



HOCHSCHULE LANDSHUT
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

MASTERARBEIT

am Labor für medizinische Bildverarbeitung, Algorithmen und Krankenhaus IT

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M. Sc.)

**Entwicklung einer modularen und erweiterbaren Anwendung
zur medizinischen Bildverarbeitung**

eingereicht von
Erstprüfer
Zweitprüferin
Abgabetermin

Rudolf Franz Siegfried Korb, 790060
Prof., Dr. Holger Timinger
Prof., Dr. Gudrun Schiedermeier
02.03.2014

Inhaltsverzeichnis

Kapitelübersicht	1
1 Einleitung	2
1.1 Gesundheit als sechster Kondratieff-Zyklus	4
1.2 Der Studiengang Biomedizinische Technik	4
1.3 Das Labor für medizinische Bildverarbeitung, Algorithmen und Kranken- haus IT	5
1.4 Anforderungen an eine modulare und erweiterbare Bildverarbeitungssoftware	6
2 Grundlagen der medizinischen Bildverarbeitung	10
2.1 Bildgewinnung und bildgebende Verfahren	10
2.2 DICOM	10
2.2.1 Die Dicom Information Object Definitionen	11
Literaturverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II

Einleitung

2

1.

Grundlagen der medizinischen Bildverarbeitung

10

2.

Kapitel 1

Einleitung

Im Jahr 1926 veröffentlichte der Wirtschaftswissenschaftler Nikolai D. Kondratieff (* 1892, † 1938) die Theorie „Die Langen Wellen der Konjunktur“ [HK11]. Leo Nefiodow erweiterte 2006 die Theorie, damit die Entwicklung des 20. Jahrhunderts einfließen konnte.

Kondratieff zeigte, dass sich die gesellschaftliche Wandlung nicht willkürlich vollzog. Seit der Industrialisierung Mitte des 18. Jahrhunderts stand der Wohlstand der Gesellschaft in direkter Beziehung zu besonderen Erfindungen. Er betrachtete die Phasen des Wohlstandes und die direkt folgende Wirtschaftskrise und entdeckte die später nach ihm benannten „Kondratieff-Zyklen“. Wie in Abbildung 1.1 zu sehen ist, war die Dampfmaschine die erste Basisinnovation¹ und revolutionierte die Textilindustrie. [Wie12]

Diese Erfindung gilt als Beginn des ersten Kondratieff-Zyklus. Vor dem maschinellen Betrieb wurden Spinnräder noch manuell bedient und Kleidung war teuer. Die dampfgetriebenen Webstühle steigerten die Effizienz um das 200-fache. In den 20er Jahren stagnierte die Branche, da die Rohstoffbeschaffung und Warenverteilung das Maximum der Effizienz erreicht hatte. Mit der Erfindung der Eisenbahn gelang der Übergang vom ersten in den zweiten Zyklus. In den folgenden Jahren konnte nun das Bedürfnis nach verbesserten Transportmöglichkeiten gestillt werden.

Dampfmaschine, Eisenbahn, Strom, Motor und der Mikrochip stehen alle für eine Basisinnovation, die zukünftige Gesellschaften geprägt haben. Im Lauf der Zeit verschwinden die Erfindungen aus dem Bewusstsein der Menschen und werden zu Gegenständen des Alltags. Motor und Mikrochip sind so stark im gesellschaftlichen Leben verankert, dass Sie nicht mehr direkt wahrgenommen werden. Betrachtet man eine elektrische Zahnbürste, ist es selbstverständlich, dass die Energie aus dem Stromnetz bezogen wird und der Bürstenkopf von einem Motor angetrieben wird.

¹Basisinnovationen müssen nach Nefiodow vier Eigenschaften erfüllen: Entstehung eines neuen Marktes mit vielen Arbeitsplätzen; Innovation bestimmt den Zyklus; Basisinnovationen haben einen Zyklus von 40 - 60 Jahren; Sie bestimmen die Entwicklungsrichtung

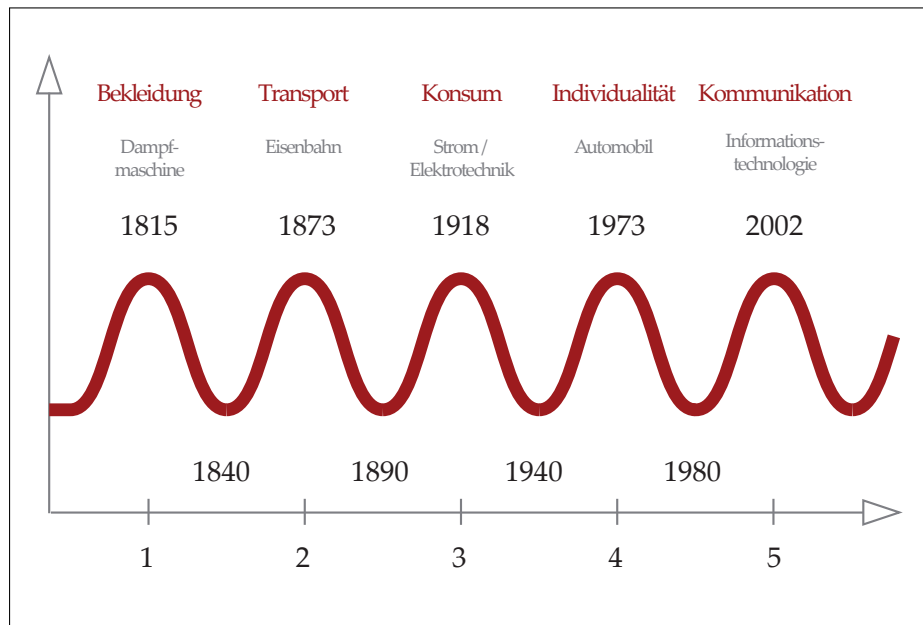


Abbildung 1.1: Kondratieff-Zyklen

Das Jahr 2002 gilt als Höhepunkt des fünften Kondratieff-Zyklus und die Gesellschaft befindet sich gerade im Übergang zum Sechsten. Noch fehlt die aktuelle Basisinnovation und auch das zu stillende Bedürfnis ist nach der Kommunikation noch nicht bestimmt. Nach Nefiodow [GN11] gibt es vier Möglichkeiten welcher Markt in Zukunft den sechsten Kondratieff prägen wird:

- **Informationsmarkt**

Mobile Geräte und Soziale Netzwerke sind maßgebend für diesen Markt. So verhalf der Kurznachrichtendienst Twitter zum sogenannten „Arabischen Frühling“, durch die blitzschnelle Kommunikation über das Netz².

- **Bio - und Nanotechnologie**

Die Erfindung des Mikroskops und die Entschlüsselung der DNA im Jahr 2000 gilt als Basisinnovation. Anfangs wurden die Erkenntnisse nur in Medizin und Pharmazie angewendet. Heute profitiert auch die Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie davon.

- **Umwelttechnologie** Auch der Bereich Umwelttechnologie sorgte für einen Zuwachs an Arbeitsplätzen. In Deutschland standen im Bereich der erneuerbaren Ener-

²<http://www.heise.de/tr/blog/artikel/Wie-funktioniert-die-Twitter-Revolution-1761481.html>
aufgerufen am 06.01.2014

gien 170.000 Menschen in einem Beschäftigungsverhältnis³.

- **Gesundheit** Der Gesundheitsmarkt vereint technologische Komponenten wie die Medizintechnik und psychosoziale Gesundheit. Es erfolgt ein Wechsel vom heutigen „Krankheitswesen“ zum Gesundheitswesen, angefangen von der Burnout-Prophylaxe, Gesundheitstourismus zur Bionik und künstlichen computergesteuerten Prothesen.

1.1 Gesundheit als sechster Kondratieff-Zyklus

Nach Granig[GN11] ist der Gesundheitsbereich der derzeit am schnellsten wachsende Markt⁴. Die Bevölkerung ist gewillt in die eigene Gesundheit zu investieren und die Unternehmen positionieren sich im Gesundheitsbereich (Siemens beispielweise verstärkt sich im Bereich der Medizintechnik). Die Bio- und Nanotechnologie ist und die Medizintechnik ähneln sich in einigen Bereichen. Sowohl Siemon Cord [Cor07] als auch Granig⁵ sprechen davon, dass der Markt sich nur gehemmt entwickeln kann. Grund dafür sind sowohl in der Nano- und Medizintechnik veraltete Gesetzte und auch ethnische Hürden, die es zu überwinden gilt.

Cord schreibt, dass 100% des Wissens der Biotechnik aus Hochschulwissen stammt (allerdings aufgrund der erwähnten Einschränkungen noch nicht ökonomisch verwertet werden kann). Zwar trifft diese hohe Prozentzahl nicht auf die Medizintechnik zu, da viel Entwicklung in den Unternehmen stattfindet, doch der Grundstein für Innovation wird bei den Studierenden der Hochschulen und Universitäten gelegt. Die Bildungseinrichtungen werden ein zentrales Standbein für den kommenden sechsten Kondratieff mit einem Schwerpunkt Bio-, Medizintechnik und Gesundheit sein.

1.2 Der Studiengang Biomedizinische Technik

In einem Onlineartikel vom Februar 2012⁶ veröffentlichte die Hochschule, dass ab dem Wintersemester 2012 der neue Bachelorstudiengang „Biomedizinische Technik“ angeboten wird. Auch der Artikel beschreibt, ähnlich wie Granig, die Medizintechnik als Wachstumsmarkt und bestätigt, auch durch die Einführung des Studiengangs, das gesellschaftlich gesteigerte Interesse am Gesundheitswesen.

³vgl. [GN11] S. 107

⁴Gemessen am Anteil der Branche am Bruttoinlandsprodukt

⁵vgl. [GN11] Seite 116 f

⁶<https://www.haw-landshut.de/aktuelles/news/news-archiv/news-detailansicht/article/neuer-studiengang-biomedizinische-technik-vielfaeltige-berufschancen.html>
abgerufen am 10.01.2014

Während des Studienverlaufs [Hoc13] erwerben die Studierenden vor Allem im zweiten Studienabschnitt Kenntnisse im Bereich der Medizintechnik. Die Ausbildung behandelt unter Anderem bildgebenden Systeme, medizinische Bildverarbeitung und minimalinvasive Therapieverfahren.

Für die Ausbildung stehen Labore mit den benötigten Geräten zur Verfügung, um mit dem theoretischen Wissen praktisch zu experimentieren.

1.3 Das Labor für medizinische Bildverarbeitung, Algorithmen und Krankenhaus IT

Das Labor erfüllt zwei Interessen. Die Ausstattung steht für die Forschung Unternehmen und Krankenhäusern zu Verfügung. Für die Lehre soll Studierenden die Möglichkeit geboten werden, den Prozess der medizinischen Bildverarbeitung anschaulich und praxisnah zu erleben. Mittels Doppler-Ultraschallgerät können Bilddaten erzeugt und anschließend an das Picture Archiving and Communication System⁷ (PACS) gesendet werden. Anschließend können Algorithmen zur Bildvorverarbeitung, Merkmalsextraktion oder auch Segmentierung implementiert und getestet werden.

Medizinische Bilddaten unterscheiden sich maßgeblich von allgemeinen Bildformaten wie JPEG oder Bitmaps, daher sind zur Betrachtung sogenannte DICOM-Viewer⁸ notwendig. Mit Hilfe dieser Programme lassen sich die erzeugten Bilder betrachten und grundlegende Operationen auf diesen anwenden (dazu zählt beispielsweise die Skalierung oder Verschiebung des Bildes). Komplexe Bildverarbeitungsalgorithmen können allerdings nicht ausgeführt oder selbst implementiert werden.

Für Forschung und Lehre wird eine Software benötigt, die sowohl die Grundfunktionen der Betrachtung liefert, als auch eine Schnittstelle zur eigenen Erweiterung zu Verfügung stellt.

⁷Ein PACS dient als zentraler Bildspeicher, der über das Netzwerk angesprochen werden kann. Medizinische Geräte legen dort die Bilddaten ab, während die Software zur Betrachtung die Daten vom PACS holt

⁸DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ist der heutige Standard der medizinischen Informationsverarbeitung und wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert. Die Viewer ermöglichen die Betrachtung der Bilddaten

1.4 Anforderungen an eine modulare und erweiterbare Bildverarbeitungssoftware

Die Software soll grundsätzlich die Eigenschaften der Modularität, als auch der Erweiterbarkeit besitzen. Die Architektur soll offen für Weiterentwicklungen des Grundsystems sein, damit neue Funktionen leicht eingebaut werden können. Die Variabilität der Software durch Hilfe von Erweiterungen ist wichtig für Lehre und Forschung, um in der Versuchsdurchführung möglichst uneingeschränkt im Bereich der Software zu sein. Bei Bedarf kann eine individueller Ansatz umgesetzt werden.

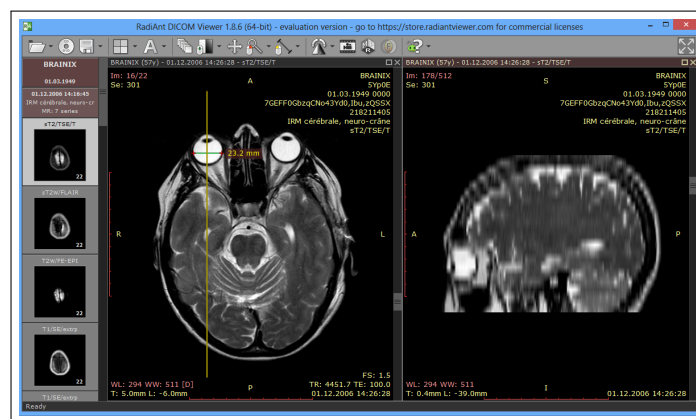


Abbildung 1.2: RadiAnt - DicomViewer

Frei verfügbare Software im medizinischen Bereich beschränkt sich oft in den vom Programm vorgegebenen Funktionen und bietet keine Möglichkeit der Erweiterung. Zusätzlich liegt der Fokus an der Darstellung der Patientenbilder und weniger an den Algorithmen zur Bildverarbeitung. Abbildung 1.2 zeigt den Screenshot des DicomViewers RadiAnt⁹. Die Bilder können einzeln oder wie auf dem Bild zu sehen, im Bezug zueinander betrachtet werden. Die Werkzeugleiste oben ermöglicht die für DICOM-Bilder typischen Operationen. Zwar gibt es auf dem Markt auch Open-Source Lösungen mit Schwerpunkt auf Bildverarbeitung, jedoch eignen sich diese nur bedingt für dein Einsatz in der Lehre. Die Programme bieten eine Vielzahl an Funktionen, allerdings benötigt die Entwicklung von Erweiterungen einen erheblichen Zeitaufwand.

Slicer 3D¹⁰ (Abbildung 1.3) ist ein umfassendes Werkzeug für die medizinische Bildverarbeitung im zwei- und dreidimensionalen Raum. Die quelloffene Software bietet Möglich-

⁹<http://www.radiantviewer.com/de/>

¹⁰<http://www.slicer.org>

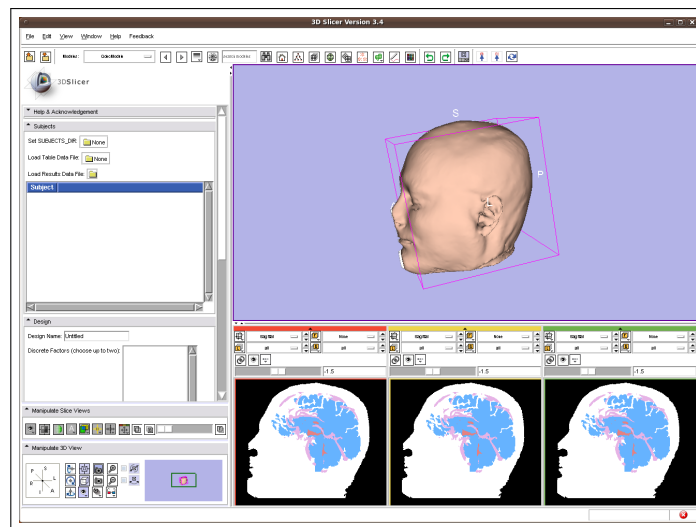


Abbildung 1.3: Screenshot Slicer 3D

Quelle: <http://www.linuxlinks.com/portal/content/reviews/Health/Screenshot-3DSlicer.png> - abgerufen am 11.01.2014

keiten eigene Module zu implementieren. Slicer verwendet als Bibliotheken unter anderem das Insight Toolkit und das Visualization Toolkit¹¹. Das Modul „medizinische Bildverarbeitung“ baut auf der Programmiersprache Java auf und ist eine weitere Voraussetzung für einen Einsatz im Lehrgebiet. Module in Slicer werden in Python implementiert. Die Studierenden müssten damit eine zusätzliche Sprache lernen.

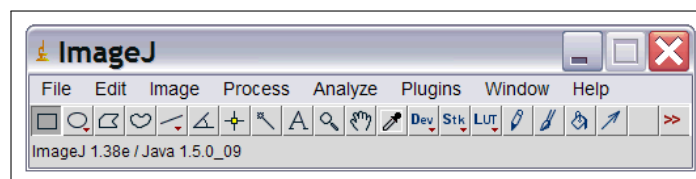


Abbildung 1.4: Die Benutzeroberfläche von ImageJ

Quelle: <http://rsbweb.nih.gov/ij/features.html> - abgerufen am 11.01.2014

„State Of The Art“ im Bereich der Bildverarbeitung in Java ist ImageJ¹²). Im Grundzustand liefert ImageJ die Standardfunktionen der Bildverarbeitung wie Abbildung 1.4

¹¹Insight Toolkit (ITK) und Visualization Toolkit (VTK) sind umfassende Programmbibliotheken zur medizinischen Bildverarbeitung und Visualisierung. Verfasst wurden sie in der Programmiersprache C++

¹²<http://rsbweb.nih.gov/ij/>

zeigt. Unter Anderem kann das Bildmaterial analysiert oder mit Filtern bearbeitet werden. ImageJ verarbeitet Grauwertbilder als auch Farbbilder in den gängigen Formaten wie PNG, JPEG und viele andere. Erweiterungen können schnell und zielstrebig entwickelt werden. Im Modul „Bildverarbeitung“ der Fakultät Informatik wird ImageJ als Standard zum Bearbeiten der Übungsaufgaben verwendet. Für den Studiengang Biomedizinische Technik fehlt allerdings die grundlegende Unterstützung von medizinischen Bilddaten im DICOM-Format. Die Funktionalität lässt sich über Plug-ins nachträglich hinzufügen, allerdings fehlt eine Bibliothek die bereits implementierte Algorithmen zur Verfügung stellt.

Für eine Software die an der Hochschule Landshut für Lehre sowie Forschung im Bereich der medizinischen Bildverarbeitung eingesetzt werden kann ergeben sich folgende Anforderungen:

- **Erweiterbarkeit durch den Anwender**

Anwender sollen die Möglichkeit haben, das Programm mit selbst programmierten Algorithmen zu erweitern. Die eigene Implementierung von Bildverarbeitungsprozessen ist essentiell im Bereich der Lehre.

- **Modularer Aufbau**

Die Software soll auch in den Grundfunktionen erweiterbar sein, die bei Auslieferung des Programms sofort zur Verfügung stehen (Skalierung, Rotation, etc.). Anders als die von Benutzern erstellten Plug-ins, die abhängig vom Anwender sind muss eine Möglichkeit zur globalen Erweiterung gegeben werden.

- **Unterstützung des Dicom-Standards**

Medizinische Bilddaten besitzen neben den rohen Pixeldaten noch eine Vielzahl zusätzlicher Information wie Patientendaten oder Seriennummern der Aufnahmen und benötigen eine spezielle Verarbeitung. Anders als übliche Grauwertbilder besitzen DICOM-Daten unter Anderem nicht 255 sondern bis zu 2^{16} verschiedene Grauwerte.

- **Implementierung in der Programmiersprache Java**

Das Modul zur Bildverarbeitung der Biomedizinischen Technik findet in Java statt. Dadurch wird die Programmiersprache eine Anforderung, da ein Einsatz für die Lehre sonst nur erschwert möglich ist.

- **Grundausrüstung an medizinischen Bibliotheken**

Algorithmen in der Bildverarbeitung sind oft komplex und umfangreich. Nicht jeder benötigte Verarbeitungsprozess eignet sich zum selbst implementieren (Sowohl im Lehr- als auch Forschungsbereich). Durch den Einsatz von Bibliotheken wird ein

grundlegender Satz an Algorithmen vorgegeben, auf den der Benutzer zurückgreifen und in den Plug-ins verwenden kann.

Da in den vorgestellten Anwendungen keine Lösung verfügbar ist die alle Voraussetzungen erfüllt, soll eine Software entwickelt werden, die für das Labor für medizinische Bildverarbeitung, Algorithmen und Krankenhaus IT die benötigten Anforderungen erfüllt.

Kapitel 2

Grundlagen der medizinischen Bildverarbeitung

2.1 Bildgewinnung und bildgebende Verfahren

2.2 DICOM

Der Name DICOM steht für *Digital Imaging and COmmunication in Medicine*. Der Umgang mit diesem Standard ist essentieller Bestandteil der zu entwickelnden Software. Panykh[Pia08] beschreibt im ersten Kapitel, dass DICOM nicht nur aus Pixel und deren zugehörigen Werten besteht. Wie der Name sagt, ist auch die Kommunikation fest im Standard verankert. Damit ist die Übertragung der Daten von medizinischen Geräten(Modalitäten) zum zentralen Speicher und deren Verteilung gemeint. Des Weiteren spielt die dauerhafte Speicherung der digitalen Aufnahmen eine große Rolle. Daher wird im gleichen Zug mit DICOM immer ein PACS genannt. Die Abkürzung PACS bedeutet *Picture Archiving and Communication System* und besteht sowohl aus Hardware (Server, Speicherung) als auch Software(Verteilung und Kommunikation).

Abbildung 2.1 illustriert das Zusammenspiel des DICOM-Standards und dem zentralen Datenspeicher. Zuerst wird mittels der Modalitäten(z.B. mit dem Computertomographen oder einem Ultraschallgerät) die digitale Aufnahme erzeugt. Danach wird das Bild vom Gerät an das PACS gesendet. Hier werden die Aufnahmen und Patientendetails in die Datenbank und den Speicher abgelegt. Wird eine Aufnahme benötigt können Clients Anfragen mit beispielsweise dem Patientennamen stellen und erhalten die zugehörige Serie mit der digitalen Aufnahme.

DICOM¹ ist daher nicht nur ein einzelner Standard, sondern verknüpft die standardi-

¹Unter <ftp://medical.nema.org/medical/dicom/> lässt sich der aktuelle Standard abrufen. Die Kapitel

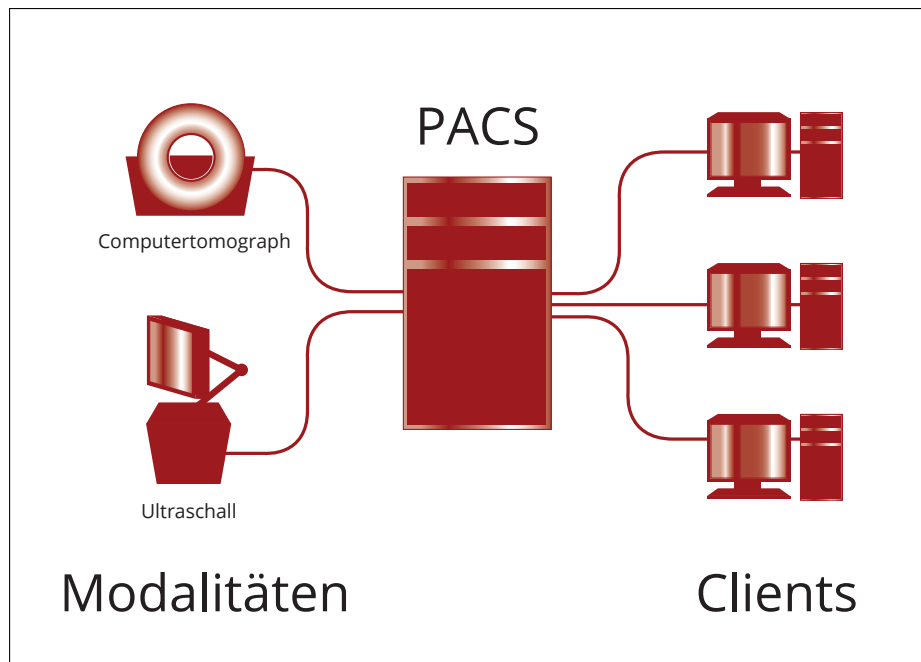


Abbildung 2.1: Kommunikationsprozess von Aufnahme zur Verarbeitung

sierte

- Kommunikation,
- Erzeugung der Bilddaten,
- und Speicherung.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit liegt der Fokus auf den Bilddaten, daher wird auf die Kommunikation- und Speicher Aspekte nicht im Detail eingegangen.

2.2.1 Die Dicom Information Object Definitionen

Bevor die Pixeldaten genauer betrachtet werden können, muss der prinzipielle Aufbau der Dicomobjekte beschrieben werden. Teil 3 des Standards[Nat11a, A.1.2] zeigt den relationalen Aufbau der Dicomobjekte. Vereinfacht können die elementaren Informationsobjekte in drei Teile aufgeteilt werden.

- **Patient**

Der Patient steht in der Hierarchie an oberster Stelle und ist die Grundlage für eine oder mehrere Studien(Study).

befinden sich im Ordner zum jeweiligen Jahr der Veröffentlichung. Aktuell sind die Dokumente von 2011.

- **Study**

Study symbolisiert eine medizinische Studie. Eine Studie ist eine Sammlung von mehreren Serien, die von Modalitäten wie CT und MR aufgezeichnet werden. Eine Studie ist exakt einem Patient zugeordnet.

- **Series**

Eine Serie ist ein Folge von Bildern, die von einer Modalität erzeugt wird. Die Aufnahmen eines CT werden einer Serie zugeordnet. Jede Serie gehört zu nur einer Studie.

- **Image, Real World Values**

Auf der unteren Hierarchiestufe stehen Objekte wie Bilddaten oder die Lage des Patienten im Raum während der Aufnahme. Ein Bild wird genau einer Serie zugeordnet.

Aus diesen vier elementaren Objekten ergibt sich folgende Informationsstruktur für Dicomobjekte, die in Abbildung 2.2 als Entity-Relationship-Modell² verdeutlicht wird.

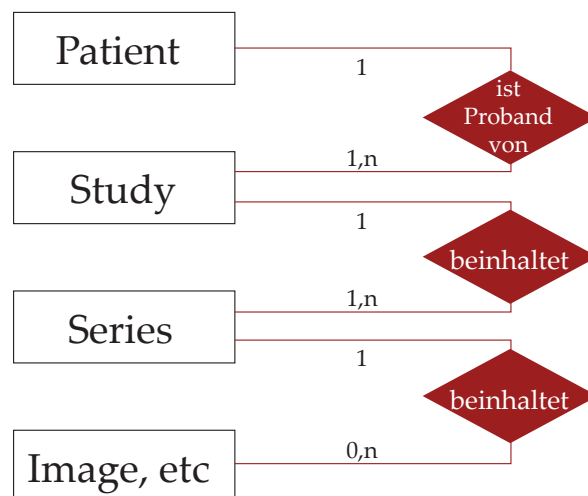


Abbildung 2.2: Vereinfachte Darstellung der Informationsobjekthierarchie von Dicom Elementen

Vorlage für diese Darstellung ist die Grafik in [Nat11a, A.1.2]

Der DICOM-Viewer OsiriX bietet auf der Herstellerseite³ die Möglichkeit Testdaten zu beziehen. Betrachtet man die Repräsentation der Daten auf der Festplatte hält sich

²Ein ER-Modell beschreibt die Beziehungen der Elemente zueinander. Dieser Diagrammtyp wird unter Anderem häufig beim Entwickeln der Struktur einer relationalen Datenbank verwendet

³<http://www.osirix-viewer.com/datasets/>

die Ordnerstruktur an obiges ER-Modell.

Abbildung 2.3 zeigt eine schmatische Darstellung der Dateien. Die Beispieldaten von OsiriX bestehen aus einem Patient names „Brebix“, dem eine Studie sowie zwei Serien à 100 Aufnahmen zugeordnet werden.

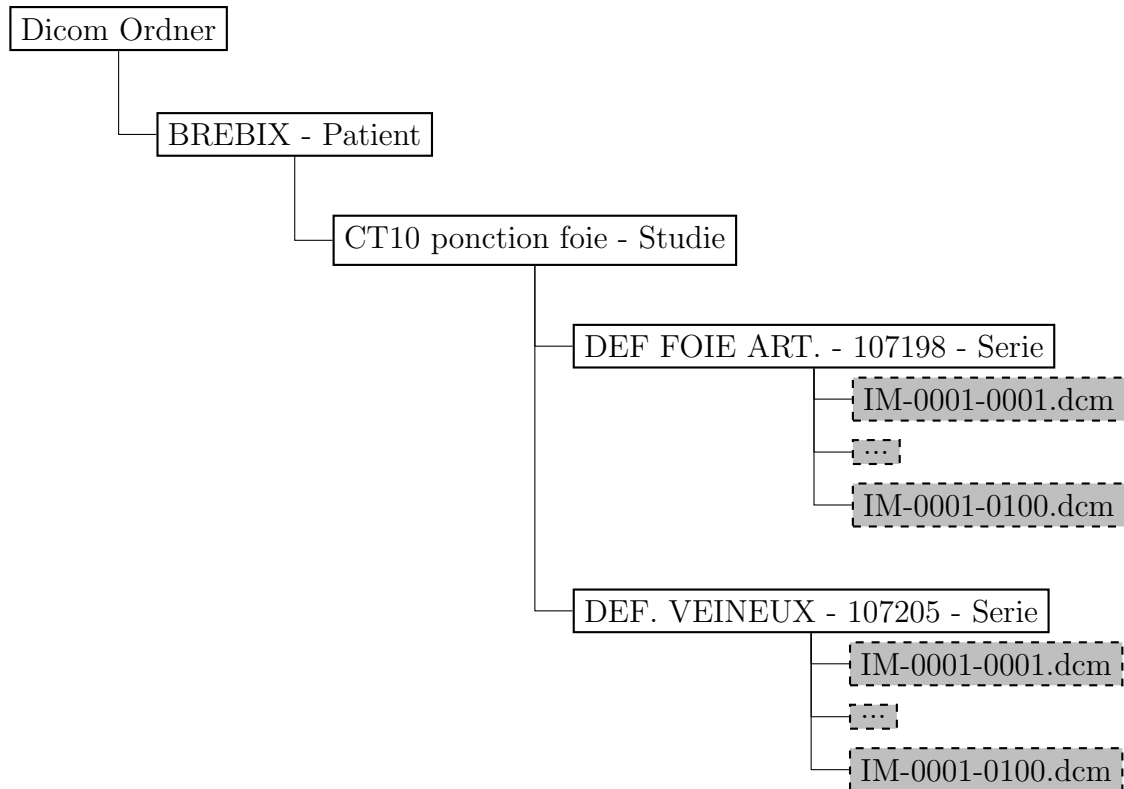


Abbildung 2.3: Repräsentation der Information Objekte im Dateisystem

Bei näherem Hinsehen fällt auf, dass die Dateinamen beider Serien des Patienten identisch sind. Eine korrekte Zuordnung von DICOM-Dateien zur Serie ist daher nicht immer garantiert. Unabhängig von einer Repräsentation im Dateisystem oder Pfadangaben in der Datenbank eines PACS ist das Vertrauen auf Dateipfade unsicher, da über eine einfache Dateimanipulation die Zuordnung nicht mehr hergestellt werden.

Um eine zuverlässige Verknüpfung zu gewährleisten besitzt jeder Patient⁴, jede Studie und Serie eine Eindeutige Identifikationsnummer. Diese Art der Informationen wird in den atomaren Dateien mit Hilfe von Einträgen aus dem DICOM Data Dictionary[Nat11b] hinterlegt.

⁴Identifikationsnummern sind meist nur innerhalb einer Institution oder Krankenhauses einzigartig

Literaturverzeichnis

- [Cor07] CORD, Siemon: Innovationspolitik im 6. Kondratieff: Hinterherlaufen oder Vorauseilen? In: *Wirtschaftsdienst* 87 (2007), Juli, Nr. 7, S. 450–457
- [GN11] *Kapitel* Der sechste Kontratieff. In: GRANIG, P. ; NEFIODOW, L. A.: *Gesundheitswirtschaft – Wachstumsmotor im 21. Jahrhundert*. Gabler Verlag, 2011
- [HK11] *Kapitel* Die gesunde Gesellschaft und ihre Ökonomie – vom Gesundheitswesen zur Gesundheitswirtschaft. In: HENSEN, P. ; KÖLZER, Christian: *Die gesunde Gesellschaft*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011
- [Hoc13] HOCHSCHULE LANDSHUT: *Modulhandbuch BA BMT*. https://www.haw-landshut.de/fileadmin/hs_landshut_english/electrical_engineering/download/pdf/Modulhandb%FCcher/Modulhandbuch_BA_BMT_WS_13_14_SS_13_beschlossen_FR_2013_11_26.pdf. Version: November 2013
- [Nat11a] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) - Part 3: Information Object Definitions*. ftp://medical.nema.org/medical/dicom/2011/11_03pu.pdf. Version: 2011
- [Nat11b] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) - Part 6: Data Dictionary*. ftp://medical.nema.org/medical/dicom/2011/11_06pu.pdf. Version: 2011
- [Pia08] PIANYKH, Oleg S.: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [Wie12] *Kapitel* Kondratieff – Von der Dampfmaschine zum Menschen. In: WIEDER, M.: *Liquid Work*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2012

Abbildungsverzeichnis

1.1	Kondratieff-Zyklen	3
1.2	RadiAnt - DicomViewer	6
1.3	Screenshot Slicer 3D	7
1.4	Die Benutzeroberfläche von ImageJ	7
2.1	Kommunikationsprozess von Aufnahme zur Verarbeitung	11
2.2	Vereinfachte Darstellung der Informationsobjekthierarchie von Dicom- elementen	12
2.3	Repräsentation der Information Objekte im Dateisystem	13