Anschluss vom Betriebssystem zurückskaliert. Die Einstellungen der Touchbildschirme können allerdings variieren, weshalb entweder verschiedene Module für unterschiedliche Auflösungen der Bildschirme bereitgestellt werden müssen, oder aber der Touchbildschirm sendet generell in regelmäßigen Abständen seine aktuellen Einstellungen an den Mikrocontroller, der die Information dann speichert. Diese Übertragung der Bildschirmparameter kann entweder über die serielle Verbindung zwischen beiden Geräten erfolgen, oder aber beide Geräte enthalten ebenfalls zusätzlich das aus der Gerätespezifikation bekannte Identifikationsmodul. Über die Funkverbindung kann dann der Bildschirm seine Parameter an das angeschlossene USB-Modul übertragen und seine Verfügbarkeit im Netzwerk anzeigen.

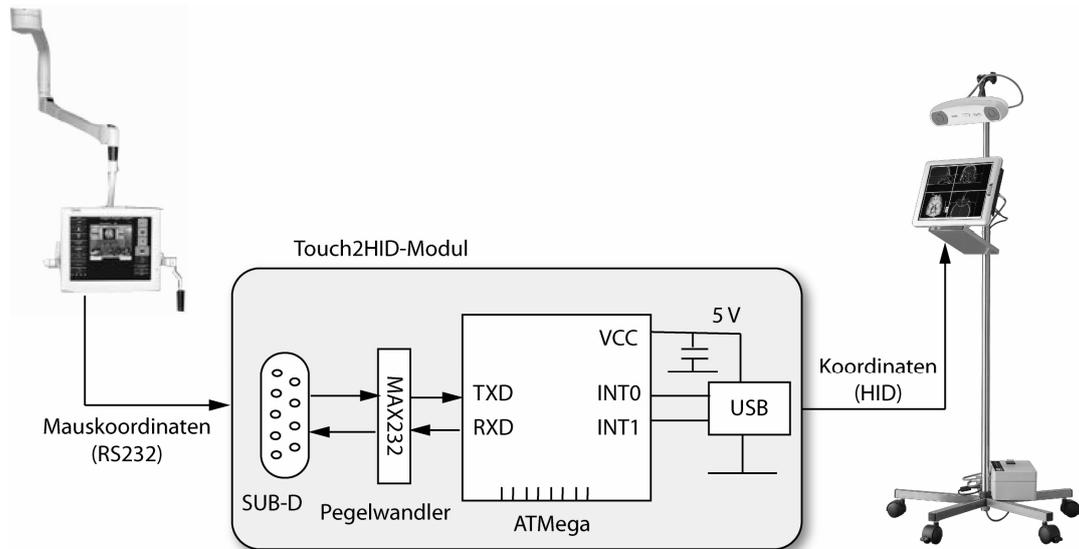


Abbildung 10.1: Zwischen den Touchbildschirm wird ein mikrocontroller-basiertes Modul geschaltet, das eine nachträgliche Verknüpfung von Touchbildschirmen und einer normalen Steuerung über eine USB-Maus verknüpft.

Da auf einem Touchbildschirm das Bewegen der Maus und das Drücken eines Knopfes oder Bedienfeldes in der Benutzeroberfläche zunächst vom Signal nicht zu unterscheiden sind, muss hierfür eine geeignete Lösung gefunden werden. Eine Möglichkeit ist, dass der Mikrocontroller eine feste Anzahl von Touchsignalen abspeichert und die Bewegung des Mauszeigers auswertet. Wird der Mauszeiger dann über einen Punkt für einen längeren Zeitpunkt gedrückt gehalten, ist davon auszugehen, dass der Benutzer dort ein Bedienelement auswählen möchte. Der Mikrocontroller teilt das dem Controller für das HID Gerät mit und der löst einmalig einen Klick der linken Maustaste aus.

Neben dem einmaligen Klicken eines Knopfes unterstützt das USB-Modul auch eine Doppelklickfunktion. Dazu sendet der Touchbildschirm eine entsprechende Information an das Modul, sobald in kurzem Abstand zweimal auf dieselbe Stelle des Bildschirms gedrückt wurde. Das USB-Modul überträgt diese Befehle in die entsprechenden HID-Befehle und gibt sie an das zu steuernde Gerät weiter.

10.2 Bedienung über ein kabelloses Eingabegerät

Um Geräte über kabellose Geräte direkt am Großbildschirm, an dem ihr Videosignal angezeigt wird, steuern zu können, müssen an den Großbildschirmen ein oder mehrere Sensoren angebracht werden, die die Bewegung eines Senders empfangen und auswerten können. Im Falle des hier vorgestellten Konzepts entspricht der Sensor einer Infrarotkamera, und der Sender besteht aus zwei Infrarotdioden, die in einem Bedienstift integriert sind. Dabei senden die beiden Infrarotdioden kontinuierlich infrarotes Licht, das von der Kamera empfangen wird. Werden die Dioden translatorisch entlang der drei Raumachsen bewegt, ändert sich die Position der Infrarotpunkte auf dem CCD-Chip der Kamera. Darüber kann für diese Form der translatorischen Bewegungen die Bahn im Raum des Eingabegerätes verfolgt werden.

Um die Bewegung im Raum auf eine Mausbewegung am Bildschirm abbilden zu können, muss aus den Projektionsbildern auf dem CCD-Chip der Kamera eine Mausbewegung abgeleitet werden. Dazu wird erneut die Elektronik aus dem vorangegangenen Abschnitt

verwendet. Das bedeutet, dass der Microcontroller anstatt der Signale des Touchbildschirms nun die Signale der Infrarotkamera als Eingabesignale verarbeitet. Er rechnet aus der Position der Projektionen auf dem CCD-Chip die tatsächliche Bewegung des Mauszeigers in Pixel um.

Dazu werden sowohl die Auflösung der CCD-Chips als auch die Auflösung der Kamera verwendet. Die daraus berechneten Koordinaten werden wieder durch eine lineare Abbildung auf die Größe des tatsächlichen Gerätes umgerechnet und anschließend als HID-Gerät an das zu steuernde Gerät geliefert. Abbildung 10.2 zeigt den Aufbau des Eingabesystems. Im Bild sind an jedem Plasmabildschirm an der Wand vier Infrarotkameras angebracht. Diese dienen dazu, ein exakteres Ergebnis bei der Bewegungsberechnung zu erhalten. Die empfangenen Signale der einzelnen Kameras werden dazu verglichen und über einen Mittelwertfilter die entsprechende Bewegung ermittelt.

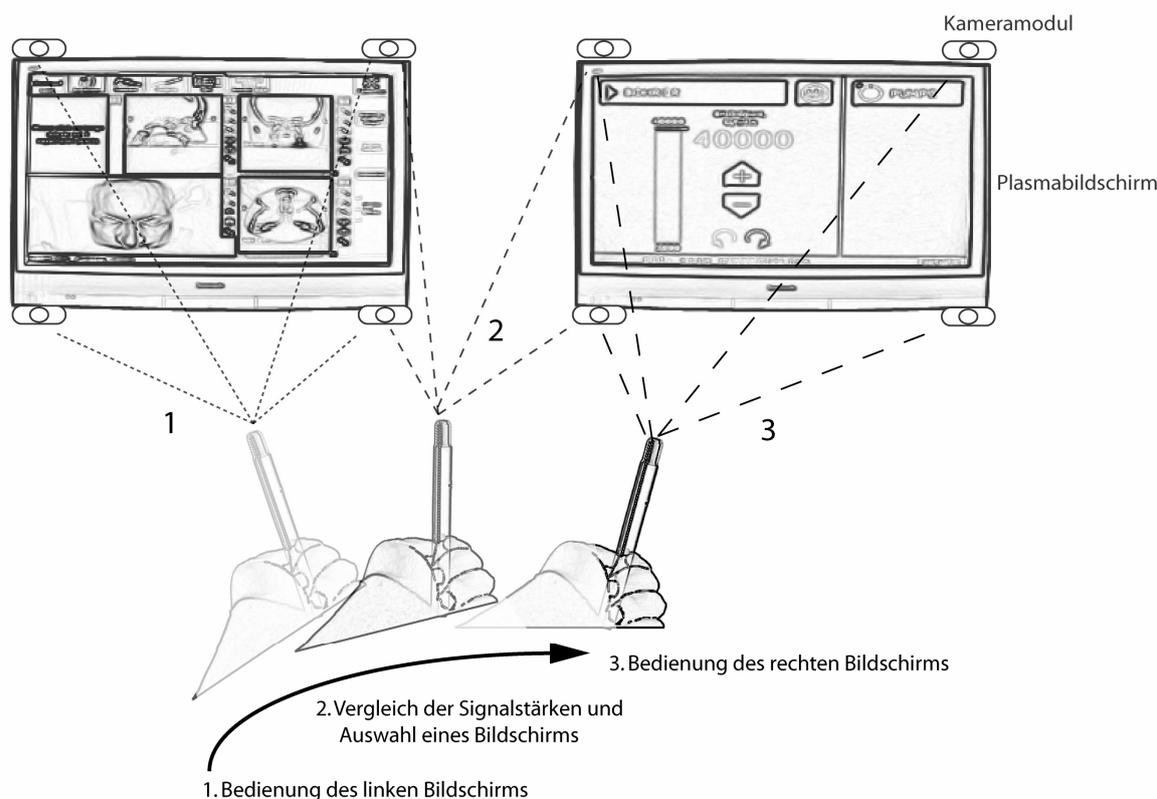


Abbildung 10.2: Schematische Darstellung des Eingabekonzeptes über ein kabelloses Infrarotgerät und der zugehörigen Infrarotkameras an den Bildschirmen im Operationsaal.

Das Eingabegerät besteht aus zwei Infrarotdioden, die in einem definierten Abstand soweit auseinander angebracht sind, dass sich die Projektionen auf den CCD-Kameras gerade noch voneinander unterscheiden lassen. Aus den beiden Punkten kann dann nicht nur die Bewegung entlang der Raumachsen berechnet werden, sondern vielmehr kann zusätzlich eine Rotation erkannt werden, die dazu verwendet wird, um dreidimensionale Modelle in einer Anwendung zu drehen.

In Abbildung 10.3 ist ein Modell des Bedienstiftes abgebildet. Eine der beiden Infrarotdioden an der Spitze des Stiftes ist über eine bewegliche Achse befestigt. Dadurch kann der Abstand der beiden Dioden zueinander verändert werden. Diese Funktionalität wird z.B. für das Zoomen in ein Bild genutzt. Über einen Drehregler an der Seite kann die Diode bewegt werden. Der Regler kann gleichzeitig wie das Scrollrad einer normalen Computermaus auch gedrückt werden und dient damit auch als Eingabeknopf für das Auslösen eines Mausklicks.

Wird der Regler kurz gedrückt, werden die Infrarotdioden kurz ausgeschaltet und so der Elektronik am Bildschirm das Drücken des Knopfes übermittelt.

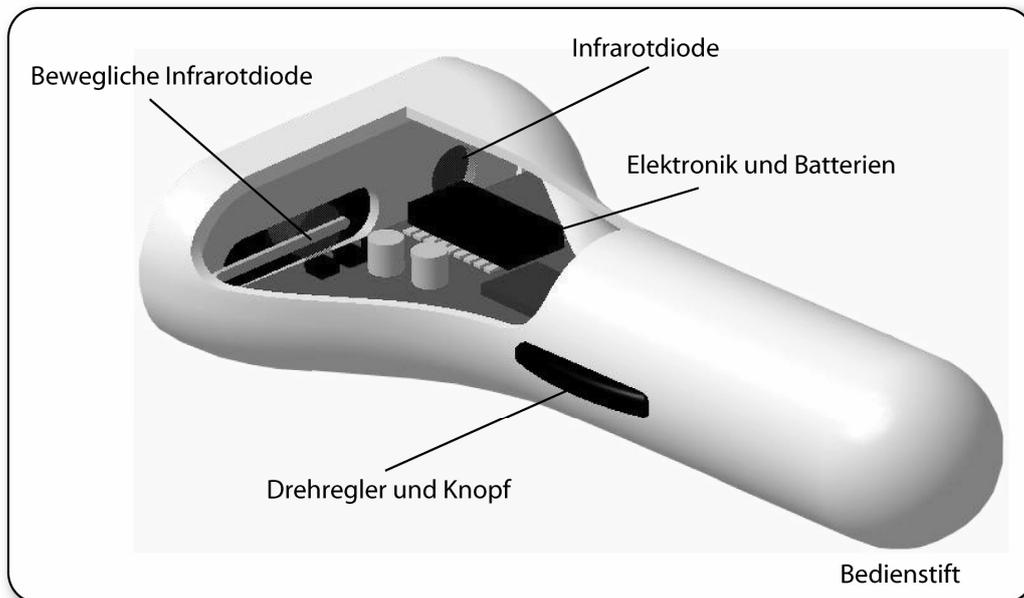


Abbildung 10.3: Aufbau des Eingabestiftes, bestehend aus zwei Infrarotdioden und der zugehörigen Elektronik mit Batterien. Neben den beiden Dioden ist ein Taster integriert, der der linken Maustaste entspricht. Um ein zu schnelles Entladen der beiden Batterien zu verhindern, ist ein digitaler Beschleunigungssensor mit integriert. Der gibt die Energie für die beiden Dioden nur frei, falls der Stift bewegt wird.

Um eine möglichst intuitive Handhabung des Eingabegerätes zu ermöglichen, erfüllt das Eingabegerät die folgenden Eigenschaften:

- *Steuerung von mehreren Bildschirmen mit einem Eingabestift:* Hängen zwei Bildschirme und die zugehörigen Infrarotkameras in einem Operationssaal nebeneinander, darf immer nur einer der beiden die Steuerungsbefehle des Bedienstifts akzeptieren. Dazu werden zum einen die Infrarotdioden im Bedienstift durch mechanische Trichter fokussiert. Zusätzlich laufen auf den Auswertungselektroniken der Infrarotkamera neben den Mittelwertfiltern zur Berechnung der Bewegung zusätzliche Filter, die erkennen, ob der Infrarotstift gerade auf den zugehörigen Bildschirm gerichtet ist oder nicht. Dazu werten die vier Kameras in den Ecken zusätzlich die Intensität der einfallenden Infrarotstrahlung aus. Überschreitet die Intensität auf allen vier Kameras eines Bildschirms nicht einen definierten Grenzwert, reagieren die Kameras nicht. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass die Kameras wie alle anderen Geräte im vorgestellten Modell ein zusätzliches Funkmodul installiert haben, über das sie miteinander kommunizieren können. Dadurch können alle Kameras, die zu einem Bildschirm gehören, mit den anderen Kameras eines Bildschirms kommunizieren und so die Intensitäten vergleichen. Es würde dann der Bildschirm die Infrarotsignale weiter verarbeiten, bei dem die Intensitäten höher waren.
- *Erkennen von translatorischen Bewegungen:* Durch das Bewegen der beiden Infrarotdioden im Raum verschieben sich die Projektionen der beiden Dioden auf dem CCD-Chip der Kamera. Diese Verschiebung wird durch eine lineare Abbildung

zusammen mit der Größe des CCD-Chips und der Auflösung des Bildschirms auf die Mausbewegung abgebildet.

- *Erkennen von Rotationen:* Durch die Unterscheidung der beiden Projektpunkte auf den CCD-Chips können Rotationen des Bedienstifts um die Mittelachse erkannt werden. Da bei translatorischen Bewegungen die beiden Projektionspunkte beide in dieselbe Richtung verschoben werden, ändern sich deren Koordinaten auf dem CCD-Chip bei Rotationen unabhängig voneinander. Über den festen Abstand der beiden Punkte sowie die trigonometrischen Funktionen kann damit aus den Projektionsbildern die Rotation berechnet werden. Diese Rotation wird dafür verwendet, um 3D-Modelle in Anwendungen zu rotieren.
- *Multi-Touch:* Über eine mechanische Vorrichtung lassen sich die beiden Infrarotdioden entlang einer vorgegebenen Achse auseinanderschieben und wieder zusammenziehen. Dadurch laufen ihre Projektionspunkte auf den CCD-Chips gegenläufig auseinander bzw. zusammen. Diese spezielle Bewegung wird vom System erkannt und damit eine Multi-Touch Funktion erzeugt, die zum Zoomen oder Verschieben von Modellen auf dem Bildschirm genutzt werden kann.
- *Automatische Kalibrierung:* Je weiter der Anwender vom Bildschirm an der Wand und damit von den messenden Kameras entfernt ist, umso größer ist der Einfluss von kleinen Bewegungen auf die Verschiebung der Projektionen auf den CCD-Chips. Damit jedoch die Mausbewegung auf dem Bildschirm unabhängig vom Abstand zu den Kameras wird, soll eine automatische Kalibrierung durchgeführt werden. Dazu werden zu Beginn jeder Bewegung die Positionen, an denen der Mauszeiger an den Rändern des Bildschirms ankommt, gespeichert. So erhält man die maximale Auslenkung auf dem Bildschirm zusammen mit den Positionen der Projektionen auf dem CCD-Chip. Über diese Informationen kann eine Kalibrierung der Bewegung relativ zum Bildschirm berechnet werden. Man erhält einen linearen Faktor, mit dem dann alle Projektionsunterschiede anschließend multipliziert werden, um eine optimale Ausnutzung der Bildschirmgröße und der zugehörigen Mausbewegungen darauf zu erzielen. Stellt das System fest, dass sich die berechneten Punkt auf dem Bildschirm nicht mehr innerhalb der Bildschirmauflösung befinden, die beiden Infrarotdioden aber dennoch sichtbar sind, muss davon ausgegangen werden, dass sich der Abstand des Anwenders zum Bildschirm geändert hat. Daraufhin wird das System erneut kalibriert, ohne dass es der Benutzer merkt.
- *Unterstützung verschiedener Mausfunktionalitäten:* Über einen Schalter am Bedienstift können Mausklicks ausgelöst werden. Dazu wird eine der beiden Dioden kurzzeitig vom Dauerbetrieb in einen gepulsten Modus umgeschaltet. Dieser Fall simuliert dann ein Drücken der linken Maustaste und wird von der Kameraelektronik an den Bildschirmen erkannt und an das zu bedienende Geräte weitergeleitet. Wird der Schalter gedrückt gehalten, schaltet auch die zweite Diode auf den gepulsten Betrieb um. Dieser Fall entspricht einer dauerhaft gedrückten linken Maustaste beim Verschieben oder Markieren von Objekten auf dem Bildschirm.
- *Aktives Energiemanagement:* Durch das ständige Senden der Infrarotdioden werden die Batterien des Eingabestiftes stark beansprucht. Da die Dioden aber nur bei Bewegungen aktiviert sein müssen, wird ein zusätzlicher Beschleunigungssensor in den Stift integriert. Dieser Beschleunigungssensor erkennt, wenn der Stift in die Hand genommen wird und schaltet daraufhin die Elektronik der Dioden ein. Wird der Stift

über einen längeren Zeitraum nicht verwendet, werden die Dioden wieder abgeschaltet.

- *Sterile Benutzung:* Der Bedienstift wird für den sterilen Gebrauch durch den Chirurgen mit einer sterilen Tüte verpackt. Er kann den Stift dadurch direkt im sterilen Umfeld ablegen und bei Bedarf schnell nutzen.

10.3 Bedienung über ein multifunktionales Eingabegerät

Um Geräte auch direkt am OP-Tisch ohne Touchbildschirm steuern und bedienen zu können, existieren unterschiedliche Eingabegeräte mit unterschiedlichen Funktionalitäten. Einige dieser Eingabefunktionalitäten sollen in dem hier vorgestellten Konzept in einem Gerät umgesetzt werden.

Als Anforderungen für das vorgestellte Eingabegerät wurden die folgenden Punkte identifiziert:

1. Bewegen eines Mauszeigers auf dem Bildschirm und Auslösen von Mausevents
2. Manipulation von 3D-Objekten
3. Frei programmierbare Tasten zum direkten Ansteuern von Gerätefunktionen
4. Anzeige von Statusinformationen und Hinweisen auf dem Eingabegerät
5. Programmierbares Touchdisplay für Benutzeroberflächen und Eingaben
6. Verwendung im sterilen Bereich

Abbildung 10.4 zeigt ein Computermodell des integrierten Eingabegerätes. Es besitzt die folgenden Eigenschaften:

- *Mausfunktionen:* Durch eine mittig angebrachte 6D-Maus kann eine normale Mausbewegung in zweidimensionalen Bildern erfolgen. Dazu werden lediglich die translatorischen Bewegungen nach links/rechts und oben/unten ausgewertet. Durch ein Runterdrücken kann die linke Maustaste implementiert werden. Eine weitere Möglichkeit, Mausbewegungen zu erzeugen, ist die Folientastatur auf der rechten Seite des Eingabegeräts. Die Tasten können beliebig programmiert und bei Bedarf die Pfeile der entsprechenden Mausbewegung zugeordnet werden. Die Maustasten können dann über die restlichen Tasten realisiert werden.
- *Manipulation von 3D-Objekten:* Für die Manipulation von 3D-Objekten auf dem Bildschirm steht eine integrierte 6D-Maus zur Verfügung.
- *Programmierbare Tasten:* Auf der rechten Seite des Geräts befindet sich eine Folientastatur, die frei programmiert werden kann. Die Tasten können für das Ansteuern von Motoren eines intelligenten Haltesystems oder einer motorisierten Deckenkamera verwendet werden.
- *Anzeige von Menüs oder Statusanzeigen:* Auf der linken Seite des Systems ist ein kleiner Touchbildschirm in das Gehäuse integriert. Dieser kann über serielle Kommunikation Daten mit einem anderen Gerät austauschen. Das Display kann dann

für die Anzeige von Menüs oder Statusanzeigen einer anderen Anwendung genutzt werden. Über den Touch können Auswahlbefehle anschließend zurück an die Anwendung geschickt werden.

- *Kann am OP-Tisch befestigt werden oder in die Hand genommen werden:* Das gesamte System wird mit einem USB-Stecker mit anderen Geräten verbunden. Es kann während des Eingriffs in einer Schale abgelegt werden, die direkt am Operationstisch befestigt ist. Bei Bedarf wird das Eingabegerät dann aus der Schale in die Hand genommen. Dazu sind alle Kanten am Gerät abgerundet, sodass das Einschneiden eines sterilen Handschuhs oder der umgebenden sterilen Hülle minimiert wird.
- *Steril Verwendbar:* Intraoperativ kann das System von einer nicht-sterilen Schwester verwendet werden. Alternativ kann es in eine sterile Hülle, wie sie auch für Endoskope verwendet werden, eingepackt und direkt von Chirurgen aus dem sterilen Umfeld verwendet werden.



Abbildung 10.4: Dreidimensionales Modell des konstruierten Eingabegerätes. Es besteht im linken Teil aus einem Touchdisplay, in der Mitte aus einer 6D-Maus und im rechten Teil aus einer Folientastatur.

11. Prototypische Realisierungen

In diesem Kapitel werden Realisierungen verschiedener Komponenten des in den vorherigen Kapiteln eingeführten Konzepts für einen Computer-Integrierten Operationssaal vorgestellt. Dabei wird zunächst der Aufbau eines intuitiven Video- und Eingabeverschalt-Servers vorgestellt. Im Anschluss wird ein Bediensystem vorgestellt, das es ermöglicht, Geräte im Operationssaal über verschiedene integrierte Bedienelemente zu steuern.

11.1 Video- und Eingabeverschaltung (Navigation Director Unit)

Das System *Navigation Director Unit* ist ein Video- und Eingabeverschalt-Server, der für das bildgebende und das bilddarstellende Gerät eine transparente Verschaltung von Videosignalen und Ausgabegeräten ermöglicht. Das System analysiert die angeschlossenen Videobilder und zeigt die Livebilder sowie die Zuordnungen zwischen Bildquelle und Bildschirmen auf einem integrierten Display an. Zusätzlich können Eingabegeräte zur Steuerung von bildgebenden Systemen an die zentrale Verschaltung angeschlossen werden. Das System kann über Fernbedienungen (Infrarot, iPhone), eine Steuerleitung oder das integrierte Display bedient werden (Abbildung 11.1).

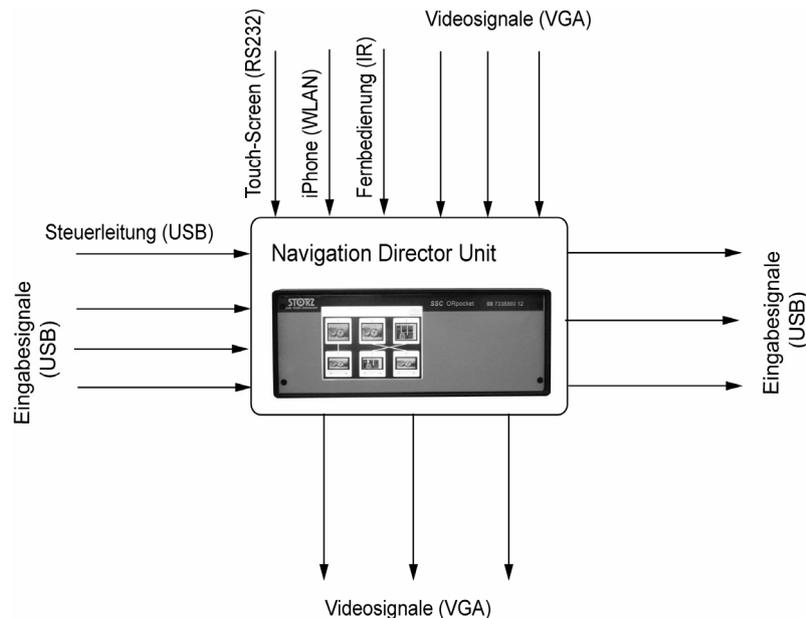


Abbildung 11.1: Zusätzlich zu den Video- und USB-Schnittstellen bietet das System eine Steuerleitung, einen Touchbildschirm, eine offene WLAN Schnittstelle sowie eine Infrarotschnittstelle zur Steuerung des Systems durch den Anwender.

11.1.1 Statische Systembeschreibung

Abbildung 11.2 zeigt den Aufbau des Systems. Das Gerät besteht aus einer USB- und Videomatrix, die über eine serielle Schnittstelle oder eine LAN-Verbindung gesteuert werden kann. Die Videosignale der Eingangsgeräte werden am Gehäuse des Geräts über VGA-Stecker abgegriffen und an die Matrix weitergeleitet. Um die Bilddaten aller angeschlossenen Geräte analysieren und in einem Verschaltungsdiagramm anzeigen zu können, werden alle Eingabesignale nacheinander in einem Zyklus über einen Videoausgang der Matrix an einen S-Video Framegrabber ausgegeben, der mit dem Steuerrechner des Systems verbunden ist. Dazu wird das VGA-Signal zunächst von einem VGA/S-Video Konverter umgewandelt,

damit es vom S-Video Framegrabber erkannt werden kann. Zwischen die Ausgänge der Videomatrix und den nach außen geführten Ausgängen des Geräts werden für jeden Ausgang On-Screen Displays (OSD) geschaltet. Mit Hilfe dieser OSD kann eine Textinformation oder ein Symbol in das VGA-Bild durch die *Navigation Director Unit* eingeblendet werden. Diese On-Screen Displays sind mit dem Steuerrechner des Geräts über eine serielle Kommunikation verbunden.

Das System bietet in der Grundausstattung drei Videoeingänge und drei Videoausgänge (Abbildung 11.1). Die Videosignale an den Videoeingängen haben die Anforderungen an ihr Eingabegerät wie im vorherigen Kapitel beschrieben im Videosignal codiert. An den Videoausgängen besteht durch die On-Screen Displays die Möglichkeit, Textinformationen in das Videobild einzublenden.

Neben den Videoeingängen und Videoausgängen bietet das Gerät drei USB-Eingänge und drei USB-Ausgänge, an die Eingabegeräte wie eine Maus, ein Spaceball oder ein Touchpad angeschlossen werden können. Diese Signale werden ebenfalls geroutet und können beliebig mit den Geräten der Videoeingänge verknüpft werden. Die USB-Leitungen, die in das Gerät eingespeist werden, werden wie bei den Videosignalen über eine USB-Matrix an den Steuerrechner weitergegeben und von diesem für die jeweiligen Ausgänge wieder entsprechend der geforderten Funktionalitäten emuliert und das Signal über die Ausgänge der USB-Matrix nach außen geführt.

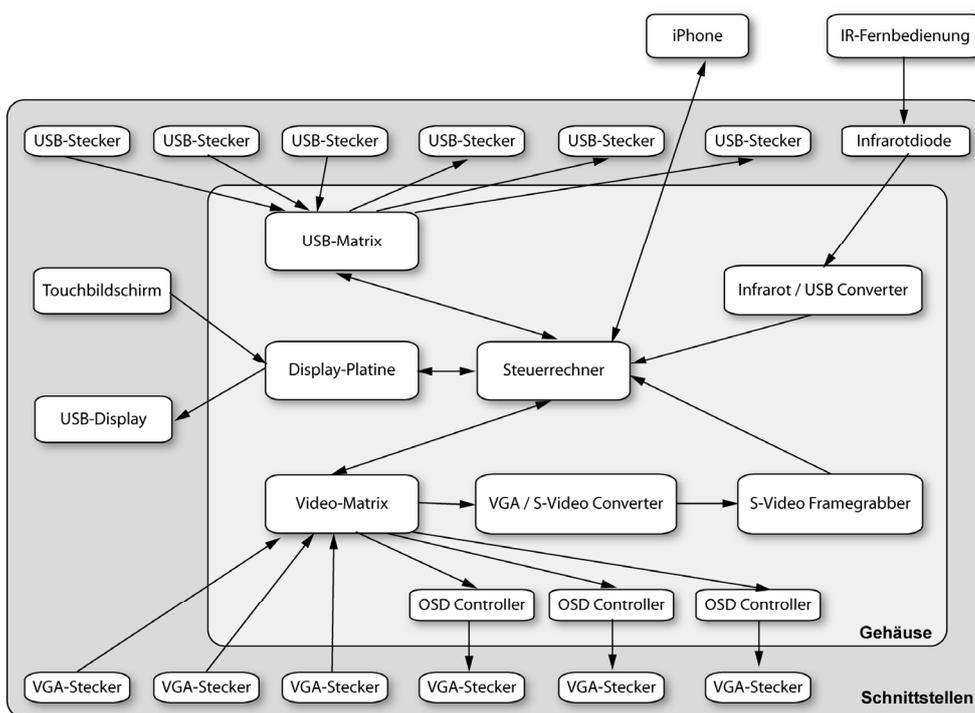


Abbildung 11.2: Die Komponenten der *Navigation Director Unit*. Das System besteht aus einem Steuerrechner und zwei Matrizen, um Video- und USB-Signale verschalten zu können. Daneben werden über einen Framegrabber die aktuellen Bilder an den Videoeingängen in den Steuerrechner eingelesen und am Bildschirm des Geräts dargestellt.

Zur Steuerung bietet das Gerät eine eigene Steuerleitung, über die mit Hilfe einer seriellen Kommunikation Daten und Informationen mit der *Navigation Director Unit* ausgetauscht werden können.

Weiterhin kann das Gerät über einen Touchbildschirm bedient werden, der im Gehäuse des Geräts integriert ist. Auf dem Bildschirm werden die Bilder der Eingangsgeräte angezeigt. Sie können mit dem Finger auf dem Display verschoben und über einen Ausgabebildschirm gezogen werden. Die Verbindung wird im Anschluss am Bildschirm angezeigt.

Eine zweite Möglichkeit ist die Bedienung über eine Fernbedienung. Sie kann eine klassische Infrarotbedienung sein, auf der bestimmte Tasten für ein Eingabegerät bzw. ein Ausgabegerät stehen. Eine weitere Fernbedienung ist die Steuerung über ein iPhone, das über eine WLAN-Verbindung mit der *Navigation Director Unit* verbunden ist. Auf dem Display des iPhone werden die Live-Bilder der Eingangsgeräte und der Ausgabegeräte wie auf dem Touchbildschirm des Geräts dargestellt. Der Anwender kann die Eingabesignale wieder mit dem Finger mit den Ausgabebildschirmen auf dem iPhone-Display verbinden. Die Verbindung wird per WLAN an die *Navigation Director Unit* übertragen und dort ausgewertet und umgesetzt.

11.1.2 Dynamische Systembeschreibung

Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Realisierungen von Videoverschaltungen und Routingsystemen im Operationssaal mit einfacher Verschaltung von Videosignalen über Knöpfe wird hier ein Ansatz zur Verschaltung von Videosignalen mit gleichzeitiger Analyse der Bilddaten umgesetzt. Zusätzlich werden im hier vorgestellten System die Eingabegeräte ebenfalls mitverschaltet und deren Funktionalitäten transparent auf die Geräte im Operationssaal weitergeleitet. In Abbildung 11.3 sind die dynamischen Prozesse des Systems dargestellt.

Während des Eingriffs werden verschiedene Geräte mit Videosignalen (Navigation, Endoskope, Motoreinheiten von Fräsen) und verschiedene Eingabegeräte (2D-Maus, 3D-Maus, Infrarotfernbedienung) verwendet. Die Videobilder werden auf unterschiedlichen Bildschirmen im Operationssaal angezeigt. Der Chirurg kann zum Verschalten der Signale am Touchbildschirm die entsprechende Verbindung zwischen einem Eingangsgerät und einem Bildschirm herstellen. Dabei wird die neue Verbindung $mt(k)$ an den Steuerrechner übertragen. Der Steuerrechner analysiert die Bilddaten am entsprechenden Eingang z.B. $vga1_in(k)$ und prüft, ob dort tatsächlich ein Bild anliegt. Die gleiche Überprüfung wird für die USB-Eingabegeräte durchgeführt.

Wird eine Bildinformation oder ein Eingabegerät erkannt, sendet der Steuerrechner den entsprechenden Verschaltungsbefehl $cv(k)$ oder $cu(k)$ an die Video- bzw. USB-Matrix. Beim Umschalten der Videobilder überprüft der Steuerrechner gleichzeitig, ob für diesen Bildschirm Textinformationen oder Symbole in das Videobild eingeblendet werden sollen. Ist das der Fall, sendet er diesen Text $txt(k)$ an den dem Bildschirm zugeordneten OSD-Controller. Die Video-Matrix schaltet im Anschluss das Videosignal auf den gewünschten Bildschirm um und sendet das VGA-Bild $vga1_out(k)$ ebenfalls an den OSD-Controller. Der überblendet dann das Bildsignal der Matrix mit den empfangenen Textinformationen des Steuerrechners und sendet das VGA-Signal $osd1(k)$ an den angeschlossenen Bildschirm, auf dem das Bild dann angezeigt wird.

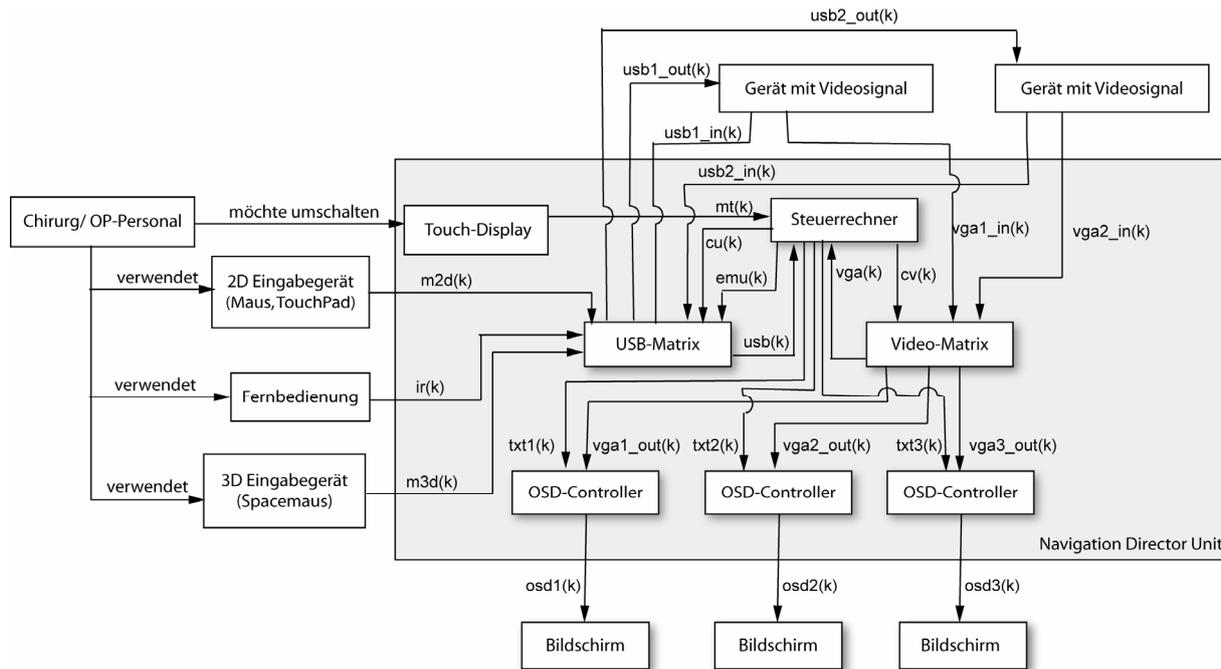


Abbildung 11.3: Dynamische Beschreibung der Prozesse im System.

Zur Anzeige der Live-Bilder der angeschlossenen Videoquellen werden die Videoeingänge der Matrix nacheinander über einen Videoausgang der Matrix und einen Framegrabber an den Steuerrechner gesendet. Dazu sendet der Steuerrechner sequentiell hintereinander den Umschaltbefehl $cv(k)$, was dazu führt, dass nacheinander die Eingangsbilder der Videoquellen am Framegrabber $vga(k)$ anliegen. Sie werden vom Steuerrechner aufgenommen und für die Anzeige der Live-Bilder im Verschaltungsbild und eine parallele Bildanalyse verwendet.

Der Chirurg kann dann verschiedene Eingabegeräte verwenden. Sie geben ihre Eingabeinformationen $m2d(k)$, $ir(k)$ und $m3d(k)$ an die USB-Matrix weiter. Von dort werden die Eingangssignale wie bei den Videosignalen sequentiell an den Steuerrechner weitergeleitet. Der Steuerrechner analysiert und erkennt das Eingangssignal und prüft, welche Anforderungen $usb1_in(k)$ das durch die Verschaltung zugeordnete Videoeingangsgerät hat. Basierend auf diesen Anforderungen werden die Eingangssignale des Eingabegeräts emuliert und an das emulierte Signal $emu(k)$ an die USB-Matrix gesendet. Von dort wird das Signal $usb1_out(k)$ an das zugeordnete Eingabegerät weitergeleitet.

11.1.3 Softwarestruktur

Während im vorherigen Abschnitt die dynamischen Prozesse im System *Navigation Director Unit* beschrieben wurden, werden im folgenden Abschnitt die Softwarestruktur sowie die Softwarefunktionalitäten und deren dynamische Prozesse detaillierter vorgestellt. Abbildung 11.4 zeigt die Zusammenhänge der Softwarekomponenten.

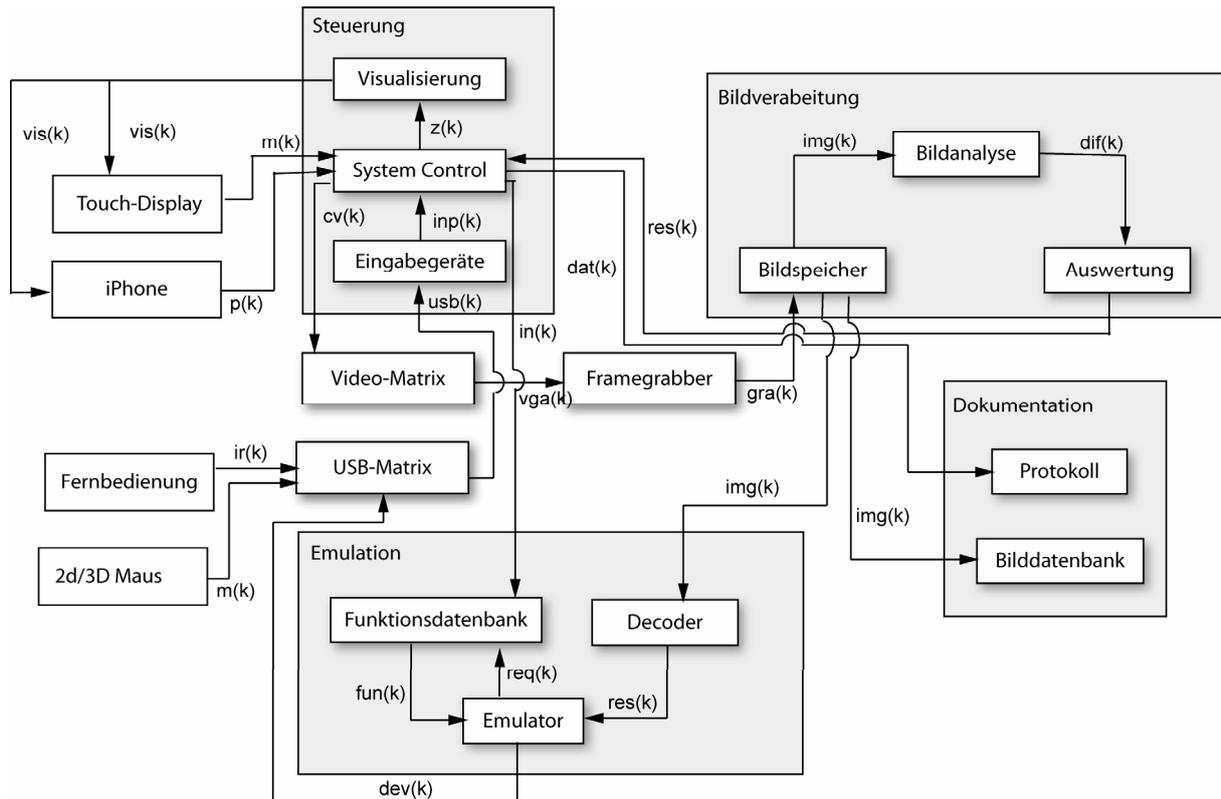


Abbildung 11.4: Dynamische Beschreibung der Softwareprozesse

Die Steuerungssoftware des Systems schaltet jedes angeschlossene Videosignal auf einen fest mit einem Framegrabber verbundenen Ausgang der Matrix. Dazu sendet die Softwarekomponente *System Control* den Umschaltbefehl $cv(k)$ mit den zugehörigen Parametern für die Umschaltung der jeweiligen Eingänge auf den definierten Ausgang. Das Bild wird mit einem Framegrabber ($gra(k)$) aufgezeichnet und in einem Bildspeicher abgelegt. Anschließend wird das Bild $img(k)$ aus dem Speicher von einem Bildanalysemodul geladen und verarbeitet.

Das Bildanalysemodul speichert für jeden Videoeingang zusätzlich das vorherige Bild mit ab. Dieses vorherige Bild wird dann zusammen mit dem momentanen Bild $img(k)$ zur Berechnung des Differenzbildes verwendet. Mit Hilfe dieses Differenzbildes $dif(k)$ wird in einem Auswertungsmodul entschieden, ob sich der Inhalt des Videosignals über einen längeren Zeitraum verändert hat. Ist das nicht der Fall, kann entweder der Bildschirm, auf dem das Signal genutzt wird, automatisch mit einem anderen Videosignal verbunden oder aber ein Bildschirmschoner aktiviert werden, um das Einbrennen von einem Standbild auf einem Plasmabildschirm zu verhindern. Ändert sich das ursprüngliche Videosignal dann wieder, wird die alte Verbindung wieder hergestellt. Diese Informationen $res(k)$ werden an das Steuerungsmodul übergeben.

Zusätzlich können im Bildanalysemodul und im Auswertungsmodul mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen Strukturen in den Bilddaten erkannt werden. Das kann z.B. im Falle eines Endoskopbildes der runde Ausschnitt um das Bild sein oder im Falle eines Navigationssystems die Erkennung der klassischen vier Ansichten (axial, sagittal, coronal und 3D-Modell) sein. Diese Informationen werden automatisch erkannt und ebenfalls an das Steuerungsmodul übergeben $res(k)$. Dort kann dann veranlasst werden, dass die aktuellen

Bilddaten $img(k)$ zusammen mit weiteren OP-Daten (Verwendete Geräte, Zeiträume der Verwendung) auf einem integrierten Dokumentationsmodul abgespeichert werden.

Die Zuordnung der Eingabegeräte zu den Geräten der Videosignale erfolgt ebenfalls über einen Matrixschaltung. Diese Matrixschaltung leitet die Signale der Eingabegeräte $usb(k)$ an das zentrale Steuerungsmodul weiter. Dort werden die Signale ausgewertet und an eine Funktionsdatenbank weitergegeben, in der verschiedene Eigenschaften und Funktionalitäten von unterschiedlichen Eingabegeräten gespeichert sind. Zusammen mit dem aktuellen Videobild, in dem die gewünschten Eingabeparameter und Eingabefunktionalitäten codiert sind, wird das geeignete Eingabegerät emuliert. Dazu werden die Funktionalitäten an das Eingabegerät in einem Decodermodul aus dem Bildsignal gefiltert $res(k)$ und an das Emulatormodul übergeben. Dort werden zusammen mit den gespeicherten Eingabefunktionen, die emuliert werden können, und den real verfügbaren Eingabefunktionalitäten des realen Eingabegerätes die für dieses Gerät des Videosignals erforderlichen Eingaben erzeugt und über die USB-Matrix an das Gerät gegeben, dessen Videosignal gerade mit dem Eingabegerät verbunden ist.

Die Kommunikation mit dem iPhone erfolgt über eine WLAN Verbindung. Für den Datenaustausch werden TCP-Sockets verwendet, die eine kontinuierliche Verbindung zwischen dem iPhone und der zentralen Verschaltung ermöglichen. Die Anwendung auf dem PC stellt den Server dar, welcher darauf wartet, dass sich ein Client (das iPhone) mit ihm verbindet. Eine typische ServerClient Grundstruktur sieht wie folgt aus (mit den entsprechenden C-Grundbefehlen in Klammern):

Tabelle 2: Aufbau der Sver-Client Kommunikation mit TCP-Sockets. Die zentrale Verschaltung stellt in der Realisierung den Server, das iPhone den Client dar.

Server	Client
Erstellen des ServerSockets (<code>socket()</code>) und verbinden (<code>bind()</code>) des Sockets mit einer lokalen Adresse. Danach lauscht (<code>listen()</code>) der Server auf dem Socket und wartet auf Clients.	
	Erzeugen des ClientSockets(<code>socket()</code>) und verbinden (<code>connect()</code>) mit dem ServerSocket.
Anfrage des Clients akzeptieren (<code>accept()</code>).	Daten versenden (<code>send()</code>) und empfangen (<code>recv()</code>).
Daten versenden (<code>send()</code>) und empfangen (<code>recv()</code>).	
Verbindung beenden (<code>close()</code>).	Verbindung beenden (<code>close()</code>).

Die Livebilder der zentralen Verschaltung werden in jedem Zyklus (ca. alle 2 Sekunden) auf das iPhone übertragen, und dort dargestellt. Wird auf dem iPhone die Zuordnung zwischen einem Eingabesignal und einem Bildschirm verändert, werden diese neuen Informationen vom iPhone an die zentrale Verschaltung übertragen und dort ausgeführt und auf dem Display der *Navigation Director Unit* angezeigt. Wird umgekehrt die Zuordnung direkt auf der *Navigation Director Unit* geändert, wird die neue Zuordnung an das iPhone übertragen und dort ebenfalls visualisiert.

11.1.4 Funktionalitäten

Das System *Navigation Director Unit* bietet mit den hier vorgestellten Eigenschaften und Funktionalitäten eine Basis für die einfache Integration verschiedener bildgebender Systeme im Operationsaal und deren Verschaltung mit Bildschirmen und verschiedenen Eingabegeräten. Im Folgenden werden die Funktionalitäten des Systems zusammengefasst:

- **Bedienung über Touchbildschirm, Fernbedienung und iPhone:** Das System kann über einen Touchbildschirm im Gehäuse bedient werden. Dazu werden auf dem Display des Gerätes die angeschlossenen Videobilder in der oberen Reihe des Displays angezeigt. In der unteren Reihe werden die Ausgabebildschirme angezeigt. Wird ein Eingangssignal durch Ziehen mit dem Finger mit einem Ausgabebildschirm verbunden, schaltet das System die tatsächliche Verbindung und zeigt auf dem Display an dem entsprechenden Ausgabebildschirm das verbundene Live-Bild an (Abbildung 11.5a).

Die Verschaltung kann auch ohne das Touchdisplay nur mit einer Infrarotfernbedienung verändert werden. Dazu wird das Bild durch Drücken einer definierten Taste auf einen der großen Plasmabildschirme an der Wand geschaltet. Anschließend kann dort die Verschaltung mit einem Eingabegerät, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, verändert werden. Eine weitere Möglichkeit der Manipulation ist die Bedienung über ein iPhone. Auf diesem wird der Verschaltungszustand genauso dargestellt wie auf dem Touchdisplay. Dazu werden die Live-Bilder per WLAN an das iPhone übertragen (Abbildung 11.5b). Schaltet der Benutzer auf dem iPhone die Verbindung über das Touchdisplay um, wird die neue Verschaltung per WLAN wieder an die *Navigation Director Unit* gesendet und dort umgesetzt.

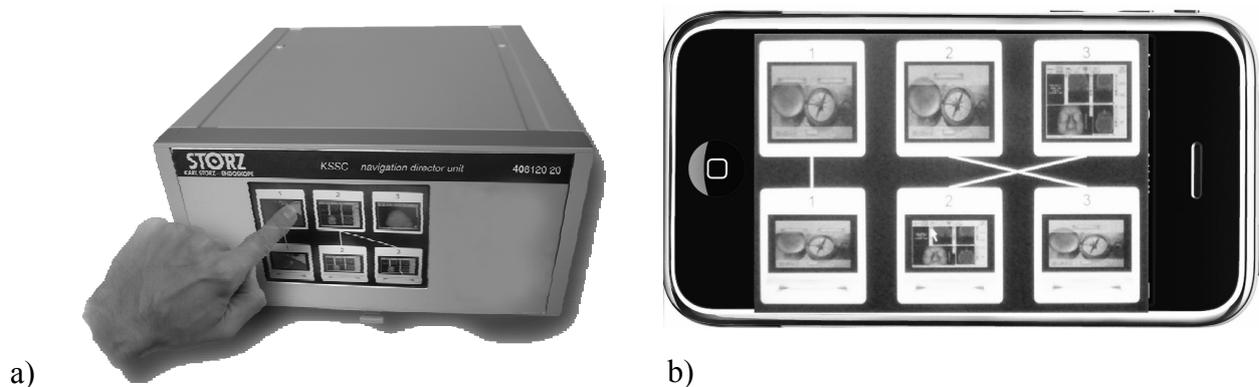


Abbildung 11.5: a) Benutzeroberfläche auf dem Display der *Navigation Director Unit*. In der oberen Reihe sind die Eingangsvideobilder, in der unteren Reihe die Ausgabebildschirme, abgebildet. Die Eingangssignale können durch Ziehen mit dem Finger über das Touchdisplay mit den Ausgabebildschirmen verbunden werden. b) Benutzeroberfläche auf dem iPhone.

- **Bildanalyse der angeschlossenen Bildsignale:** Die angeschlossenen Videosignale werden während des Eingriffs automatisch analysiert. Zunächst wird für jedes Videosignal zwischen zwei aufeinander folgenden Bildern das Differenzbild gebildet, um über einen definierten Zeitraum eine Aussage über die Änderungen des Bildinhalts treffen zu können. Ändert sich ein Bild über einen längeren Zeitraum nicht, kann das System die interne Dokumentation beenden oder externe Dokumentationswerkzeuge über ein Ende der Dokumentation informieren. Als Nebeneffekt dieser Bildanalyse kann das Einbrennen von Standbildern auf Plasmabildschirmen im Operationsaal

verhindert werden, da dort ein Bildschirmschoner aktiviert werden kann, wenn sich die Bildinformation über einen längeren Zeitraum nicht ändert.

- **Automatisches Erkennen von Anwendung und Systemen:** Durch die Bildanalyse und verschiedene Bildverarbeitungsalgorithmen zur Kanten- und Mustererkennung werden in den Eingangsbildern Strukturen automatisch erkannt. Die Ergebnisse der Bildverarbeitung werden mit bekannten Mustern in einer Datenbank verglichen. Damit ist es möglich, Anwendungen wie z.B. ein Endoskopbild am umgebenden Kreis (Abbildung 11.6a) oder ein Navigationssystem an den vier Ansichten Axial-, Coronal-, Sagittal- und der 3D-Ansicht nur anhand der Videobilder zu erkennen. Diese Information kann dazu verwendet werden, Daten und Bilder automatisch zu dokumentieren oder verschiedene Bilddaten in einem gemeinsamen Kontext zu visualisieren.
- **Einblendung von Textinformationen oder Symbolen:** Über die integrierten OSD-Module können zusätzliche Informationen in das Videobild eingeblendet werden. Diese Informationen können Daten der Vitalparameter des Patienten sein oder Informationen über Motordrehzahlen der verwendeten chirurgischen Instrumente. Weiterhin kann erkannt werden, dass der Benutzer an einem Feld der Anwendungssoftware einen Text eingeben möchte. Daraufhin wird automatisch eine Tastatur eingeblendet und der Anwender kann diese für die Eingabe nutzen. Die eingegebenen Zeichen werden dann über die Emulation einer normalen Tastatur an die Anwendung weitergeleitet.
- **Splitscreen Funktion:** In verschiedenen Situationen kann es für den Chirurgen hilfreich sein, verschiedene Videobilder für einen gewissen Zeitraum gemeinsam auf einem Bildschirm zu sehen. Das kann z.B. die Kombination von Navigations- und Endoskopbild, die Kombination von Endoskopbild und Motoranzeige einer chirurgischen Fräse oder die Kombination von der Anzeige der Vitalparameter und einer intraoperativen Bildgebung sein. Um diese Kombination verschiedener vorhandener Softwarewerkzeuge nicht nachimplementieren zu müssen, bietet die *Navigation Director Unit* die Möglichkeit, mehrere Videosignale parallel auf einem Bildschirm anzuzeigen. Dazu muss der Chirurg oder das OP-Personal lediglich beim Verschalten der Eingangsgeräte mit dem Bildschirm über mehrere Eingangssignale fahren, bevor er diese mit einem Ausgabebildschirm verbindet. Während der Verbindung wird der Pfad der Bewegung auf dem Display des Systems angezeigt, sodass der Anwender eine direkte Rückmeldung über die zu verbindenden Videobilder hat (Abbildung 11.6b).
Möchte der Anwender die Verschaltung mehrerer Eingangssignale auf einem Bildschirm auflösen, klickt er mit der Maus oder einem anderen Eingabegerät in der Verschaltungsansicht auf den Teil des Bildschirms, der alleine auf dem jeweiligen Bildschirm angezeigt werden soll oder er zieht ein Eingangssignal auf den betreffenden Bildschirm.

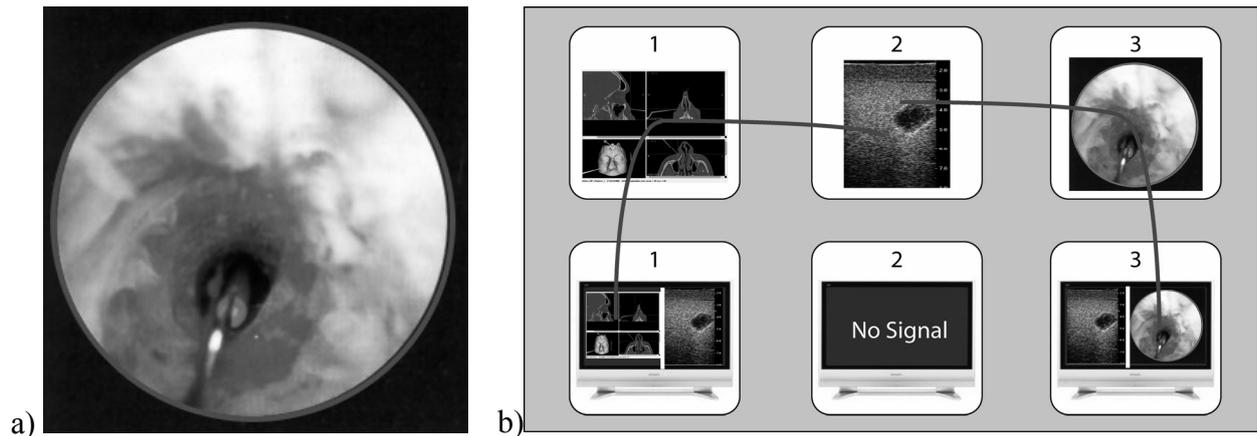


Abbildung 11.6: a) Automatisches Erkennen einer Endoskopieanwendung durch Filterung des umgebenden Kreises. b) Durch Überstreichen von mehreren Eingangssignalen kann der Anwender mehrere Bildsignale auf einem Bildschirm gemeinsam darstellen. Das System zeigt ihm den Pfad der zu verknüpfenden Bildsignale.

- **Transparente Darstellung und Emulation der Bedienkonzepte:** Durch die Codierung der erforderlichen Eingabefunktionalitäten in den Videosignalen oder durch die Übermittlung dieser Informationen in einer eigenen Leitung vom Eingangsgerät und der *Navigation Director Unit* kann das System die geforderten Parameter identifizieren. Aus einer internen Datenbank werden anschließend die erforderlichen Abbildungen der tatsächlichen Eingabeparameter auf die für das Gerät erforderlichen Parameter ermittelt. Beispiel hierfür sind ein 3D-Videobild, das mit einer 3D-Maus manipuliert werden kann. In einem solchen Fall werden die Eingabeinformationen eines 3D-Eingabegerätes wie eines Spaceballs eins zu eins abgebildet und an das Eingangsgerät geleitet. Ist jedoch das 3D-Eingabegerät mit einer Videoquelle verbunden, die nur zweidimensionale Bewegungen zulässt, werden die 3D-Bewegungen automatisch gefiltert und als zweidimensionale Informationen an die Videoquelle weitergegeben.
- **Dokumentation von Behandlungsfolgen:** Aus den extrahierten Bildinformationen wie der Art des Bildes (Endoskop, Ultraschall, Mikroskop, Navigation, usw.) kann eine automatische Dokumentation des Operationsverlaufs erstellt werden. In dieser Dokumentation werden die Zeiten der Verschaltung auf den unterschiedlichen Bildschirmen, die tatsächliche Verwendung des bildgebenden Systems aus der Änderungsanalyse der Bilddaten und deren Kombinationen gespeichert.
- **Dokumentation und Archivierung von Bilddaten:** Während der Operation erkennt das System anhand der Bilddaten, ob das bildgebende Gerät gerade verwendet wird. In dem Fall werden die Bilddaten automatisch archiviert und auf einer eigenen Festplatte abgelegt. Der Chirurg kann später über die offene USB-Steuerleitung die Daten abrufen und auf seinen PC kopieren. Zusammen mit der Dokumentation der Behandlungsfolgen dienen diese Dokumentationen dem Chirurgen als Vorlage für seinen OP-Bericht

11.2 Ein integriertes Bediensystem (OmniControl)

Wie im Kapitel 10.3 beschrieben, besteht das Eingabesystem *OmniControl* aus mehreren zusammengesetzten Eingabekomponenten. Abbildung 11.7 zeigt die statische Systembeschreibung des Systems. Die Folientastatur ist eine Sonderanfertigung, die über Lötkontakte mit einer I/O-Platine verbunden wird. Diese Platine bietet zusätzlich eine serielle Schnittstelle, über die das Touchdisplay angeschlossen wird, und verfügt über einen USB-Anschluss, um sie mit anderen USB-Geräten zu verbinden.

Die dritte Eingabekomponente, die 6D-Maus, wird ebenfalls per USB angeschlossen. Um nur eine USB-Leitung aus dem Gehäuse des Geräts herauszuführen, wird daher zusätzlich ein USB-Hub in das Gerät integriert. An diesen Hub sind die I/O-Platine und die 6D-Maus angeschlossen. Über ein 5m langes USB-Kabel mit integriertem Repeater wird das Eingabegerät an den USB-Host eines beliebigen Gerätes angeschlossen. In Abbildung 11.7 ist die statische Systembeschreibung des Geräts abgebildet.

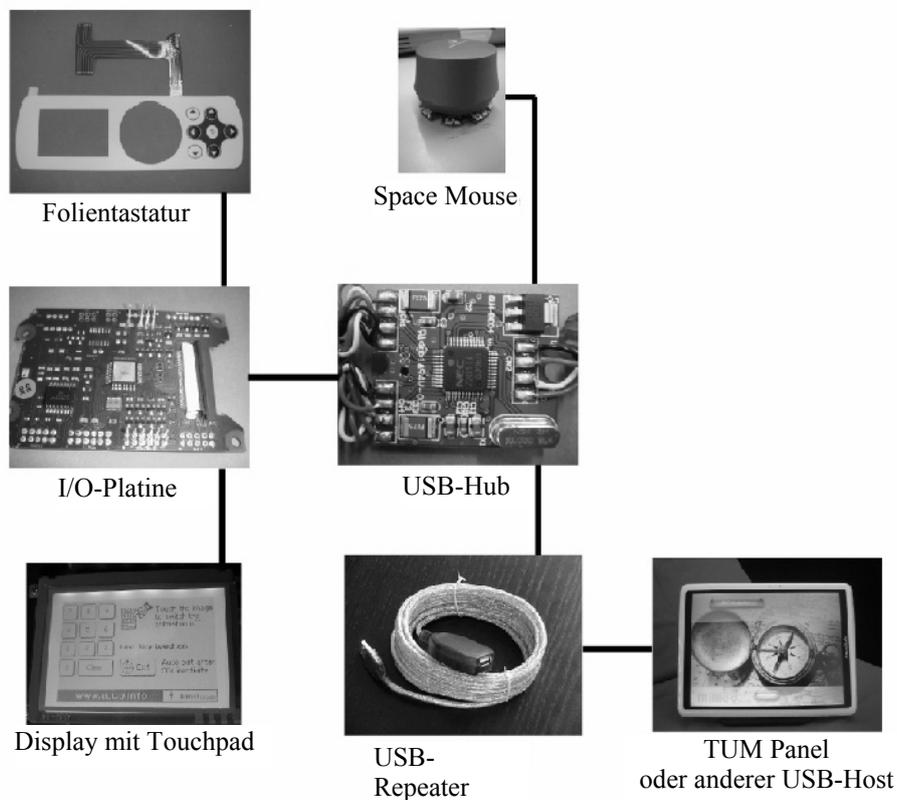


Abbildung 11.7: Statische Systembeschreibung des Eingabegeräts OmniControl.

In Abbildung 11.8 ist der erste Prototyp des Eingabegeräts dargestellt. Das Gehäuse besteht aus zwei Kunststoffformen, die miteinander verschraubt werden. Die Gehäuseteile wurden im Rapid Prototyping Verfahren hergestellt. Dazu wurde zunächst aus der CAD-Zeichnung ein Oberflächenmodell der Gehäuseschalen erzeugt und mit Hilfe eines 3D-Druckers hergestellt. Aus den gedruckten Teilen wurde je eine Silikonform für das Ober- und Unterteil hergestellt. Mit der Silikonform kann das Eingabegerät in einer Kleinserie hergestellt werden, wobei die Farbe und die Oberflächenbeschaffenheit des Kunststoffs über die entsprechende Auswahl der Gussmaterialien variiert werden können.

Das verwendete Display verfügt über einen internen Speicher, in dem über eine Skriptsprache geometrische Objekte für Knöpfe und andere Bedienelemente abgelegt und bei Bedarf abgerufen werden können. Über eine HID-Schnittstelle kann eine beliebige Anwendung mit dem Display kommunizieren. Dazu können Befehle sowohl vom Display empfangen als auch gesendet werden. Hierfür besitzt das Eingabegerät eine Mini-USB Buchse an der Unterseite, über die mit einem USB-Kabel die Verbindung hergestellt werden kann.



Abbildung 11.8: Realisierung des Eingabegerätes OmniControl. Das Gerät wird über eine Halterung am OP-Tisch eingeklickt und per USB an die Verschaltungsmatrix der Eingabegeräte angeschlossen. Im sterilen Umfeld wird das Eingabegerät in einer sterilen Folie verpackt.

Die Befestigungsschale wurde ebenfalls aus einem Kunststoff im RP-Verfahren hergestellt und über eine Schraube mit einer Edelstahl-Stange verschraubt, die an alle Marquet-Halterungen an Operationstischen befestigt werden kann. In der oberen rechten Ecke der Halterungsschale ist eine Aussparung vorgesehen, an der das Eingabegerät gegriffen werden kann, um es aus der Schale zu entfernen. Bei Zurücklegen in die Schale schnappt dessen Gehäuse dann wieder leicht in die Halterungsschale ein.

Das Eingabegerät wird über einen USB-Stecker an die zu steuernden Geräte angeschlossen. Es wird für die Bedienung eines Navigationssystems verwendet. Über den Spaceball können 3D-Modell in der Navigationssoftware verschoben und rotiert werden. Auf dem Display wird ein Menü eingeblendet, das verschiedene Softwaremodi beinhaltet. Über das Drücken auf dem Bildschirm werden diese Softwaremodi aktiviert und ausgeführt.

Eine weitere Anwendung ist die Steuerung einer Deckenkamera, die über Motoren bewegt werden kann. Die Motoren werden hierbei entweder über die Folientastatur oder die 6D-Maus angesteuert. Auf dem Display werden in dieser Anwendung verschiedene Einstellungen der Kamera (Zoom, Helligkeit, usw.) angezeigt. Zusätzlich können verschiedene Kameraeinstellungen mit den zugehörigen Positionen der Motoren abgespeichert werden. Die abgespeicherten Profile können anschließend wieder abgerufen und angefahren werden.

12. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein neuartiges Konzept für einen *Computer-Integrierten Operationssaal (CIO)* vorgestellt, das sich dadurch auszeichnet, dass alle computergestützten Systeme und Geräte in den Operationssaal und seine Prozesse integriert sind. Durch eine herstellerunabhängige Gerätebeschreibung werden Geräte anhand ihrer Funktionalitäten klassifiziert und können so auch bei zukünftigen Entwicklungen die entsprechenden Schnittstellen bereitstellen, um mit anderen Geräten zu interagieren. Alle Geräte besitzen ein Funkmodul, über das sie kommunizieren und sich gegenseitig ihre bereitgestellten Funktionalitäten mitteilen können.

Für die Verschaltung von unterschiedlichen Geräten wurde ein Multi-Agenten Ansatz verwendet. In diesem Netzwerk agiert jedes Gerät als unabhängiger Agent und stellt seine Funktionalitäten als Dienste den übrigen Geräten im Netzwerk zur Verfügung. Durch eine dezentrale Organisation und Verwaltung der einzelnen Agenten können jederzeit während eines Eingriffs Geräte hinzugefügt oder aus dem Netzwerk entfernt werden. Die Geräte sind je nach Gerätespezifikation an unterschiedliche Bussysteme angeschlossen, die ihre jeweiligen Anforderungen an die Datenübertragung gewährleisten.

Für die Verschaltung von bildgebenden Systemen oder Motoreinheiten und deren Eingabegeräten wurde ein neuartiges Konzept vorgestellt. Es zeichnet sich dadurch aus, dass jedes Gerät seine Anforderungen an die Bedienung kennt und diese je nach Operationsphase und Softwarezustand anpassen kann. Das Gerät codiert diese Anforderungen und sendet sie an eine zentrale Verschaltungseinheit. An die zentrale Verschaltungseinheit werden ebenfalls alle Eingabegeräte eingeschlossen. Durch eine Trennung des physikalischen Bediengeräts und des erforderlichen Bedienkonzepts können damit auch Bediengeräte für eine Eingabe genutzt werden, die nicht direkt an das zu steuernde Gerät angeschlossen werden können. Dazu decodiert die zentrale Verschaltungseinheit die geforderten Eingabesignale des zu steuernden Geräts und bildet die Eingabesignale des zugewiesenen Eingabegeräts über geeignete Bedienkonzepte transparent auf die Anforderungen ab.

Als Beispiel für eine solche zentrale Verschaltung wurde ein System realisiert, mit dem Videosignale verschaltet werden können. Das System wertet dazu die angeschlossenen Videosignale aus und kann dem Chirurgen oder dem OP-Personal so die angeschlossenen Videoquellen und deren Verschaltung auf den Bildschirmen auf einem Display visualisieren. Gleichzeitig interpretiert das Verschaltungssystem die angeschlossenen Videosignale und kann so Anwendungen und Geräte erkennen. Das System kann über einen Touchbildschirm, eine Infrarotfernbedienung oder ein iPhone bedient werden.

Für die Dokumentation und Überwachung des Systems wurde eine Zustandskontrolle vorgestellt. Diese überwacht die Zustände der einzelnen Geräte im Operationssaal und kann dem Chirurgen die verfügbaren Funktionalitäten in Form einer Matrix darstellen. Zusätzlich kann sie Fehlerzustände im Netzwerk erkennen und diese ebenfalls dem OP-Personal mitteilen. Über die Zustandsüberwachung können Anwendungsprofile erstellt werden, die zum einen für die Dokumentation des Eingriffs genutzt werden und zum anderen das OP-Personal bei der Vorbereitung des Operationssaals unterstützen können, da dort alle erforderlichen Geräte für einen Eingriffstyp abgelegt sind.

Für die Bedienung von Geräten, deren Bildsignal auf große Bildschirme im Operationssaal oder auf sterile Touchbildschirme geleitet wird, wurden geeignete Bediensysteme entwickelt. Für die Bedienung über einen sterilen Touchbildschirm wurde ein mikrocontrollerbasiertes

Modul vorgestellt, das die Mausevents auf dem Touchbildschirm in normale Maussignale umwandelt und damit für jedes Gerät nachgerüstet werden kann, das über einen normalen USB-Anschluss verfügt. Für die Bedienung über einen großen Bildschirm an der Wand des Operationssaals wurde ein kabelloses Bediensystem vorgestellt, das auf Infrarotsignalen basiert. Auf den Bildschirmen des Operationssaals werden kleine Infrarotkammermodule befestigt, die die Signale eines steril verpackten Bedienstifts empfangen und in Mausbewegungen umsetzen. Der Chirurg hat damit die Möglichkeit, Benutzeroberflächen direkt auf dem Bildschirm zu bedienen, auf denen er sich das Bildsignal während des Eingriffs ansieht, anstatt sich dem zu steuernden Gerät zuzuwenden und dort die Bedienung vorzunehmen. Als drittes Eingabegerät wurde eine integrierte Eingabekonsolle entwickelt und realisiert, die alle notwendigen Bedienfunktionalitäten über eine 6D-Maus, ein kleines Touchdisplay und verschiedene Folientastaturen bietet.

Zukünftige Weiterentwicklungen auf Basis dieser Arbeit können unter anderem folgende Punkte umfassen:

- **Adaption bestehender Systeme auf die Gerätespezifikation:** Für die zukünftige Weiterentwicklung des Computer-Integrierten Operationssaals müssen auch die bereits vorhandenen Systeme auf eine einheitliche Gerätespezifikation erweitert oder durch externe Module aufgerüstet werden. Dadurch lassen sich die Vorteile der bereits existierenden Systeme und deren Nutzen für den Chirurgen durch eine einfachere Integration in den Operationssaal weiter erhöhen.
- **Teilautomatisierung von Prozessen im Operationssaal:** Durch eine einheitliche Vernetzung von Geräten und weiteren intelligenten Sensoren lassen sich Prozesse im Operationssaal weiter automatisieren. Beispiele hierfür sind Navigationskameras, die sich den optimalen Blickwinkel auf den Patienten selber suchen oder Dokumentationssysteme, die den Chirurgen bereits während des Eingriffs unterstützen und alle erforderlichen Bilder und Daten für ein OP-Protokoll automatisch dokumentieren und nach der OP zur Verfügung stellen.
- **Einbindung von Personen in das Multi-Agenten Netzwerk:** Durch die Einbindung von Personen können sowohl die Patienten als auch das OP-Personal jederzeit lokalisiert werden. Damit stünde basierend auf einer Analyse des aktuellen OP-Fortgangs eine effiziente Methode zur Verfügung, Patienten zielgerichteter in den Operationssaal bringen zu lassen und das erforderliche OP-Personal anzufordern.
- **Zustandsüberwachung zur Workflowanalyse:** Aus der Zustandüberwachung und den verwendeten Instrumenten und Bilddaten können während eines Eingriffs Rückschlüsse auf den Workflow eines Eingriffs gezogen werden. Damit können nachfolgende Schritte und Prozesse zeitnah ausgelöst und die Effizienz im Operationssaal weiter erhöht werden.

13. Glossar

Bedienkonzept	Ein Bedienkonzept beinhaltet zum einen das physikalische Bediengerät, über das Signale erzeugt werden. Weiterhin beinhaltet es die verschiedenen Modalitäten, wie ein Gerät gesteuert bzw. bedient werden kann.
Bussystem	Ein Bussystem wird in der Datenübertragung zwischen mehreren Teilnehmern verwendet. Hierbei sind die Teilnehmer an einen gemeinsamen Übertragungsweg angeschlossen.
C-Bogen	Ein mobiles Röntgengerät, bei dem die Röntgenquelle und der Detektor auf einer Kreisbahn um den Patienten bewegt werden. Der C-Bogen wird aufgrund seiner kompakten Bauform häufig für die intraoperative Bildgebung genutzt. Aus den einzelnen Aufnahmen kann ein 3D-Modell der anatomischen Struktur berechnet werden.
Computer-Integrierter Operationssaal (CIO)	Unter einem Computer-Integrierten Operationssaal wird ein Operationssaal verstanden, bei dem die Prozesse und Aufgaben in einem Operationssaal durch Computer und Softwarelösungen unterstützt werden. Die Geräte sind dabei weitestgehend in die Infrastruktur des Operationssaals integriert und werden bereits bei der Planung von neuen Operationssälen berücksichtigt.
Computergestützte Operation	Während einer computerunterstützten Operation kommen verschiedene Systeme zum Einsatz, die den Chirurgen bei einem Eingriff unterstützen. Diese Geräte können z.B. Navigationssysteme oder computergestützte, chirurgische Instrumente sein.
Computerunterstützte Operation	Siehe Computergestützte Operation
Computertomographie	Bei der Computertomographie werden aus verschiedenen Richtungen Röntgenaufnahmen einer anatomischen Struktur aufgenommen. Mit Hilfe von speziellen Algorithmen werden aus diesen Aufnahmen Schnittbilder und ein dreidimensionales Bild erzeugt.
DICOM-Format	Unter <i>Digital Imaging and Communications in Medicine (DI-</i>

	<i>COM</i>) wird ein offener Standard zum Austausch von Bilddaten in der Medizin definiert. Zusätzlich zu den Bilddaten können weitere Informationen wie Segmentierungen oder Patienteninformationen mit abgespeichert werden.
Dokumentationssystem	Zentrale Festplatten und Recorder, die die intraoperativen Bilddaten von Mikroskopen oder Endoskopen aufzeichnen und zusammen mit den Patienteninformationen zentral abspeichern.
Endoskop	Ein röhrenförmiges medizinisches Gerät, das neben einer Optik und Lichtleitern zusätzlich Arbeitskanäle enthalten kann. Mit einem Endoskop können Hohlräume im Körper während minimal-invasiver Eingriffe untersucht werden.
FESS-Operation	Eine Operation an den Nasennebenhöhlen. Hierbei werden Entzündungen, Vereiterungen und Wucherungen operativ bei einem Eingriff durch die Nase entfernt.
Fräser	Ein Werkzeug, um während Eingriffen an knöchernen Strukturen entzündete Bereiche zu entfernen oder Kavitäten für spätere Implantate zu fräsen.
Gerätespezifikation	Eine allgemeine Definition von Geräteparametern und Schnittstellen, die dazu dient, Geräte formal zu beschreiben und ihren Aufbau zu strukturieren.
Krankenhaus-Informationssystem	Zentrales informationstechnisches System einer Klinik zur Bearbeitung und Speicherung aller medizinischen und administrativen Daten.
Klassifizierung	Nach dem Medizinproduktegesetz werden Medizinprodukte in verschiedene Klassen eingeteilt. Dazu existieren 18 Regeln, mit denen ein Medizinprodukt in die jeweilige Klasse eingeteilt werden kann.
Konformitätsbewertung	Um den Nachweis der Richtlinienkonformität eines Medizinprodukts zu führen, werden im Rahmen eines Konformitätsbewertungsverfahrens je nach Medizinproduktklasse verschiedene Normprüfungen durchgeführt.
Laryngoskop	Ein Laryngoskop ist ein Spiegel mit einem langen Stiel zur indirekten Betrachtung des Kehlkopfes (Kehlkopfspiegel). Weiterhin kann es ein röhrenförmiges Gerät mit Optik und Beleuchtung zur direkten Betrachtung des Kehlkopfes sein.

Magnetresonanztomograph	Ein Magnetresonanztomograph ist ein auf sehr starken Magnetfeldern basierendes bildgebendes Verfahren. Es wird in der medizinischen Diagnostik für die Darstellung von Weichteilsstrukturen sowie von Organfunktionen verwendet.
Medizinproduktegesetz	Das deutsche Medizinproduktegesetz ist die nationale Umsetzung der europäischen Richtlinie 93/42/EWG für Medizinprodukte. Die Richtlinie dient als rechtlicher Rahmen für die Entwicklung und Fertigung von Medizinprodukten.
Multi-Agenten Netzwerk	Ein Netzwerk aus mehreren technischen Agenten, die autonom Prozesse ausführen und optimieren. Die einzelnen Agenten können miteinander interagieren und Daten bzw. Materialien austauschen.
Navigationssystem	Mit einem medizinischen Navigationssystem werden dem Chirurgen während einer Operation die Lage seiner chirurgischen Instrumente in den Bilddaten (z.B. CT- oder MRT-Daten) des Patienten angezeigt.
Navigated Control	Neben der reinen Visualisierung der Instrumentenlagen in den Bilddaten wird beim Navigated Control Verfahren zusätzlich die Leistung von chirurgischen Instrumenten (z.B. einer Fräse) in der Nähe von kritischen anatomischen Strukturen geregelt bzw. abgeschaltet.
Operationsmikroskop	Ein Operationsmikroskop wird vor allem in der Mikrochirurgie bzw. der minimal-invasiven Chirurgie verwendet, um intraoperative Vergrößerungen und dreidimensionale Bilder von kleinen anatomischen Strukturen zu erhalten.
PACS	Ein <i>Picture Archiving and Communication System (PACS)</i> wird für die Bildarchivierung und den Austausch von medizinischen Bilddaten in Kliniken genutzt. Es werden alle Bilddaten im DICOM-Format abgespeichert und über einen PACS-Server allen Geräten in der Klinik zur Verfügung gestellt.
Planungssoftware	Eine spezielle Software, in der der Chirurg vor einem Eingriff radiologische Bilddaten einlesen kann. Dort kann er diese Bilddaten bearbeiten und z.B. anatomische Strukturen vermessen oder Bereiche markieren.
Positionsmesssystem	Eine aus zwei CCD-Chips aufgebaute Messkamera, die mit Hilfe von Infrarotlicht und Differenzbildern arbeitet. Zunächst

	<p>wird Infrarotlicht ausgesendet und danach das Bild der CCD-Chips gespeichert. Im Anschluss wird erneut ein Bild ohne Infrarotlicht aufgenommen. Im Differenzbild dieser beiden Aufnahmen sind die Reflektoren sehr gut zu erkennen. Über eine Triangulation wird die Position der Reflektoren im Raum berechnet.</p>
Reflektor	<p>Ein Reflektor besteht entweder aus einer speziellen Reflektionsfolie oder ist eine beschichtete Glaskugel. Er wird bei der optischen Navigation verwendet und reflektiert das Licht zum Positionsmesssystem.</p>
Storz Communication Bus	<p>Der <i>Storz Communication Bus</i> ist ein Bussystem der Firma Karl Storz und wird für die Kommunikation der Geräte der Firma im Operationssaal verwendet. Er basiert auf einem CAN-Bus und ist bisher nicht für andere Hersteller offen.</p>
Tracker	<p>Ein Lokalisator, dessen Lage im Raum über ein Positionsmesssystem erfasst und bestimmt werden kann. Im Falle eines optischen Messverfahrens besteht dieser Tracker aus einem Grundgerüst, auf das 3 Reflektoren montiert werden, die das infrarote Licht des Positionsmesssystems reflektieren. Aus diesen reflektierten Punkten wird mit Hilfe einer Triangulation die Lage der 3 Kugeln und damit des Trackers im Raum berechnet.</p>
Videomatrix	<p>Mit Hilfe von Videomatrizen können Bildsignale wie VGA- oder DVI-Bilder auf mehrere Monitore in einem Raum verteilt werden. Die Videosignale und Monitore werden dazu zentral an die Videomatrix angeschlossen und über Knöpfe an der Matrix verschaltet.</p>
Videoendoskop	<p>Eine Erweiterung eines herkömmlichen Endoskops. Über einen CCD-Chip am Objektiv eines Endoskops wird ein digitales Bild erzeugt und auf Bildschirmen im Operationssaal visualisiert. Der Chirurg muss hierbei nicht mehr direkt durch die Optik des Endoskops schauen.</p>
Virtuelle Endoskopie	<p>Durch moderne Grafikkarten und Algorithmen werden aus den CT-Aufnahmen eines Patienten realitätsnahe 3D-Modelle berechnet. Der Chirurg kann diese Modelle virtuell vor dem Eingriff durchlaufen und sich einen besseren Überblick über die anatomischen Strukturen des Patienten verschaffen.</p>

14. Literatur

- Abri, O. (2007): Process oriented integration of an operating room in minimally invasive surgery: enabling medical HiTech developments for efficient every day use in hospitals, *International Journal Of Computer Assisted Radiology And Surgery*, 2 pp. 427-444.
- Alarcon, A., Berguer, R. (1996): A comparison of operating room crowding between open and laparoscopic operations, *Surg.Endosc.*, 10 (9) pp. 916-919.
- Apuzzo, M. L. J., Weinberg, R. A. (1993): Architecture and Functional Design of Advanced Neurosurgical Operating Environments, *Neurosurgery*, 33 (4) p. 663.
- Augustin, M., Polzer, K., Ott, W., AG, S. (1999): Electronic Device Description Language-Basis für eine einheitliche und plattform-unabhängige Gerätebedienung, *Automatisierungstechnische Praxis*, 41 pp. 24-33.
- Ball, M. J., Boyle Jr, T. M. (1980): Hospital information systems: past, present and future, *Hosp Financ Manage*, 34 (2) pp. 12-20.
- Bauch, T., Kruger, P., & Lang, G. (2009): Computer Network System And Method For Operating A Network System Screen Shot And Source Shot Control, US 2007/0198001 A1 (patent).
- Bellon, E., Sweertvaegher, M., Schoonjans, K., De Deurwaerder, A., Feron, M., Dierickx, P., Van den Bosch, B. (2008): Digital routing and integration of video for the operating theatre over standard computer networks, in *Computer Assisted Radiology and Surgery*, (1), p. 148.
- Bender, K., Großmann, D. (2007): FDT+ EDD+ OPC UA= FDD UA, Die Gleichung für eine einheitliche Gerätebeschreibung, *atp - Automatisierungstechnische Praxis*, 2/2007, S. 48 - 54, ISSN 0178-2320
- Bender, K. (1992): PROFIBUS, der Feldbus für die Automation, 2., überarb. Auflage edn. Hanser, Wien, München.
- Bidgood Jr, W. D., Horii, S. C. (1992): Introduction to the ACR-NEMA DICOM standard, *Radiographics*, 12 (2) pp. 345-355.
- Blumann, W., Hostmann, A. (1993): *Fertigungs-Automatisierung mit MMS*, Düsseldorf. VDI Verlag
- Bohn, S., Burgert, O., Mayoral, R. (2008): Towards a generic systems integration and device operation model for the digital operating room, in *Computer Assisted Radiology and Surgery*, 1 edn, pp. 146-147.
- Cate, ten, Fosse, E., Hol, P. K., Samset, E., Bock, R. W., McKinsey, J. F., Pearce, B. J., Lothert, M. (2004): Integrating surgery and radiology in one suite: a multicenter study, *J.Vasc.Surg.*, 40 (3) pp. 494-499.
- Cleary, K., Chung, H. Y., Mun, S. K. (2004): OR2020 workshop overview: operating room of the future, Elsevier, *Computer Assisted Radiology and Surgery. Proceedings of the 18th International Congress and Exhibition*, pp. 847-852.

- Cleary, K. (2005): Medical Robotics and the Operating Room of the Future, Engineering in Medicine and Biology Society, 2005, 27th Annual International Conference of the IEEE-EMBS 2005, 17-18 Jan. 2005, pp. 7250-7253.
- Lhotska, L. (2007): Multi-Agent System as a Platform for Management of Medical Documentation, Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, 22-26 Aug. 2007, pp. 3661-3664.
- Czupor, N., Meyer, E. (2008): Device and method for the central control of interconnected medical devices (Patent EP000001909208A1).
- Diedrich, C., Berge, J., Magdeburg, G. S., Winkel, L., Blevins, T., Karlsruhe, G., Austin, T. (2007): Keeping Systems and Communicators Up-to-date using EDDL. ISA EXPO2007
- Fecht, L. (1999): Designing a laparoscopic operating room, Semin.Perioper.Nurs., 8 (4) pp. 162-171.
- Fonseca, J. M., Mora, A. D., Marques, A. C. (2005): MAMIS - A Multi-Agent Medical Information System, In: Proc. Biomed-2005, 16-18 Feb 2005, Innsbruck
- Frieddorf, W. und Göbel, M. (2002): Ergonomie im Operationsaal - Up or Out? Dokumentation zum vierten Arbeitswissenschaftlichen Symposium. Berlin: Technische Universität.
- Gallagher, A. G., Smith, C. D. (2003): Human-Factors Lessons Learned from the Minimally Invasive Surgery Revolution, Surgical Innovation, 10 (3) p. 127.
- Gass, M. (1998): Ansi/ieee 1073: Medical Information Bus (MIB), Health Informatics Journal, 4 (2) p. 72.
- Geldner, G., Eberhart, L. H. J., Trunk, S., Dahmen, K. G., Reissmann, T., Weiler, T., Bach, A. (2002): Effizientes OP-Management, Der Anaesthetist, 51 (9) pp. 760-767.
- Gerhard Schnell (1996): Bussysteme in der Automatisierungstechnik, 2. Auflage edn, Braunschweig/Wiesbaden.
- Goldman, J. M., Schrenker, R. A., Jackson, J. L., Whitehead, S. F. (2005): Plug and Play in the Operating Room of the Future, Biomedical Instrumentation and Technology pp. 194-199.
- Grange, S., Fong, T., Baur, C. (2004): M/ORIS: a medical/operating room interaction system, ACM New York, NY, USA, pp. 159-166.
- Gratzel, C. (2004): A non-contact mouse for surgeon-computer interaction, Technology and Health Care, 12 (3) pp. 245-257.
- Grossmann, D. (2008): Offene Integrationsplattform für das Feldgeräte-Management, Dissertation Technische Universität München, itm
- Hanna, G. B., Shimi, S. M., Cuschieri, A. (1998): Task Performance in Endoscopic Surgery Is Influenced by Location of the Image Display, Annals of Surgery, 227 (4) p. 481.
- Heitmann, K. U. (2006): Kommunikation mit HL7 Version 3 - Aspekte der Interoperabilität im Gesundheitswesen. Datenbank-Spektrum 17. 2006.

- Hofer, M., Strauss, G., Koulechov, K., Fischer, M., Neumuth, T., Trantakis, C., Korb, W., Dietz, A., Lüth, T. (2006): First clinical trial of the navigated controlled shaver in functional endoscopic sinus surgery, *International Journal Of Computer Assisted Radiology And Surgery*, 1 p. 318.
- Holzner, A., Bulitta, C. (2002): Nutzenpotentiale eines integrierten OP-Systems, Eine effiziente Lösung für die Chirurgie, *Electromedica* 70: pp. 17-20.
- Horii, S. C., Bidgood Jr, W. D. (1992): PACS mini refresher course. Network and ACR-NEMA protocols, *Radiographics*, 12 (3) pp. 537-548.
- Hsiao, K. C., Machaidze, Z., Pattaras, J. G. (2004): Time management in the operating room: an analysis of the dedicated minimally invasive surgery suite, *JSLS.*, 8 (4) pp. 300-303.
- Hu, P. F., Xiao, Y., Ho, D., Mackenzie, C. F., Hu, H., Voigt, R., Martz, D. (2006): Advanced Visualization Platform for Surgical Operating Room Coordination: Distributed Video Board System, *Surgical Innovation*, 13 (2) p. 129.
- Hushek, S. G., Martin, A. J., Steckner, M., Bosak, E., Debbins, J., Kucharzyk, W. (2008): MR systems for MRI-guided interventions, *J Magn Reson Imaging*, 27 (2) pp. 253-266.
- Jacob, A. L., Regazzoni, P., Steinbrich, W., Messmer, P. (2000): The multifunctional therapy room of the future: image guidance, interdisciplinarity, integration and impact on patient pathways, *Eur.Radiol.*, 10 (11) pp. 1763-1769.
- Jacob, A. L., Regazzoni, P., Bilecen, D., Rasmus, M., Huegli, R. W., Messmer, P. (2007): Medical technology integration: CT, angiography, imaging-capable OR-table, navigation and robotics in a multifunctional sterile suite, *Minim.Invasive.Ther.Allied Technol.*, 16 (4) pp. 205-211.
- John, D., Topp, U., Li, Y., Fay, A. (2007): Durchgängiges Gerätebeschreibungsmodell für den gesamten Lebenszyklus-Konzept und Umsetzung mit OPC UA, *Automatisierungstechnische Praxis*, 49 (7) p. 45.
- Jolesz, F. A. (2001): Neurosurgical suite of the future. II, *Neuroimaging Clin.N.Am.*, 11 (4) pp. 581-592.
- Kateel, G., Kamath, M., Pratt, D. (1996): An overview of cim enterprise modeling methodologies, *Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*, Coronado, California, United States pp. 1000-1007.
- Koulechov, K., Strauss, G., Dietz, A., Strauss, M., Hofer, M., Lueth, T. C. (2006): FESS control: Realization and evaluation of navigated control for functional endoscopic sinus surgery, *Computer Aided Surgery*, 11 (3) pp. 147-159.
- Koulechov, K. (2006): Leistungssteuerung chirurgischer Instrumente in der Kopf-Chirurgie, VDI-Verlag. Fortschrittberichte Reihe 17 (Band 262)
- Krinninger, M., Niazmand, K., Maier, T., Strauss, G., Lueth, T. C. (2008): Ein neuartiges situsnahes Endoskopführungssystem für die beidhändige endo- und transnasale Chirurgie, in *79.Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie*.

- Kuhn, K. A., Lenz, R., Blaser, R. (1999): Building a Hospital Information System: Design Considerations Based on Results from a Europe-wide Vendor Selection Process, Proc AMIA Symp. 1999; 834–838.
- Lemke, H. U., Vannier, M. W. (2006): The operating room and the need for an IT infrastructure and standards, International Journal Of Computer Assisted Radiology And Surgery, 1 (3) p. 117.
- Lemke, H. U. und Berliner, L. (2007): Specification and design of a therapy imaging and model management system (TIMMS). Medical Imaging 2007: PACS and Imaging Informatics. Edited by Horii, Steven C.; Andriole, Katherine P, p. 651602.
- Lipson, A. C., Gargollo, P. C., Black, P. M. L. (2001): Intraoperative magnetic resonance imaging: considerations for the operating room of the future, Journal of Clinical Neuroscience, 8 (4) pp. 305-310.
- Mahesh, M., Ong, S. K., Nee, A. Y. C. (2007): A web-based multi-agent system for distributed digital manufacturing, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 20 (1) pp. 11-27.
- Maier, T., Strauss, G., Dietz, A., Lueth, T. C. (2008): Erster klinischer Einsatz eines neuartigen Mikromanipulators für die Mittelohrchirurgie. Laryngorhinootologie 87, 620-622.
- Malarme, P., Wikler, D., Warzee, N. (2008): Centralized control for surgical informatics systems in an integrated digital operating theater, in Computer Assisted Radiology and Surgery, 1 edn, pp. 145-148.
- Mansour, M. A. (1999): The new operating room environment, Surg.Clin.North Am., 79 (3) pp. 477-487.
- Maresceaux, J., Soler, L., Ceulemans, R., Garcia, A., Henri, M., Dutson, E. (2002): Image fusion, virtual reality, robotics and navigation. Effects on surgical practice, Chirurg, 73 (5) pp. 422-427.
- Markert, M., Nowatschin, S., Weber, S., Lueth, T. C. (2006): Manuelle Registrierung als ergonomisches Bedienkonzept für die Navigation in der Weichgewebeschirurgie, in 36. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), C. Hochberger & R. Liskowsky, eds., Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings, Gesellschaft für Informatik, pp. 552-559.
- Marvik, R., Lango, T., Yavuz, Y. (2004): An experimental operating room project for advanced laparoscopic surgery, Semin.Laparosc.Surg., 11 (3) pp. 211-216.
- Matsumae, M., Koizumi, J., Fukuyama, H., Ishiz. Worlds first magnetic resonance imaging/x-ray/operating room suite: a significant milestone in the improvement of neurosurgical diagnosis and treatment. Journal of Neurosurgery 107[2], 266-273. 1-8-2008.
- Maturana, F. P., Norrie, D. H. (1996): Multi-agent Mediator architecture for distributed manufacturing, Journal of Intelligent Manufacturing, 7 (4) pp. 257-270.
- Maturana, F. P., Norrie, D. H. (1997): Distributed decision-making using the contract net within a mediator architecture, Decision Support Systems, 20 (1) pp. 53-64.

- McDermott, M. W. (2001): Neurosurgical suite of the future. I, *Neuroimaging Clin. And .Am.*, 11 (4) pp. 575-579.
- McNeill, K. M., Osada, M., Martinez, R., Tawara, K., Maloney, K., Vercillo, R., Ozeki, T., Komatsu, K., Dallas, W. J., Fukushima, Y. (1990): Evaluation of the ACR-NEMA standard for communications in digitalradiology, *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 9 (3) pp. 281-289.
- Murayama, Y., Saguchi, T., Ishibashi, T., Ebara, M., Takao, H., Irie, K., Ikeuchi, S., Onoue, H., Ogawa, T., Abe, T. (2006): Endovascular operating suite: future directions for treating neurovascular disease, *J.Neurosurg.*, 104 (6) pp. 925-930.
- Nanotron. nanoLOC AVR Module Technical Description Document Version: 1.0. 12-2-2008, Catalog
- Neumann, P., Simon, R., Diedrich, C., Riedl, M. (2001): Field device integration, 8th IEEE Int'l Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Antibes Juan-les-pins 15-18.10.2001, ETFA 2001 Proceedings Vol.2, p.63-68.
- Nocco, U. (2007): Video acquisition in operating rooms improves patient care, SPIE Newsroom.
- Odrey, N. G., Meji|a, G. (2003): A re-configurable multi-agent system architecture for error recovery in production systems, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19 (1-2) pp. 35-43.
- Options, A., Latest, T. O. C. (2007): Image guided intervention of the liver, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Volume 2, Supplement 1, June 2007, pp. 273-282(10)
- Phoenix Contact (1997): Grundkurs Sensor/Aktor-Feldbustechnik, 1.Auflage edn, Würzburg.
- Plasters, C. L., Seagull, F. J., Xiao, Y. (2003): Coordination Challenges in Operating-Room Management: An In-Depth Field Study, *American Medical Informatics Association*, p. 524.
- Procter, S., Brown, A. D. (1997): Computer-integrated operations: the introduction of a hospital information support system, *International Journal of Operations & Production Management*, Volume: 17 Issue: 8 Page: 746 - 756
- Radke, J., Grundmann, R. T. (2001): OP-Management und Anforderungen und Perspektiven Bericht ueber das 43. Kasseler Symposium, *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 36, pp. 66-70.
- Rattner, D. W., Park, A. (2003): Advanced Devices for the Operating Room of the Future, *Surgical Innovation*, 10 (2) p. 85.
- Rat der Europäischen Gemeinschaft (1993): Richtlinie 93/42/EWG des Rates über Medizinprodukte Version 03/2004, *Vorschriftensammlung der Staatlichen Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg*, Vom 14. Juli 1993 (ABl. EG Nr. L 169 S. 1), zuletzt geändert am 29. September 2003 (ABl. EU Nr. 284 S. 1)
- Reijnen, M. M., Zeebregts, C. J., Meijerink, W. J. (2005): Future of operating rooms, *Surg Technol Int*, 14 pp. 21-27.

- Sandberg, W. S. (2004): OR of Future speeds patient throughput, *OR Manager*, 20 (6) pp. 1-4.
- Sandberg, W. S., Daily, B., Egan, M., Stahl, J. E., Goldman, J. M., Wiklund, R. A., Rattner, D. (2005): Deliberate perioperative systems design improves operating room throughput, *Anesthesiology*, 103 (2) pp. 406-418.
- Satava, R. M. (2003): Disruptive visions, *Surg.Endosc.*, 17 (1) pp. 104-107.
- Satava, R. M. (2003): The operating room of the future: observations and commentary, *Semin.Laparosc.Surg.*, 10 (3) pp. 99-105.
- Schafmayer, A., Lehmann-Beckow, D., Holzner, M. (2000): Der prozessoptimierte Operationssaal Einfuehrung eines integrierten OP-Systems in die klinische Routine, *Electromedica*, 68 (2) pp. 83-87.
- Schafmayer, A., Lehmann-Beckow, D., Holzner, M. (2002): Process-optimized operating room: implementation of an integrated OR system into clinical routine, *Surg.Technol.Int.*, 10 pp. 67-70.
- Scheer, A.-W. (1990): CIM - Computer Integrated Manufacturing - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4. Auflage edn.
- Schweiger, A., Sunyaev, A., Leimeister, J. M., Krcmar, H. (2007): Information Systems and Healthcare XX: Toward Seamless Healthcare With Software Agents, *Communications of the Association for Information Systems*, Volume 19, 692 (709) p. 692.
- Schweiger, A., Bastian, T., Krcmar, H., (2005): Agentenbasierte elektronische Patientenakten, 5. Workshop der GMDS-Projektgruppe Mobiles Computing in der Medizin, p. 45 - 59
- Seelos, H.-J. (1993): Die Informationsoekologie des fraktalen Krankenhauses, *Das Krankenhaus*, 12, S. 563-564
- Shang, H., Zhao, Z., Thorn, R. (2003): Implementing Manufacturing Message Specifications (MMS) within collaborative virtual environments over the Internet, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16 (2) pp. 112-127.
- Shang, Y., Shi, H. (1999): A Web-based multi-agent system for interpreting medical images, *World Wide Web*, 2 (4) pp. 209-218.
- Sikora, R., Shaw, M. J. (1998): A Multi-Agent Framework for the Coordination and Integration of Information Systems, *Management Science*, 44 (11S) pp. 65-78.
- Simon, R., Diedrich, C., Riedl, M., Thron, M. (2001): Field device integration. *Industrial Electronics*, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on, Volume 1, Issue , 2001 Page(s):150 - 155 vol.1
- Simon, R. (2002): Gerätemodell zur Feldinstrumentierung von Verteilten Automatisierungssystemen, *at-Automatisierungstechnik*, 50, Heft, 10 pp. 490-499.
- Simon, R., Riedl, M., Diedrich, C. (2003): Integration of field devices using field device tool (FDT) on the basis of electronic device descriptions (EDD). *Industrial Electronics*,

2003. IEEE International Symposium on, Volume 1, Issue , 9-11 June 2003 Page(s): 189 - 194 vol. 1
- Smith, B. und Ceusters, W. (2006): HL7 RIM: An Incoherent Standard, IOS Press. Studies in Health Technology and Informatics, 2006; 124: 133–138
- Sorgatz, U., Hochfeld, H.-J. Austausch produktdefinierter Daten, Informatik-Spektrum 8[6], 305-311. 1985.
- Stadter, W. (1992): Device description language: ein wichtiger Beitrag zur herstellerunabhängigen Austauschbarkeit von Feld- und Bediengeräten, Automatisierungstechnische Praxis, 34 (1) pp. 21-27.
- Stöckle, U., Schäffler, A., König, B., Haas, N. P. (2006): Integrierte Navigation, Präklinische Erprobung und erste klinische Erfahrungen. Unfallchirurg 2006[109], 925-931. 24-10-2008.
- Strauss, G., Limpert, E., Strauss, M., Hofer, M., Dittrich, E., Stopp, S., Lueth, T. C. (2009) Untersuchungen zur Effizienz eines Navigationssystems für die HNO-Chirurgie: Auswertung von 150 Patienten. submitted to HNO, 2009.
- Strauss, M., Stopp, S., Koulechov, K., Lueth, T. C. (2006): Concept and first implementation of a documentation system for an ent navigation system, in CARS, Springer, p. 501.
- Sunyaev, A., Leimeister, J. M., Schweiger, A., Krcmar, H. (2006): Integrationsarchitekturen für das Krankenhaus-Status quo und Zukunftsperspektiven, Information Management & Consulting, 21 (1) p. 28-35.
- Sutherland, G. R., Kaibara, T. (2001): Neurosurgical suite of the future. III, Neuroimaging Clin.N.Am., 11 (4) pp. 593-609.
- Taboada, J. A., Arcay, B., Arias, J. E. (1997): Real time monitoring and analysis via the medical information bus, Part II, Medical and Biological Engineering and Computing, 35 (5) pp. 535-539.
- Taboada, J. A., Arcay, B., Arias, J. E. (1997): Real time monitoring and analysis via the medical information bus, Part I, Medical and Biological Engineering and Computing, 35 (5) pp. 528-534.
- Tan, G. W., Hayes, C. C., Shaw, M. (1996): An intelligent-agent framework for concurrent product design and planning, Engineering Management, IEEE Transactions on, 43 (3) pp. 297-306.
- Testi, A., Tanfani, E., Torre, G. (2007): A three-phase approach for operating theatre schedules, Health Care Management Science, 10 (2) pp. 163-172.
- Tim Lüth (1998): Technische Multi-Agenten-Systeme, Verteilte autonome Roboter- und Fertigungssysteme. Hanser, München, Wien.
- Visarius, H., Gong, J., Scheer, C., Haralamb, S., Nolte, L. P. (1997): Biomedical Paper Man&Machine Interfaces in Computer Assisted Surgery, Computer Aided Surgery, 2 pp. 102-107.

- Waldner, J.-B. (1992): CIM - Principles of Computer-integrated Manufacturing, 1. Auflage, Wiley, Chichester, 1992.
- Weiss, G., von Baer, R., Riedl, S. (2002): Einfluss des Raumkonzepts einer Operationsabteilung auf die Nutzungseffizienz, *Der Chirurg*, 73 (2) pp. 174-179.
- Whitehead, S. F., Goldman, J. M. (2008): Getting Connected for Patient. www.psqh.com . 2008, Electronic Citation
- Wittmann, W., Strauss, M., Strauss, G., Koulechov, K., Dittrich, E., Hofer, M., Dietz, A., Lueth, T. C. (2007): Integration of virtual and real endoscopy into a modular and miniaturized navigation system for ENT surgery, in *CARS*, 1 edn, Springer, p. 492.
- Wong, J. C., Yau, K. K., Chung, C. C., Siu, W. T., Li, M. K. (2006): Endo-Lap OR: an innovative "minimally invasive operating room" design, *Surg.Endosc.*, 20 (8) pp. 1252-1256.
- Wang, Y.H., Yin C.W., Zhang, Y. (2003): A multi-agent and distributed ruler based approach to production scheduling of agile manufacturing systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16 (2) pp. 81-92.
- Zviran, M. (1990): Defining the application portfolio for an integrated hospital information system: a tutorial, *Journal of Medical Systems*, 14 (1-2) pp. 31-41.