

FACHHOCHSCHULE AACHEN

Abteilung Jülich

Fachbereich : Physikalische Technik

Studienrichtung : Physikalische Technik

DIPLOMARBEIT

Entwicklung eines Programms zur
graphischen Verarbeitung von
Computertomographiedaten
in der Zahnheilkunde.

von

Klaus Genzel

Juli 1991

Die Diplomarbeit wurde betreut von:

OA Dipl.-Ing. Dr. med. dent. W. Schmitt

Prof. Dr.rer.nat. S. Pawelke

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbständig verfasst
und keine anderen als die genannten Quellen und Hilfsmittel
benutzt zu haben.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
<u>1</u>	Einleitung	1
1.1	Einsatzmöglichkeiten des Programms	2
1.1.1	Diagnostik	2
1.1.2	Präoperativ	3
<u>2</u>	Programmbeschreibung	4
2.1	Daten verwalten	6
2.1.1	Rohdateien verwalten	7
2.1.2	Daten konvertieren	8
2.1.3	Daten importieren	8
2.2	Bildverarbeitung	9
2.2.1	Bilddaten verwalten	9
2.2.2	Ausschnitte definieren	9
2.2.3	Implantatdarstellung	11
2.3	Daten verwalten	13
2.3.1	Patientendateien verwalten	13
2.3.2	Patientendaten darstellen	14
2.3.3	Alle Daten löschen	14
<u>3</u>	Programmtechnische Lösung	15
3.1	Erläuterungen zum Quelltext	15
3.1.1	Allgemeine Namensgebung innerhalb des Quelltextes	16
3.1.2	Dateiverwaltung	17
3.1.3	Zu den Compileroptionen von Borland Turbo Pascal	18
3.1.4	Programmanforderungen	19
3.2	Konvertieren der Rohdaten	19
3.2.1	Die Informationsblöcke	20
3.2.2	Austastungstabellen	23
3.2.3	Die relative HU-Wert Beschreibung	23
3.2.4	Unkomprimierte Daten	24
3.3	Interne Datenverarbeitung	24
3.3.1	Beschreibung der Linienkodierung	24
3.3.2	Aufbau der Pixeldaten	25
3.3.3	Multiplizieren der Pixeldaten	25
3.3.4	Berechnung der Schnittebenen	26
3.3.5	Implantatdarstellung	26

		Seite
<u>3.4</u>	Die Programmodule	27
<u>3.4.1</u>	CT_Work	27
<u>3.4.2</u>	CT_Utis	27
<u>3.4.3</u>	CT_Basis	27
<u>3.4.4</u>	CT_Datei	28
<u>3.4.5</u>	CT_Conv	28
<u>3.4.6</u>	CT_Graph	28
<u>3.4.7</u>	CT_CalcE	28
<u>3.5</u>	Speicherbelegung	29
<u>3.6</u>	Mathematische Grundlagen zur Positionsberechnung	30
<u>3.6.1</u>	Schnittfläche	31
<u>3.6.2</u>	Implantatdarstellung	32
<u>4</u>	Diskussion	33
<u>5</u>	Zusammenfassung	34
<u>6</u>	Literaturverzeichnis	36
7	Anhang	

Ausdrucke der Pascaltexte

7.1	CTWork	: Das Hauptprogramm.	37
7.2	CT_Utis	: Unit mit den globalen Bildschirm-, Tastatur-, und Hilfsroutinen.	58
7.3	CT_Basis	: Unit mit den Basisroutinen und den globalen Typen- und Variablendeklarationen.	78
7.4	CT_Datei	: Unit für die Dateiverwaltung.	97
7.5	CT_Conv	: Unit mit den Konvertierungsroutinen.	114
7.6	CT_Graph	: Unit für die graphische Darstellung und Konvertierung.	129
7.7	CT_CalcE	: Includedatei von CT_Graph. Sie beinhaltet die für die Implantatdarstellung benötigten Pascaltexte.	155

Diese Diplomarbeit ist eine Softwareentwicklung, welche es ermöglicht, die Daten eines Computertomographen auszuwerten und graphisch darzustellen.

Neben der Konvertierung der CT-Daten wurde eine umfangreiche Bildschirmsteuerung und Datenverwaltung, sowie eine graphische Schnittebenen- und Implantatdarstellung, in diese Aufgabe einbezogen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde es ermöglicht, die CT-Daten in schwarz-weiß Informationen umzusetzen, und somit Kieferknochenbereiche auf dem Bildschirm sichtbar zu machen. Dieses ist insofern von Vorteil, als das die künftige Implantatposition eindeutig und exakt graphisch dargestellt und somit vorherbestimmt werden kann.

Bei der Konvertierung der CT-Daten in eine binäre Beschreibung ist der Schwellwert frei einstellbar. Alle Raumelemente, deren HU-Werte oberhalb des Schwellwertes liegen, werden hierbei in eine Linienbeschreibung extrahiert.

Während des Programmablaufs befinden sich diese Daten im Speicher und werden als Ebene dargestellt. Aus den Ebenendaten lassen sich Ausschnittdaten extrahieren, welche für die weiteren Berechnungen verwendet werden. Hiermit können Schnittebenen dargestellt und vermessen, sowie eine frei einstellbare Implantatsimulation durchgeführt werden.

Das Programm ist menügesteuert und zeigt die möglichen Eingaben, teilweise farblich hervorgehoben, sowie die momentanen Arbeitseinstellungen kontextabhängig an. Die meisten Einstellungen eines Programmelements werden beim Verlassen des selbigen in eine situationsabhängige Datei abgespeichert. Beim Wiederaufruf eines Programmteils werden die Einstellungen gelesen und führen zur Initialisierung des entsprechenden Programmoduls.

Eine umfangreiche, programminterne Datenverwaltung sowie eine einheitliche Benutzeroberfläche ermöglichen dem Anwender eine leicht erlernbare Handhabung des Programms.

Während der Programmentwicklung wurde mit Dateien der Einheiten Somatom 2, Somatom DR2-H und Somatom DR3-H gearbeitet.

1.1 Einsatzmöglichkeiten des Programms

Einsatzmöglichkeiten bestehen überall dort, wo die Befunderhebung, die Planung und letztendlich die Behandlung durch einen Computertomographen unterstützt wird. In der präoperativen Phase der Implantation bis zu deren postoperativer Kontrolle ist es hilfreich, unter Zuhilfenahme der CT-Daten, das Implantat in seiner Lage und Größe im Kieferknochenbereich zu simulieren.

Durch die Darstellung der Kieferknochen und die mögliche Extraktion einzelner, skalierbarer Knochenbereiche kann eine Vermessung beziehungsweise Analyse in Bezug auf Form und Relation, unter Berücksichtigung der darin eingeschlossenen Hohlräume, durchgeführt werden.

Eine frei einstellbare Schnittebenenberechnung und eine räumliche Implantatdarstellung erweitern den Programmumfang. Das Programm ermöglicht die graphische Auswertung dieser Daten mit einem handelsüblichen Personal Computer. Die Anforderungen an die Hardware des Rechners werden in 3.1.4. beschrieben.

1.1.1. Diagnostik

Bedingt durch Zahnverlust oder Fehlbelastung vorhandener prothetischer Versorgung, auch durch das Alter des Patienten und eine länger dauernde Zahnlosigkeit wird eine Zurückbildung des Kieferkammes hervorgerufen. Dieses hat vor allem im Unterkiefer, wo kein ausreichender Prothesenhalt, zum einen wegen der vorhandenen Atrophie, andererseits wegen der starken Unterzungenmuskulatur, gewährleistet werden kann, erhebliche Beeinträchtigungen der Kaufunktion des Patienten zur Folge. Mit den herkömmlichen prothetischen Maßnahmen ist es kaum möglich, eine optimale Versorgung des zahnlosen Kiefers zur Zufriedenheit des Patienten zu erzielen.

Unter gewissen Kriterien ist es angebracht, aus den oben genannten Gründen, einen chirurgischen Eingriff in Erwägung zu ziehen, um eine Verbesserung und Wiederherstellung der Kaufunktion zu gewährleisten.

Um eine erfolgreiche Implantation durchführen zu können, ist eine kritische Patientenwahl, eine genaue Befund- und Diagnosestellung, sowie eine exakte Planung unerlässlich.

1.1.2. Präoperativ

Eine allgemeinmedizinische Kontraindikation für eine Implantation stellt sich bei einer Erkrankung des Knochensystems, einer mangelnden Immunabwehr und bei allergischen Reaktionen. In der Zahnmedizin sind Mundschleimhauterkrankungen, Knochenerkrankungen und eine unzureichende Zahnpflege als Faktoren zu werten, die gegen eine Implantation sprechen.

Bei der Befunderhebung, ist die Beurteilung der Mundschleimhaut, die Analyse des Kiefers in Form und Relation, gegebenenfalls eine funktionelle Untersuchung vorhandener prothetischer Versorgung, die Auswertung und Vermessung von Kiefermodellen und die Befundung mittels Röntgenaufnahmen zu berücksichtigen. Durch die detaillierte Darstellung einzelner CT-Bilder kann das Implantationsgebiet genau beurteilt werden. Auch Knochenstärke und Struktur können betrachtet werden. Ferner werden pathologische Veränderungen angezeigt und postoperativ der Heilungsprozess sowie die endgültige Situation der Implantate dokumentiert.

Mit Hilfe der CT-Daten ist es nun möglich, an der dargestellten Kieferebene und dem daraus extrahierten Operationsgebiet die späteren Implantate in Lage, Größe und Neigung zu simulieren. Die Ausmaße vorhandener Knochensubstanz und deren Stärke können in ihrer Dicke beziehungsweise Länge eindeutig bestimmt werden. Die einzelnen Schnittbilder der CT-Aufnahme werden unverfälscht auf den Bildschirm übernommen, wodurch eine genaue Analyse des Operationsgebietes ermöglicht wird. Der Einsatz eines Implantates kann durch die Bildschirmsimulation positionsgenau geplant werden. Diese externe Methode des kieferchirurgischen Eingriffs erlaubt es dem Behandler, auf Grund der dargestellten Knochenformation, das Implantat den gegebenen Umständen anzupassen, ohne daß dadurch eine Mehrbelastung des Patienten entsteht. Parallel zur horizontalen Kauebenendarstellung wird eine leicht einstellbare Schnittebene angezeigt, auf welcher die vertikale Position markiert wird.

Das simulierte Implantat wird als Quader dargestellt und ist in Position und Größe frei einstellbar. Die dem jeweiligen Ausschnitt zugeordneten Implantatwerte sind innerhalb des Anzeigenfenster abzulesen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß mit Hilfe der CT-Daten die geplante Implantatstellung vorbestimmt und auf den Patienten übertragen werden kann.

2

Programmbeschreibung

Das Programm CTWork initialisiert sich beim Programmstart selbständig und beginnt mit der letzten Programmeinstellung oder fordert den Benutzer zur Systemeinrichtung auf.

Alle Programmoptionen können über die Menüführung wahrgenommen werden. Der Arbeitsbildschirm gibt immer Hinweise auf die Eingabemöglichkeiten. Durch ihre hervorgehobene Position innerhalb der Bildschirmmaske oder durch ihre farbliche Kennzeichnung sind die Schalter-, beziehungsweise Schlüsseltasten immer leicht zu erkennen.

Beispielerklärung anhand des Auswahlmenüs:

Computertomographiedaten verarbeiten.
Auswahlmenü
1 Rohdaten verwalten
2 Bildbearbeitung
3 Datenverwalten
0 Programmende
Aktueller Patient: XXXXXXXX XXX TTMMJJ
Eingabe in <0..3/ESC>:

Die erste Textzeile beinhaltet immer die Programmkennung. In der Zweiten wird die aktuelle Programmverzweigung angezeigt. Der mittlere Bildschirmausschnitt ist der hauptsächliche Arbeits-, beziehungsweise Informationsbereich des Anwenders. Die beiden letzten Textzeilen dieses Beispiels, zeigen dem Benutzer die Programmeinstellung, bezüglich der Patientendaten und die möglichen Tastatureingaben, in eckigen Klammern eingeschlossen, an.

Bei der Selektion der Daten werden die aktuellen Einstellungen vom Programm vorgeschlagen und können durch die Betätigung der Return Taste übernommen werden.

Jede Änderung der Programmeinstellungen wird gegebenenfalls abgespeichert und führt zu einer Reinitialisierung des Programms.

Aktionen des Programms nach einer Ja-Nein Abfrage sind immer endgültig und können unter Umständen zu einem Datenverlust führen!

Zur globalen Tastenbelegung:

Innerhalb der meisten Textbildschirme kann jederzeit in der aktuellen Patientenliste über die Funktionstaste F5 ein Patient ausgewählt werden. Alle darauf folgenden Aktionen beziehen sich dann auf die Daten des entsprechenden Patientenverzeichnisses.

Die ESC Taste wird durchgängig vom Programm abgefragt und führt, gegebenenfalls nach einer Sicherheitsabfrage, zu dem aufrufenden Menüpunkt zurück. Dies trifft auch auf die Konvertierungsläufe beziehungsweise Rechenläufe zu. Standardfestlegungen für die Datenselektion können durch die Funktionstaste F4 abgekürzt werden. Hierbei werden die aktuellen Werte übernommen.

Mit den Pfeiltasten wird innerhalb der graphischen Animation immer das entsprechende Objekt bewegt. Positions-, beziehungsweise Größenveränderungen, werden über die Tastenkombinationen von Strg und Pfeil rechts, links und Strg Bild rauf, runter durchgeführt.

Bei den Tastenkombinationen mit der Strg Taste ist es erforderlich, daß beide Tasten gleichzeitig vom Benutzer betätigt werden. Jegliche Dateneingaben müssen mit der Return Taste abgeschlossen werden. Für numerische Eingaben sind nur die Ziffern und der Dezimalpunkt zulässig.

Alle Angaben über die Tastaturbelegung beziehen sich auf das deutsche Standardlayout für IBM kompatible Personal Computer.

Bereichsüberschreitungen werden dem Benutzer immer durch ein akustisches Signal mitgeteilt.

Für eine Menüselektion oder Modusumschaltung genügt das Betätigen der markierten Schlüsseltaste. Eine Programmumschaltung oder Dateneingabe muß allerdings immer mit der Return Taste abgeschlossen werden. Bei Fehleingaben oder dem Betätigen der ESC Taste wird immer das vorherige Datum restauriert und/oder auf die vorherige Programmebene verzweigt.

Obwohl das Programm über viele Funktionen zur Fehlerkontrolle beziehungsweise deren Vermeidung verfügt, ist letztendlich der Benutzer für seine Anweisungen selbst verantwortlich. So werden zum Beispiel Dateilücken innerhalb der CT_Daten oder das Mischen verschiedener Quellinformationen beim Datenimport vom Programm nicht erkannt!

Damit die interne Verwaltungslogistik nicht gestört wird, muß die Datenpflege immer über das Programm abgewickelt werden. Von einem willkürlichen Einkopieren beziehungsweise Löschen von Dateien ist somit unbedingt abzuraten.

Datenfehler oder Speichermangel werden dem Anwender in einer Textzeile in der unteren Bildschirmmaske mitgeteilt und haben, nach einer erzwungenen Tastatureingabe, immer einem Modulabbruch zur entsprechend höheren Programmebene zur Folge.

2.1 Rohdaten verwalten

Es können Rohdaten konvertiert oder von einer Diskette importiert werden. Über den Aufnahmetomographen und seine Einstellung können Informationen abgefragt oder Dateien gelöscht werden. Die Dateitypen sind selektierbar. Die Festlegung für den Schwellwert der Datenextraktion erfolgt nach dem Aktivieren der Rohdatenkonvertierung.

2.1.1 Rohdateien verwalten

Neben der Möglichkeit, Dateien zu löschen, werden innerhalb der Informationsdarstellung dem Anwender die Dateidaten des Computertomographen vergleichbar der abgebildeten Bildschirmmaske angezeigt.

Computertomographiedaten verarbeiten.	
Rohdateien verwalten	
Dateiname: PAT_0002.PBD\CTBILD.001	
Aufnahme	: SOMATOM DR NEURORAD. RWTH AACHEN
Position	: UP Date: 06-FEB-90 Time: 07:56:02
Patient	: XXXXXXXX,XXX TTMMJJ/12345 Aufnahme: 5
Kommentar	: NATIV
Schichtdicke	: 4 Spannung: 125 KV Tischposition: 661
Anlage	: SOMATOM Zeilenfrequenz: 50 Gantrywinkel: 0
Serie	: IB AACHEN 01348 Modus: B2
<TASTE>	

Tastenbelegung:

- Einfg : Schaltet von Einzel- in Seitendarstellung und umgekehrt.
- i / I : Die Dateiinformationen werden dargestellt.
- l / L : Datei wird nach Sicherheitsabfrage gelöscht.
- Sonstige Tasten: Nächste Datei bzw. nächster Bildschirm.

Das Programmmodul wird beendet, wenn keine Dateien mehr vorhanden sind, oder die ESC-Taste betätigt wurde.

2.1.2 Rohdaten konvertieren

Der Anwender kann den Bereich der zu konvertierenden Ebenen und den Schwellwert des Knochenübergangs eingeben. Im Anschluß daran werden die CT-Dateien selbständig, in Abhängigkeit von ihren Headerinformationen, konvertiert.

Die Quellinformationen, dh. die HU-Werte der Röntgenstrahlen, werden hierbei in eine Linienbeschreibung gewandelt.

Treten bei der Datenverarbeitung Widersprüche zu der Dateibeschriftung auf, so werden die darstellbaren Daten mit Fragezeichen aufgefüllt.

Bei der Rohdatenkonvertierung werden verschiedene CT-Gerätetabellen beachtet. Hinsichtlich der Datengröße der Quelldateien existiert keine Einschränkung.

Wird von dem einstellbaren Schwellwert 1024 subtrahiert, so erhält man den Wert der Hounsfield Absorption. Dieser Wert ist von der Maschineneinstellung abhängig.

Bisher wurden Dateien der Einheiten Somatom 2 Modus A2, Somatom DR2-G Modus B2 und Somatom DR3-H Modus B0/B2 verarbeitet. Andere Dateiformen die den Spezifikationen für Computertomographen der Firma Siemens entsprechen, müßten ohne Programmänderungen konvertierbar sein. Ansonsten wird das Programm durch entsprechende Fehlermeldungen den Benutzer informieren.

2.1.3 Daten importieren

Der Anwender wird aufgefordert eine Datendiskette in das Laufwerk A zu legen. Nach einem Tastendruck untersucht das Programm die Diskette nach bekannten CT-Dateien. Wird ein bisher nicht geführter Patient erkannt, so wird eine Erweiterung der Patientenliste vorgeschlagen.

Die erkannten Dateien können in das Patientenverzeichnis kopiert beziehungsweise konvertiert werden. Eine Dateiselektion wird nicht angeboten.

Vorhandene Rohdateien mit gleichen Dateinamen werden im Zielverzeichnis ohne Vorwarnung überschrieben (vgl. [3.1.2](#)). Die Bezeichnung der konvertierten Dateien wird vom Programm generiert und führt immer zu einem Erweitern der vorhandenen Bilddaten.

2.2 Bildverarbeitung

Innerhalb der Bildbearbeitung werden die konvertierten CT-Daten dargestellt, sowie Ausschnitte erzeugt. Die räumliche Auswertung und Vermessung der verschiedenen Aufnahmeebenen gehört ebenfalls zur Bildverarbeitung. Bei der Auswahl einer Menüfunktion, beziehungsweise der Veränderung der Datenbeschreibung, werden alle Daten aus dem Patientenverzeichnis in den Speicher geladen und stehen dem Benutzer fortan auf Tastendruck zur Verfügung.

2.2.1 Bilddaten verwalten

Pixeldateien, welche skalierte Ausschnittsdaten beinhalten, werden innerhalb der Dateiselektion nicht vorgeschlagen. Allerdings beinhaltet das Löschen einer Pixeldatei immer das Löschen aller skalierten Dateivariationen. Es besteht die Möglichkeit der Dateiselektion zwischen mit Dateien der Linienbeschreibung und Pixeldateien.

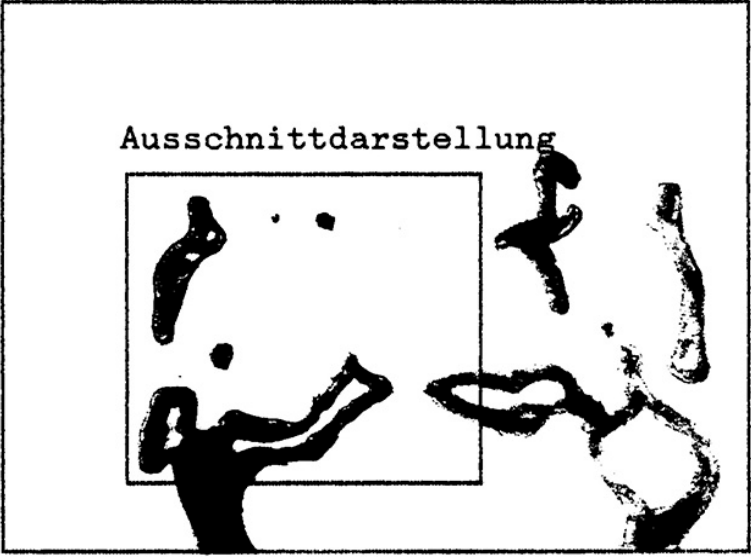
Tastenbelegung:

Eingf : Schaltet von Einzel- in Seitendarstellung und umgekehrt.
i / I : Die Dateiinformationen werden dargestellt.
l / L : Datei wird nach Sicherheitsabfrage gelöscht.
Sonstige Tasten: Nächste Datei bzw. nächster Bildschirm.

2.2.2 Ausschnitte definieren

Die Ausschnitte einer Bildinformation sind über eine einfach zu handhabende Tastenkombination innerhalb der graphischen Darstellung zu definieren. Für das Einleiten der Datenkonvertierung muß die S Taste betätigt werden. Nach einer Sicherheitsabfrage werden die Ausschnittsdaten dargestellt und der Bereich der zu konvertierenden Ebenen abgefragt. Bei der Konvertierung der Ausschnitte wird die programminterne Linienbeschreibung, unter Berücksichtigung der Ausschnittangaben, in ein direktes Pixelformat konvertiert, welches die unverfälschte räumliche Beschreibung des ausgewählten Ausschnitts gewährleistet.

Schematische Darstellung des Graphikbildschirms:

Computertomographiedaten verarbeiten.	
Ausschnitte definieren	
Darstellung der CT-Aufnahme	
Aufnahmedaten	
Dateinummer : 24	
Schwellwert : 1220	
Scannummer : 27	
Aufnahmedatum	
Schwellwert.	
Ausschnitt abspeichern	
Ausschnittdaten in Millimeter	
Beginn X Y	
Breite Höhe	
Aktueller Patient: XXXXXXXX XXX TTMMJJ	
Tastenauswahl zur Ausschnittbewegung	
Tastenauswahl zur Größendefinition	

Tastenbelegung innerhalb des Graphikbildschirmes:

Pos 1: Erste Ebene.
Ende: Letzte Ebene.
Bild hoch: Eine Ebene vor.
Bild runter: Ein Ebene zurück.
Strg Pfeillinks: Ausschnitt in X-Richtung verkleinern.
Strg Pfeilrechts: Ausschnitt in X-Richtung vergrößern.
Strg Bildhoch: Ausschnitt in Y-Richtung verkleinern.
Strg Bildrunter: Ausschnitt in Y-Richtung vergrößern.
Eingf: Schaltet die Ausschnittbearbeitung ein bzw. aus.
s / S: Den ausgewählten Ausschnitt in eine Pixelbeschreibung
konvertieren.

Falls die Ausschnittbearbeitung aktiv ist, so kann der Ausschnitt innerhalb der Ebenengrenzen mit den Pfeiltasten bewegt werden.

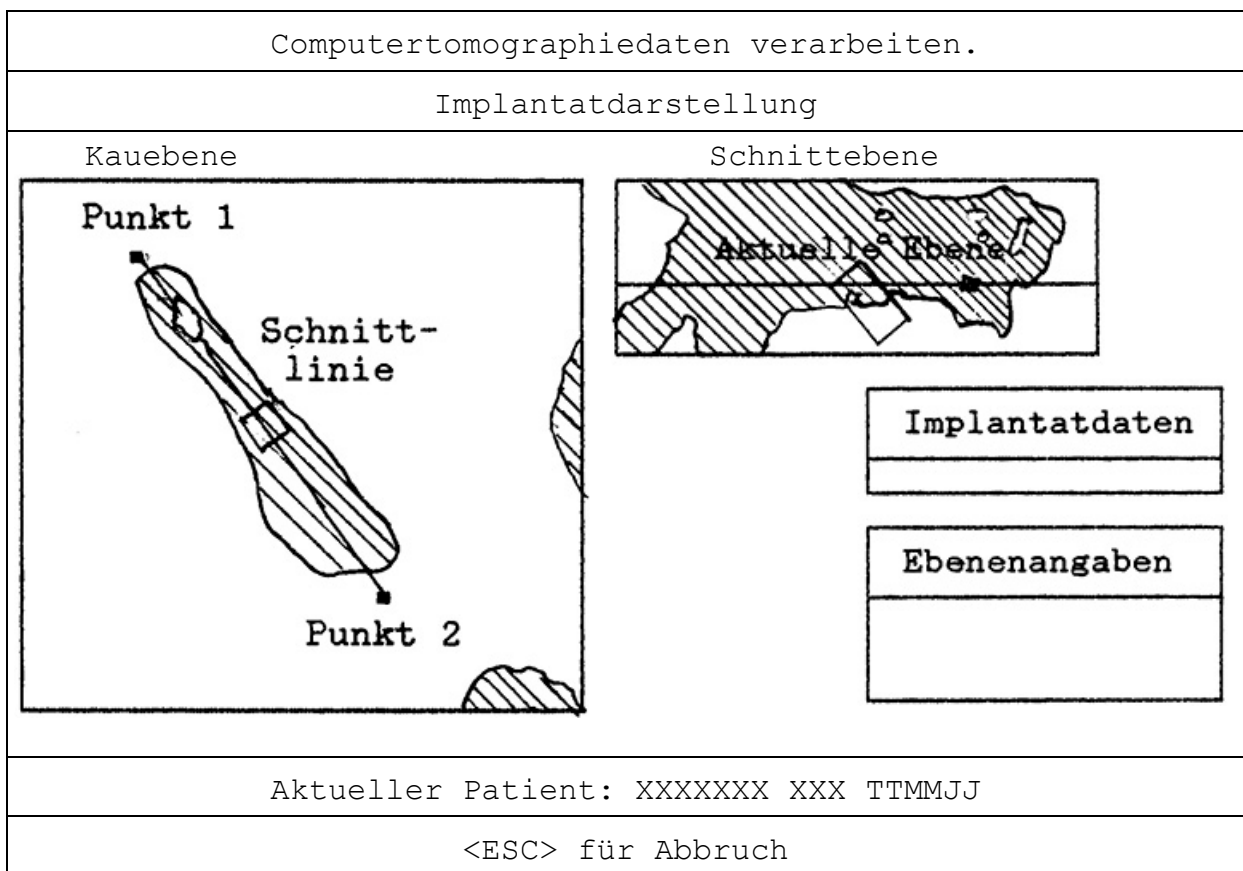
2.2.3 Implantatdarstellung

Zum Modulstart wird der Zustand der letzten Bearbeitung restauriert. Die Programmeinstellungen werden in den beiden Bildschirmfenstern links unten kontextabhängig dargestellt. Hierbei werden die erreichbaren Schlüsseltasten auf dem Bildschirm rot, und die aktiven Werte beziehungsweise Programmeinstellungen hellrot hervorgehoben.

In dem Ebenenmodus wird die Schnittebene als Linie animiert und kann frei eingestellt werden. Die Länge der Linie wird in dem Informationsfenster für die Ebenendaten angezeigt und ermöglicht eine einfache, fehlerfreie Vermessung der CT-Aufnahme.

Die Schnittflächenberechnung beziehungsweise Schnittebenenendarstellung muß von dem Anwender ausgelöst werden und ist Grundlage für den Implantatmodus. Dieser Modus ermöglicht eine realitätsnahe, interaktive Implantatsimulation innerhalb der Daten des Computertomographen.

Schematische Darstellung des Graphikbildschirms:



Tastenbelegung für Ebenen- und Implantatmodus:

Pos 1: Erstes Ausschnittbild.

Ende: Letztes Ausschnittbild.

Bild hoch: Einen Ausschnitt weiter.

Bild runter: Einen Ausschnitt zurück.

Alternativ können die einzelnen Ebenen über eine Ziffereingabe mit anschließender Betätigung der Return Taste direkt selektiert werden.

m / M: Es erfolgt solange eine Eingabe des Skalierungsmultiplikators bis eine syntaktisch fehlerfreie Eingabe erfolgt, beziehungsweise nur die Return Taste zur Übernahme des aktuellen Wertes betätigt wurde. Multiplikatoren größer 4 sind, da "Speicherfressend", nicht sinnvoll und werden auf 4 zurückgesetzt. Im Falle von Speichermangel, wegen eines zu großen Multiplikators, werden vom Programm selbständig die unskalierten Daten selektiert.

Bei der Abfrage der Pfeiltasten wird rechts, links der X-Achse und rauf, runter der Y-Achse zugeordnet.

Erfolgt eine Bereichsüber- beziehungsweise Unterschreitung durch den Benutzer, so ertönt ein akustisches Signal.

Tastenbelegung für den Ebenenmodus:

TAB : Entgegengesetzten Punkt selektieren.

i / I : Implantatdarstellung einschalten.

Falls notwendig, so werden die Daten der Schnittebene entsprechend der Position der Schnittfläche neu berechnet und dargestellt.

r / R : Es wird ggf. eine Neuberechnung der Schnittebene inklusive Bildschirmdarstellung durchgeführt.

Mit den Pfeiltasten rauf, runter, rechts und links kann die Schnittlinie innerhalb der Ausschnittgrenzen bewegt werden. Die Koordinaten des aktuellen Punktes sind durch die Tasten Strg Pfeilrechts, -links und Strg Bild-hoch, -runter zu verändern.

Tastenbelegung für den Implantatmodus:

- a / A : Es kann der Rotationswinkel für das Implantat eingegeben werden.
Eine Feineinstellung, in ein viertel Gradschritten, ist durch die Benutzung der Pfeiltasten unmittelbar nach dem Tasten des Schlüsselzeichens a / A möglich.
Übernahme der Einstellung mittels Return Taste.
- l / L : Ebenenmodus einschalten.
- z / Z : Die Implantatposition innerhalb der Aufnahmeebenen kann durch die Pfeiltasten rauf, runter verändert werden.

Das Implantat kann mit den Pfeiltasten innerhalb der Schnittgrenzen bewegt werden.
Durch die Tastenkombination Strg Pfeilrechts, -links kann der Durchmesser des Implantats verändert werden. Die Implantatlänge wird mit Strg Bild-hoch, -runter modifiziert.

2.3 Daten verwalten

Innerhalb dieses Menüs wird eine umfassende Datenverwaltung für die vom Programm benutzten Dateien ermöglicht. Alle Informationen oder Operationen beziehen sich immer auf das aktuelle Patientenverzeichnis.

2.3.1 Patientendateien verwalten

Der Anwender hat einen uneingeschränkten Zugriff auf alle Dateien, die CTWork für den jeweilig aktuellen Patienten verwaltet. Eine Datenselektion ist nicht vorgesehen.

Tastenbelegung:

- Einfg : Schaltet von Einzelselektion in die bildschirmweise Darstellung und umgekehrt.
- i / I : Die Dateiinformationen werden dargestellt.
- l / L : Datei wird nach Sicherheitsabfrage gelöscht.
- Sonstige Tasten: Nächste Datei bzw. nächster Bildschirm.

2.3.2 Patientendaten darstellen

Es werden statistische Dateidaten und individuelle Patientendaten dargestellt. Über die Tastatur kann in der Patientenliste geblättert werden.

Tastenbelegung:

Bild hoch: Nächster Patient.

Bild runter: Vorheriger Patient.

Pos 1: Erster Patient.

Ende: Letzter Patient.

Return: Selektierte Patientendaten werden zur aktuellen Programmreferenz.

2.3.3 Alle Daten löschen

Dieser Menüpunkt ermöglicht ein einfaches Entfernen aller Dateien die CTWork je verwaltet hat.

Nach Eingabe eines versalen L's, werden nach einer Sicherheitsabfrage, alle Dateien und Verzeichnisse, die von CTWork verwaltet werden, unwiderruflich gelöscht.

Hierbei gibt es keine weiteren Selektions- beziehungsweise Sicherheitsabfragen!

Die Löschaktion bezieht sich auf alle Verzeichnisse, oberhalb des Aktuellen, welche der Form PAT_000.* entsprechen. Hierbei werden zuerst alle Dateien des Verzeichnisses gelöscht. Anschließend wird noch das eigentliche Verzeichniss entfernt.

Das Programm muß immer neu initialisiert werden und alle jemals vorhandenen CT-Daten sind unwiderruflich gelöscht !

Programmtechnische Lösung

Es wurde versucht die selbstdokumentierende, strukturierte Pascalprogrammierung mit der effektiven Programmierung eines C Programms zu verknüpfen.

Falls notwendig wurden bei der Programmentwicklung die prozessornahen Befehle von Borland Turbo Pascal intensiv benutzt. Durch die Reduzierung der Problemstellung auf einfache effektive Programmoperationen sowie die einfache Datenverwaltung mittels eindeutiger Datenfelder, konnte der Datendurchsatz bei der Rohdatenkonvertierung sowie der Schnittebenenberechnung erheblich gesteigert werden.

Für das Verständnis der Pascaltexte ist ein Grundwissen über die Programmierung in Pascal erforderlich.

3.1 Erläuterungen zum Quelltext

Die programminterne Namensgebung und die Programmaufteilung wurden analog der Bildschirmbezeichnung beziehungsweise der Aufgabenstellung durchgeführt. Unterstützt von der systematischen Namensgebung kann somit schnell der Programmablauf im Listing verfolgt beziehungsweise eine Programmänderung durchgeführt werden.

Wegen der detaillierten Pascaldokumentation und des vorhandenen Programmumfangs wurde auf eine Beschreibung mittels Struktogramme verzichtet.

Innerhalb des Programms CTWork gibt es keine Rekursionen oder Inlinecodes. Da die Ausarbeitung alle Programmfunktionen abdeckt, müssen keine undokumentierten Module in das Programm eingebunden werden.

Verweise auf die Units von CTWork werden innerhalb der weiteren Beschreibung auf folgende Weise durchgeführt:

Unit.Lokaldeklaration. Bei der Verwendung von Overlays müssen diese Hinweise zwingend berücksichtigt werden, was dazu führen wird, daß die Unit CT_Utis und CT_Basis permanent im Speicher liegen werden. Datenpositionen werden, falls nicht besonders vermerkt, immer von eins an gezählt.

3.1.1 Allgemeine Namensgebung innerhalb des Quelltextes

Die globalen Programmvariablen haben den Präfix CT_. Konstanten beginnen mit einem kleinen c, für const, Strukturen mit einem t für type. Alle Namensbezeichnungen verweisen auf ihre Aufgabenstellung. Variablen Übergabeparametern vom Datentyp Word wird ein P angefügt. Das Anhängen von ein A weist auf ein Array hin. Bei Darstellungsdaten innerhalb eines Arrays werden Spalten X und Zeilen Y zugeordnet.

Bezeichnungen beginnen normalerweise mit den Anfangsbuchstaben (AB_) der EinzelWörter (EW_) der NamensBezeichnung (NB_) für die Funktion, Prozedur oder Deklaration.

Bevorzugte Abkürzungen innerhalb des Quelltextes:

Ctr	:	counter	Zähler
Dat	:	file	Datei
Imp	:	implant	Implantat
Len	:	length	Länge
Nr	:	number	Nummer
Pat	:	patient	Patient
Pix	:	pixel	Bildpunkt
Pkt	:	point	Punkt
Pos	:	position	Position
Ptr	:	pointer	Zeiger
Rec	:	record	Struktur
Tmp	:	temporary	Temporär
Str	:	string	Zeichenkette
Val	:	value	Wert
Win	:	window	Ausschnitt

Ausschnittdaten

Dieses sind Pixeldaten, welche Bitweise in Form des Datentypes Word, innerhalb des Datenfeldes CT_Basis.BildOrPixelA auf dem Heap verwaltet werden. Die Adressierung der Daten erfolgt über die Größenberechnung der Ausschnittdaten. Nur am Ende einer Ausschnittebene werden die restlichen Bits eines Datenwortes aufgefüllt. Ansonsten reiner Bitstrom ohne Zeilenendemarkierung und skalierungsunabhängig.

Bilddaten

Beinhalten ausschließlich die programminterne Linienbeschreibung der HU-Übergänge. Die Verwaltungsinformationen befinden sich in CT_Basis. CT_BildInfoA des Datentyps tCT_GloRec auf dem Heap. Die aktuelle Bildnummer dient als Index für das Datenarray. Innerhalb einer Ebene müssen die unterschiedlichen Dateninformationen sequentiell interpretiert werden.

Rohdaten

Dazu werden alle Datenvariationen des Computertomographen gezählt. Sie werden in Bilddaten, Austastungstabellen und Verwaltungsinformationen des Computertomographen unterteilt.

3.1.2 Dateiverwaltung

Die Patientendaten werden in einzelnen Verzeichnissen verwaltet. Das Programm selbst speichert seine Einstellungen in der Datei CTWORK.DAT im aktuellen Verzeichniss ab. Die einzelnen Patientenverzeichnisse werden durch eine Initialisierungsdatei verwaltet, welche bei der Selektion eines Patienten in den Speicher gelesen wird. Alle Dateioperationen des Programms beziehen sich relativ auf das aktuelle Verzeichnis. Beim Wechsel des Patienten wird automatisch auf das jeweilige Patientenverzeichnis zugegriffen und die Bildinformationen werden gelesen. Somit übernimmt das Programm alle Einstellungen der letzten Bildbearbeitung beziehungsweise Konvertierung.

Alle Dateinamen bestehen aus einem freien und einem von dem Programm generierten Namensteil. Der freie Namensteil kann aus bis zu sechs Zeichen bestehen, die Standardbezeichnung ist CTBILD. Datei- beziehungsweise Verzeichnisnummern werden nach dem Löschen der entsprechenden Daten vom Programm selbständig wieder aufgefüllt.

Die Patientendatenverzeichnisse haben die Form PAT_NNNN.PBD

NNNN Verzeichnisnummer in hexadezimaler Schreibweise. Die Verzeichnisnummer ist unabhängig der internen Patientenverwaltungsnummer.

Rohdatendateinamen haben die Form ??????.NNN.

????? Beliebige sechsstellige Dateibezeichnung für die Dateien des Computertomographen.

NNN Dateinummer in dezimaler Schreibweise.
Voreinstellung: CTBILD.001 .. CTBILD.255

Bilddatendateinamen haben die Form ??????_B.0NN.

NN Bildnummer in hexadezimaler Schreibweise.
Voreinstellung: CTBILD_B.001 .. CTBILD.OFF
Ihre Größe beträgt bei 256 * 256 Pixel CT-Rohdaten und einem Schwellwert von 1220 ungefähr 2 bis 3 KBytes.

Pixeldatendateinamen haben die Form ??????_P.XNN

NN Ausschnittversion in hexadezimaler Schreibweise.
X Pixelmultiplikator der Ausschnittdaten
Voreinstellung: CTBILD_P.001 .. CTBILD_P.4FF
Nur wenn X = 0 ist, sind unscalierte Daten mit ihren Initialeinstellungen vorhanden. Ansonsten reine scalierte Pixeldaten.

3.1.3 Zu den Compileroptionen von Borland Turbo Pascal

Zur Optimierung des Laufzeitverhaltens und bei der Fehlersuche empfiehlt es sich, die Compileroptionen von Turbo Pascal zu berücksichtigen. Die Generierung des Programmkodes wird von den Einstellungen beeinflusst, was zu verschiedenen Dateigrößen, sowie unterschiedlichem Programmverhalten führt. Die Ein-Ausgabeüberprüfung {\$I-} muß immer ausgeschaltet sein, da die Dateioperationen durch die Abfrage der Systemvariablen IOResult beziehungsweise DosError gesteuert werden. Bei der Programmierung wurde die kurze Booleanauswertung durchgängig berücksichtigt. Deswegen sollte immer mit {\$B+} kompiliert werden. Im Testfall sollten Bereichsüberprüfung {\$R?} und Stacküberprüfung {\$S?} immer eingeschaltet sein. Für das Geschwindigkeitsverhalten der Arbeitsversion ist es wichtig, die Optionen anschließend wieder auszuschalten. In dem Unit CT_Conv muß wegen Bitoperationen an vorzeichenbehafteten Variablen die Bereichsprüfung {\$R-} immer ausgeschaltet werden. Ansonsten ergibt sich zur Laufzeit gegebenenfalls

ein Bereichsüberprüfungsfehler, der zu einem Programmabbruch mit der Fehlermeldung Runtime Error 201 führt.

3.1.4 Programmanforderungen

Das Programm benötigt einen Rechner mit 640 kBytes Hauptspeicher und eine VGA-Karte mit einer minimalen Auflösung von 640 mal 480 Pixel bei 16 Farben. Der BGI Graphiktreiber EGAVGA.BGI von Borland muß sich im aktuellen Verzeichnis befinden. Es besteht die Möglichkeit des Diskettenbetriebs. Zum sinnvollen Arbeiten ist, wegen des hohen Speicherbedarfs der Dateien, allerdings ein Festplattensystem mit mehreren Megabyte freiem Speicherplatz notwendig. Für eine grobe Abschätzung des Datenbedarfs sollte man von 60 KBytes pro Aufnahme ausgehen. Genauere Angaben sind nicht möglich, da die Dateigrößen von vielen Parametern abhängig sind (vgl. [3.2](#)). Das effektiv belegte Speichervolumen für einen Patienten kann dem Menüpunkt "Patientendaten darstellen" entnommen werden.

Zum Zeitpunkt der Programmausführung sollten ca. 480 kBytes freier Speicher vorhanden sein. Für die Zusammenarbeit mit einem übergeordneten Steuerprogramm stehen von den 640 KBytes Hauptspeicher ca. 90 KBytes Speicher zu Verfügung. Beachtet wurden 70 KByte Betriebssystem und 480 KBytes für CTWork. Außer bei der Konvertierung großer Rohdatendateien, kommt das Programm immer mit nur einem Datenlesezyklus aus. Gegebenenfalls können bis zu 255 Bild- und/oder Ausschnittebenen im Arbeitsspeicher verwaltet werden.

3.2 Konvertierung der Rohdaten

Bei dem ersten Lesen einer Datendatei übermittelt CT_Datei. ReadCTDaten über globale Variablen den Datentyp der Datei sowie die eigentlichen Bilddaten.

Die Dateibesreibungen, Rand- und Absorptionswerte werden blockweise nacheinander konvertiert. Die Größe eines Datenblocks beträgt immer 512 Bytes. Während der Konvertierung werden die Daten bei Bedarf nachgeladen.

Durch die Konvertierung wird eine komprimierte Rohdatendatei von 25 bis 60 KBytes Dateigröße auf etwa 2 bis 3 KBytes Linienbeschreibung reduziert. Für eine Pixelbeschreibung von 256 mal 256, was dem Standardwert der CT-Daten entspricht, würden 8 KBytes Speicher benötigt.

3.2.1 Die Informationsblöcke

Je nach Dateityp gibt es einen oder vier Informationsblöcke. Die Patienten- beziehungsweise Maschineninformationen liegen in Byte-, ASCII- und/oder Dezimalkodierung vor. Die Dichtewerte schwanken bei unterschiedlicher Einstellung des Tomographen. Mit Hilfe der Informationsblöcke könnte der jeweilige Grenzwert, für den Übergang von Gewebe zum Knochen, vom Programm selbsttätig berechnen werden.

Der Wertebereich für den HU-Wert beträgt bei dem Datentyp A 0 bis 2047 gleich 11 Bit und bei Typen B und C 0 bis 4095 gleich 12 Bit Tiefe.

Es folgt eine technische Kurzbeschreibung der Informationsblöcke der CT-Dateien und die entsprechende programminternen Bezeichnungen der verwendeten Datenvariablen. Die entsprechenden Deklarationen befinden sich in dem Unit CT_Basis. Innerhalb der Beschreibung gibt die Spalte Pos die Byteposition des Datums innerhalb des Blocks an. Spalte Gr gibt die Anzahl der Datenbytes an. Bin steht für Binärkodierung, A für ASCII Beschreibung und B für einen Bytewert. Die Beschreibung CR steht für die Zeichenkodierung Carriage Return mit dem ASCII-Wert 13. Für den Archivierungsmodus A gilt, dass alle Konstanten/Variablen durch die umfangreicheren Archivierungsmodi B und C deklariert sind. Hierbei sind 256 Pixel pro Zeile beziehungsweise Spalte feststehend. Deswegen sind alle Austastungsoder Pixeldaten des Dateitypes A immer Bytewerte.

Inhalt des ersten Informationsblocks der Dateitypen B und C:

Pos	Gr	Art	Beschreibung	Konstante/Variable
3	2	Bin	Anlagenbezeichnung	cCT_An1BezPos/Str/Len
5	2	Bin	Zeilenfrequenz	cCT_FreqPos/Val
25	2	Bin	Konfiguration	cCT_KonfigPos/Val
27	3	Bin	Anzahl der Detektoren	cCT_DetCtrPos/Val
35	32	A	Serienbezeichnung des Computertomographen	cCT_KodePos/Len/Str

67	2	A	Archivierungsmodus	cCT_ArchModePos/Len/Str/Val
Datentyp A beinhaltet 11 Bit Datentiefe bei der absoluten Festlegung des HU-Wertes.				
A0 entspricht 256 * 256 Pixel, unkomprimiert.				
CT_ArchModeVal = 1				
A2 entspricht 256 * 256 Pixel, komprimiert.				
CT_ArchModeVal = 9				
Datentyp B und C beinhalten 12 Bit Datentiefe bei der absoluten Festlegung des HU-Wertes.				
B0 entspricht 256 * 256 Pixel, unkomprimiert.				
CT_ArchModeVal = 2				
B2 entspricht 256 * 256 Pixel, komprimiert.				
CT_ArchModeVal = 10				
C0 entspricht 512 * 512 Pixel, unkomprimiert.				
CT_ArchModeVal = 3				
C2 entspricht 512 * 512 Pixel, komprimiert.				
CT_ArchModeVal = 11				
69	2	Bin	Anzahl Blocks a 512 Byte	cCT_BlockCtrPos/Val
71	2	Bin	Position erster Datenblock	cCT_StartDatPos/Val
143	2	Bin	Gantrywinkel in Grad	cCT_GantryPos/Val

Inhalt des zweiten Informationsblocks der Dateitypen B und C:

1	11	A	Aufnahmegerät	cCT_A_NamePos/Len/Str
16	25	A	Institutbezeichnung	cCT_I_NamePos/Len/Str
41	37	A	Patienteninformation	cCT_PatInfoPos/Len/Str
81	9	A	Aufnahmedatum (dd-mm-jj)	cC_CTAufDatPos/Len/Str
98	5	A	Aufnahmeposition	cCT_AufPosPos/Len/Str
121	8	A	Aufnahmezeitpunkt (hh:mm:ss)	cCT_CTTimePos/Len/Str
205	3	A	Aufnahmenummer	cCT_AufCtrPos/Len/Str

Inhalt des dritten Informationsblocks der Dateitypen B und C:

249	2	A	Einheit der Spannung	cCT_VoltDimPos/Len/Str
252	3	A	Spannung	cCT_VoltPos/Len/Str
332	1	A	Schichtdicke der Aufnahme in mm	cCT_DickePos/Len/Str
Bedingung: Position 329 = 'SL'				
378	24	A	Kommentar	cCT_Rem1Pos/Len/Str
412	5	A	Tischposition	cCT_TischPosPos/Len/Str
Bedingung: Position 409 = 'TP'				
418	24	A	Kommentar	cCT_Rem2Pos/Len/Str

Von Block 5 bis Block 8 folgt die Austastungstabelle des Computertomographen. Bei den Dateiformaten B und C folgen ab Block 9 die HU-Wert Daten. Die Programmsteuerung erfolgt mittels den Konstanten cCT_OffTabPos und cCT_DatPos.

Inhalt des ersten Informationsblocks des Dateibesreibung A:

1	1	A	Blank wird zur Kennung benutzt	cCT_A_BlankPos/Val
2	13	A	Anlagenbezeichnung	cCT_AA_NamePos/Len/Str
15	25	A	Institutbezeichnung	cCT_AI_NamePos
40	1	A	CR wird zur Kennung benutzt	cCT_A_ReturnPos/Val
41	1	A	Blank wird zur Kennung benutzt	cCT_A_Blank2Pos
42	9	A	Aufnahmedatum	cCT_A_CTAufDatPos
53	5	A	Time	cCT_A_CTTimePos/Len
60	9	A	Bildlagernummer	cCT_A_BLageNrPos/Len
71	4	A	Bildfolgenummer	
75	1	A	CR	
77	25	A	Patienteninformation	cCT_A_PatInfoPos
102	1	A	CR	
104	12	A	Patientennummer	
133	3	A	Aufnahmerichtung	cCT_A_AufRichtPos/Len/Str
137	1	A	CR	
155	6	A	Schichtdicke	cCT_A_DickelPos/Len/Str
170	24	A	erster Kommentar	cCT_A_Rem1Pos
196	6	A	Spannungsangabe	
203	24	A	zweiter Kommentar	cCT_A_Rem2Pos
405	1	B	Aufnahmeposition	cCT_A_PosPos
445	2	B	Zeilenfrequenz	cCT_A_FreqPos
462	1	B	Scannummer	cCT_A_CTAufCtrPos
471	2	B	Tischposition	cCT_A_TischPosPos
473	2	B	Schichtdicke	cCT_A_Dicke2Pos/Len/Str
475	2	B	Gantrywinkel in Grad	cCT_A_GantryPos
477	2	B	Spannung	cCT_A_Volt1Pos/Val
484	1	A	Anlagenbezeichnungskürzel	cCT_A_An1BezPos
503	2	B	Pixel pro cm	cCT_A_Pixel_cmPos/Val
507	2	A	Archivierungsmodus	cCT_A_ArchModePos
509	2	B	Anzahl der Blöcke a 512 Byte Bedingung: ArchModeStr = A2.	cCT_A_BlockCtrPos
512	1	B	Körperlage des Patienten	cCT_A_KlagePos/Len/Str

Der Zweite Block des Dateitypes A beinhaltet die Bildaustastungstabelle. Ab dem dritten Block folgen die eigentlichen Bilddaten des Computertomographen.

3.2.2 Austastungstabellen

Bei der Konvertierung der Absorptionswerte werden außerhalb des menschlichen Körpers liegende Daten eliminiert, indem die linken beziehungsweise rechten Übergangspositionen in einen separaten Datenblock abgespeichert werden. Diese "Stempelwerte" werden in CT_Basis.CT_RohzeilenA ^ abgelegt. Links Oben beginnend, wird die beschreibende Kontur von den Bilddaten exakt ausgefüllt. Momentan ist die Dateigröße der CT-Daten zumeist von der jeweiligen Austastungstabelle abhängig.

3.2.3 Die relative HU-Wert Beschreibung

Es werden nur die ganzzahligen Röntgenwiderstandswerte des Computertomographen abgespeichert. Durch die Verwendung einer relativen Wertebeschreibung wird aus einer 10/11 Bitinformation eine zwischen 2 und 13/14 Bit lange Steuerinformation. Durch die Addition und Multiplikation von 2 wird der Wertebereich der Dateninformation verdoppelt.

Das Setzen des Absorptionswertes geschieht mit 3 Bit Kennung. Alle anderen Werte geben die geradzahlige Differenz zum nächsten Bildpunkt an. Die Bilddaten füllen exakt den Innenbereich der Bildaustastungstabelle und stellen einen kontinuierlichen Bitstrom dar. Es gibt keine Information bezüglich des Zeilenendes. Der Unterschied zwischen 10 und 11 Bit Dateninformation besteht ausschließlich in der Länge der absoluten Wertfestlegung.

Eine 10-Bit Wertfestlegung verfügt somit über eine Tiefe von 11 Bit und belegt innerhalb des Bitstroms 13 Datenbits.

Länge	Bitkodierung	Differenz	Bereich
2	00	0	0
6	01xxxx	$d = 2 * x + 2$	$2 \leq d \leq 32$
6	10xxxx	$d = - (2 * x + 2)$	$- 32 \leq d \leq - 2$
9	1100xxxxx	$d = 2 * x + 34$	$34 \leq d \leq 96$
9	1101xxxxx	$d = - (2 * x + 34)$	$- 96 \leq d \leq - 34$
1?	111xxxxxxxxxxxxx?	$HU = 2 * x$	$ d \geq 98$

3.2.4 Unkomprimierte Daten

Auch hierbei wird der Datenumfang durch eine Austastungstabelle verringert. Die absoluten HU-Werte werden in dem Datenformat Word abgelegt. Es stehen die höherwertigen Bits als Steuerinformation zur Verfügung, welche vom Programm nicht beachtet werden. Während der Konvertierung werden ggf. Datenblöcke nachgeladen.

3.3 Interne Datenverarbeitung

Der Speicherplatz für die Patienteninformationen wird als Erster bei der Initialisierung belegt. Die Patienteninformationen, 128 Einträge, werden während des Programmlaufs konstant im Speicher gehalten. Alle darauf folgenden Daten werden situationsabhängig verwaltet und liegen hintereinander im Speicher. Innerhalb des Arbeitsspeichers kann auf jeweils bis zu 256 Bildebenen, in komprimierter- und/oder Pixelform zugegriffen werden. Die Dateiablage entspricht der Speicherbelegung. Bei dem Einlesen der Bilddaten werden die jeweiligen Datenpositionen innerhalb des Datenarray in einem separaten Array des Datentypes `tCT_GloRec` gespeichert. Die Bildnummern indizieren somit die Bilddaten.

Es ist zu beachten, das bei der Konvertierung der Linienbeschreibung zur Pixelbeschreibung, die Pixeldaten auf dem Programmstack übergeben werden.

Der Programmaufbau ist momentan auf eine maximale interne Datenbreite für X-, Y-Koordinaten von 8 Bit gleich 0 bis 255 ausgelegt.

3.3.1 Beschreibung der Linienkodierung

Die maximale Zeilenbreite bei der Bildschirmdarstellung beträgt 256 Pixel was einem Datenbyte entspricht. Startwert einer Linie ist das Überschreiten des Schwellwertes, Endwert das anschließende Unterschreiten.

Durch das Entfernen der Leerzeilen innerhalb der Rohdatenkonvertierung werden nur die für die Darstellung benötigten Informationen verwaltet.

Für die Verwaltung der 16-Bit Daten gilt:

Zeilennummer
Anzahl der HU-Übergänge
n-tes Datenwort gibt die beiden X-Positionen des n-ten HU-Übergangs an.

Zeilennummer usw.

Neben der vorhandenen Datenreduktion hat die Linienbeschreibung den Vorteil, daß für die Darstellung keine Pixeldaten ausgewertet werden müssen, sondern nur horizontale Linien auf dem Bildschirm ausgegeben werden. Dadurch wird die Darstellungsgeschwindigkeit nebenbei merklich erhöht.

3.3.2 Aufbau der Pixeldaten

Alle Pixeldaten werden in dem Datenformat Word gehandhabt. Am Ende eines Ebenenausschnitts werden die Pixeldaten auf die Datenlänge von 16 Bit mit Nullen aufgefüllt.

Nur die Dateien der unscalierten Pixeldaten enthalten folgende Initialisierungsdaten:

```
1 .. 16 -tes Datenword
  Dateiinitialisierungsrecord vom Typ cCT_GloRec.
  RecMode = cCT_M_PixelIniRec
17 .. 32 -tes Datenword
  Initialisierungsrecord für die Ausschnitte vom Typ
  cCT_GloRec.
  RecMode = cCT_M_EbeneRec
33 .. 48 -tes Datenword
  Record mit den Implantatdaten vom Typ cCT_GloRec.
  RecMode = cCT_M_ToolsRec
49 -tes Datenword bis Dateiende
  Es folgen die Pixeldaten der Ebenenausschnitte.
```

3.3.3 Multiplizieren der Pixeldaten

Die Multiplikation erfolgt über ein direktes Vervielfältigen der Pixel unter Zuhilfenahme einer Datei. Hierbei werden die Ebenendaten ebenfalls vervielfältigt. Der Speicherbedarf der Pixeldaten muß mit dem Quadrat des Multiplikators multipliziert

werden. Durch die Pixelmultiplikation findet keine Datenmanipulation statt. Somit wächst mit dem Betrag des Multiplikators die optische Erkennbarkeit des Vergrößerungsrasters. Datendateien, welche scalierte Pixeldaten enthalten, werden vom Programm durch ihre Dateierweiterung erkannt und falls vorhanden benutzt. Die scalierten Daten werden durch die Steuerinformationen der unscalierten Daten verwaltet.

3.3.4 Berechnung der Schittebenen

Für die Schnittebenenberechnung werden die einzelnen Ebenen innerhalb der Prozedur CT_Graph. CalcSchnitt sukzessive durch Linien auf gesetzte CT-Pixeldaten überprüft. Die Überprüfung erfolgt in der Prozedur PixelAuswerten und erfordert die Betrachtung aller tangierter Pixel.

Fällt die Überprüfung positiv aus, so wird das entsprechende Pixel dargestellt, aber nicht zwischengespeichert. Alle folgenden Darstellungen beziehungsweise Animationen dürfen somit die Schnittebenenendarstellung nur reproduzierbar verändern, damit sie durch eine wiederholte XOR-Darstellung wieder rückgängig gemacht werden können.

Um den Datendurchsatz zu erhöhen wurde bei der Problemlösung bewußt auf eine Berechnung mit Variablen vom Datentyp Real verzichtet.

3.3.5 Implantatdarstellung

Die Berechnung und Darstellung des Implantats erfolgt in der Prozedure CT_Graph.ShowImp. Hierbei wird zuerst die Schnittebenenendarstellung und anschließend die Kauebenenendarstellung berechnet und mittels der Linienbefehle von Turbo Pascal, inclusive einer XOR-Flächenverknüpfung dargestellt. Alle notwendigen Berechnungen wurden auf zweidimensionale Koordinatentransformationen mit konstanten Sinuswerten beziehungsweise Punktwerten, oder eine Wurzelberechnung der quadrierten X-, Y-Positionen vereinfacht. Die Schnittpunktberechnung erfolgt durch das Einsetzen der Schnittebenenwerte in die Geradenfunktion der entsprechenden Eckpunkte des Implantatquaders.

3.4 Die Programmodule

Die Programmaufteilung entspricht den unterschiedlichen Aufgabenstellungen des Programms. Alle Programmelemente sind in abgeschlossene, funktionsgebundene Units unterteilt. Die Unit CT_Basis und CT_Utis bilden mit ihrem globalen Deklarations-, Prozedur- und Funktionsumfang die zentrale Grundlage der einzelnen Programmmodule. Alle anderen Units erfüllen unabhängige themenspezifische Aufgabenstellungen.

3.4.1 CT_Work

Im Hauptprogramm sind die Verteilungsprozeduren des Hauptmenüs, sowie die Dateiverwaltungsroutinen und die Patienten-, Datenverwaltung enthalten. Es beinhaltet und steuert somit alle anderen Programmmodule.

3.4.2 CT_Utis

Allgemeine, globale Routinen für die Tastatureingabe, Bildschirmausgabe, Stringbehandlung und die Programmsteuerung befinden sich in diesem Unit. CT_Utis muß allen anderen Programmmodulen zur Verfügung stehen.

3.4.3 CT_Basis

Verwaltungsgrundlagen von CTWork und der Patientendaten sind Inhalt des Units. Es gibt Utilities zur Selektion der Daten beziehungsweise Dateien, zur Umwandlung von Zahlen bzw. Dateibezeichnungen und die globale Heap- und Datenarrayverwaltung. Ansonsten sind hier alle globalen Typen-, Konstanten- und Variablendeklarationen des Programms vorhanden. Aus diesem Grunde befinden sich alle Steuervariablen von CTWork im Datensegment des Units. Mit Ausnahme von CT_Utis benötigen alle anderen Module die Unit.

Die meisten Steuerinformationen des Programms sind vom Typ des varianten Records tCT_GloRec. Der aktuelle Programmstatus wird in CT_Basis. CT_CurrVal des Datentypes tCT_WorkInfoRec gespeichert.

3.4.4 CT_Datei

Ausschließlich globale Programmelemente der Dateiverwaltung beziehungsweise Dateierzeugung sind innerhalb der Units vorhanden. Die procedure ReadCTDaten setzt beim ersten Lesen der Rohdaten den globalen Programmstatus zum Konvertieren der CT-Daten. Alle folgenden Programmoperationen sind hiervon abhängig. CT_Datei wird von CT_Conv, CT_Graph und CT_Work benötigt.

3.4.5 CT_Conv

Das Unit beinhaltet die komplette Verarbeitung der Rohdaten. Die verschiedenen Datenvariationen werden in diversen, zum Teil lokalen, Unterprogrammen über globale Variablen bearbeitet. Ausserhalb der Datenkonvertierung wird das Modul nicht verwendet.

3.4.6 CT_Graph

Innerhalb des Units werden die Bildschirmdarstellungen sowie die Verwaltung der Graphikdaten lokal behandelt. Die Graphikdaten werden über CT_Basis, CT_Datei und CT_Basic verwaltet und befinden sich größtenteils auf dem Heap.

3.4.7 CT_Calc

In diese Datei wurden alle für die Definition, Darstellung, Berechnung, Tastatureingabe innerhalb des Graphikmodi, und für die Implantatberechnungen benötigten Programmtexte ausgelagert. Sie sind somit nur lokale Programmelemente von der Prozedur DispEbene der Unit CT_Graph.

3.5 Die Speicherbelegung

Von dem Programm können auf dem Heap große Datenmengen linear, unabhängig von ihrer Datenstruktur, gehandhabt werden. Je nach Programmeinstellung werden auf dem Heap bis zu 384 KBytes Daten situationsabhängig verwaltet.

Der aktuelle Heapbeginn wird bei der Initialisierung in der Zeigervariablen CT_Basis. CT_HeapTopPtr abgespeichert und bei Verlassen des Programms wieder freigegeben. Momentanes Heapende wird in CT_Basis. CT_PatInfoPtr abgespeichert. Die Heapbelegung wird über die Variable CT_Basis. CT_CurrHeapStat vom Datentyp Word mittels der Funktion CT_Basic. HeapOK verwaltet. Die Zustandskonstanten beginnen mit dem Suffix cCT_H_ und sind im Unit CT_Basis deklariert.

Die Heapbelegung der unterschiedlichen programminternen Datenkonstellationen können folgender Auflistung entnommen werden.

Quelldatenkonvertierung:

128 Patienteninfos = 8 kBytes
Bildverzeichnis = 4 kBytes möglich.
RohdatenA mit $200 * 60 = 48$ kBytes.
CT_RohZeilenA mit 4 kBytes.
Verbleibender Speicher wird für die Bilddaten benutzt.

Ausschnittdefinition:

128 Patienteninfos = 8 kBytes
Bildverzeichnis = 4 kBytes zwingend.
Maximum an Speicher für die Liniendaten .

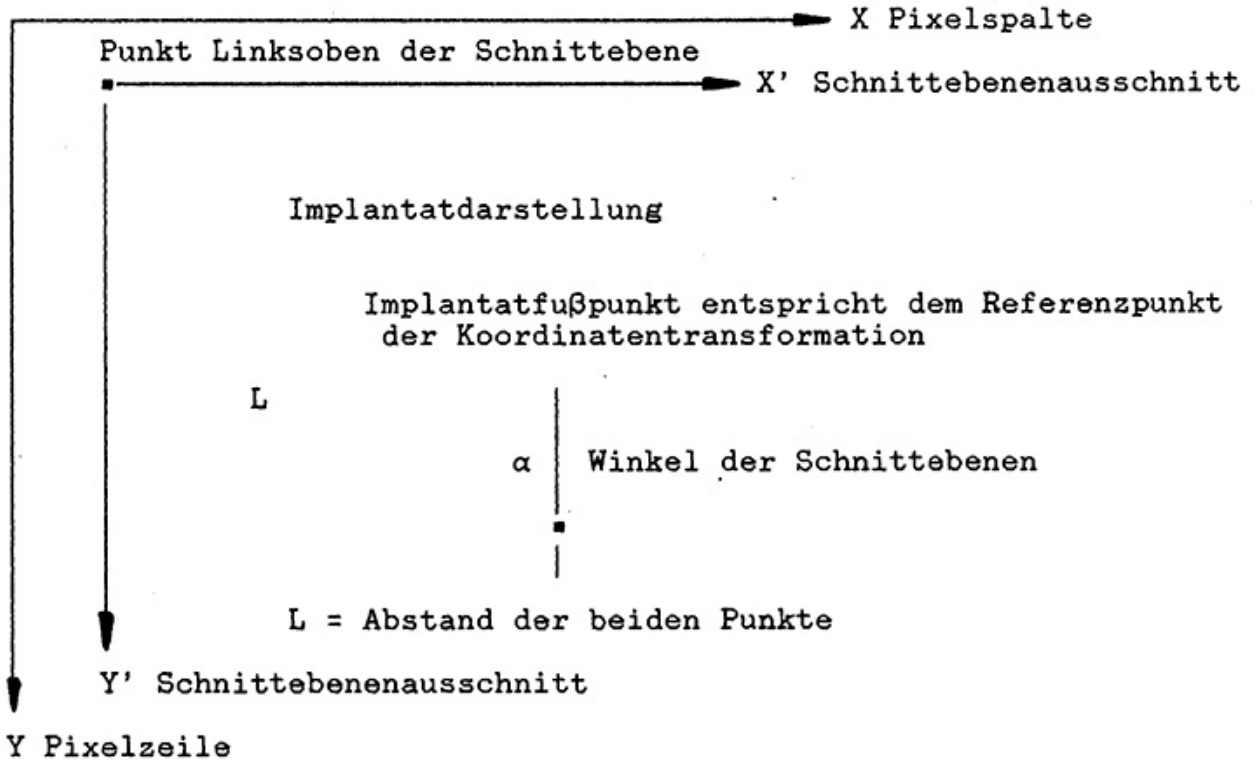
Implantatdarstellung:

128 Patienteninfos = 8 kBytes
Bildverzeichnis = 4 kBytes zwingend.
Maximum an Speicher für die Pixeldaten

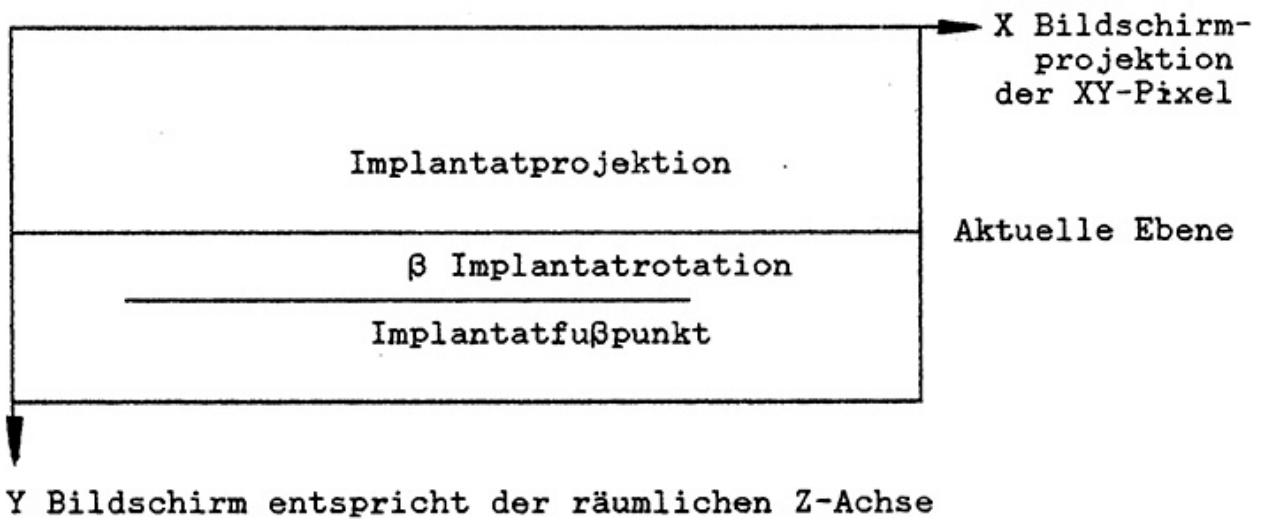
3.6 Mathematische Grundlagen zur Positionsberechnung

Alle Berechnungen erfolgen unter der Berücksichtigung eines kartesischen Koordinatensystems mit dem Nullpunkt an der linken, oberen Bildschirmcke. Zur Optimierung der Rechenzeiten wurden die Berechnungen, wenn möglich, auf einfache Ganzzahloperationen reduziert.

Für eine beliebige Kauebenenberechnung gilt:



Für die Schnittenberechnung gilt:

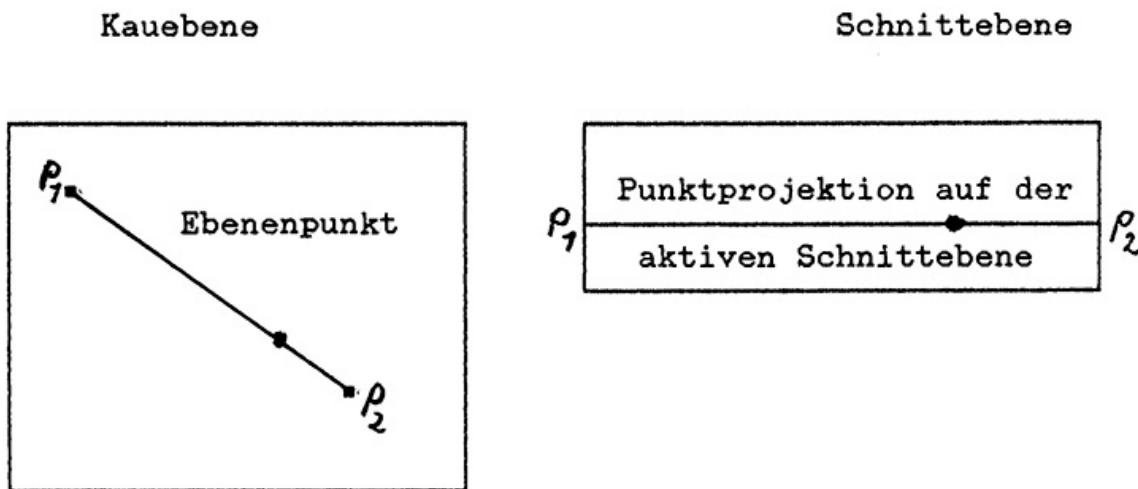


Bei den momentanen Auflösung der CT-Rohdaten entspricht ein unscaliertes Pixel einer Fläche von einem Quadratmillimeter beziehungsweise der Dicke einer Aufnahmenebene des Computertomographen. Programmintern sind nur die Sinus-Cosinuswerte vom Datentyp real, alle anderen Werte sind ganzzahlig. Das Rundungsverhalten ist auf eine Minimierung der Darstellungsfehler ausgelegt.

3.6.1 Schnittfläche

Grundlage der Schnittflächenberechnung ist die auf dem Bildschirm animierte Schnittebenenlinie. Die Schnittpunkte der animierten Ebene werden durch ein sequentielles Durchlaufen der Ebeneninformationen berechnet. Für die Pixelberechnung der Schnittlinie wird eine Modifikation des Bresenham-Linialgorithmus benutzt. Jedes Pixel der Schnittebene muß mit dem entsprechenden Datenbit der Ebeneninformationen überprüft werden. Die einzelnen Berechnungen sind der umfangreichen Pascaldokumentation zu entnehmen.

Die Abbildung eines Ebenenpunktes auf der Schnittebene führt zu nachfolgender Bildschirmdarstellung:



Die Festlegung der Eckwerte für die Schnittebenenprojektion wie Linksoben oder Rechtsunten ist situationsabhängig und wird vom Programm bei der Analyse der Schnittebene festgelegt und gewährleistet die gleichen Darstellungen für die Schnittpunkt- und die Implantatberechnung.

3.6.2 Implantatdarstellung

Die für die Implantatrotation benötigten Berechnungen der Punktkoordinaten, erfolgen bezüglich des Implantatfußpunktes nach der Transformationsgleichung:

$$y' = \cos \beta * y_p - \sin \beta * z_p$$

$$z' = \sin \beta * y_p + \cos \beta * z_p$$

wobei Beta den Winkel zwischen der Schnittebene und der Rotationsachse des Implantats wiedergibt.

Im Falle der Kauebenendarstellung erfolgt eine Überlagerung der Implantatrotation mit der Schnittebenenrotation

$$X' = \cos \alpha * x_p - \sin \alpha * y'$$

$$Y' = \sin \alpha * x_p + \cos \alpha * y'.$$

Hier bestimmt der Winkel Alpha die Rotation der Schnittebene bezüglich der Y-Achse. (vgl. Darstellungen [3.6](#))

Zur Bestimmung der räumlichen Schnittpunkte wird die Verbindungsgerade der Implantateckpunkte auf einen Durchstoß mit der jeweiligen Schnittebene überprüft. Der Durchstoßpunkt wird über das Einsetzen der

Ebenendaten in die Funktionsgleichung einer Geraden z.B.:

$$y = m * x + b$$

berechnet. Somit werden mit den bekannten Ebenenkoordinaten die Durchgangspunkte bestimmt. Auch hierbei wird die räumliche Berechnung durch eine Überlagerung der aktuellen Kauebenenposition mit der Schnittebenenrotation durchgeführt. Für die Schnittebenendarstellung findet eine Projektionen der Punkte analog der Schnittflächendarstellung statt.

4 Diskussion

Unter Berücksichtigung der anschließenden Fehlerbetrachtung kann der Anwender von einer hohen Übereinstimmung der Bildschirmdarstellung mit der Realität ausgehen.

Der Schwellwert für die Datenkonvertierung definiert eindeutig den Grenzwert zwischen Knochen und Gewebe. Ein fehlerhafter Schwellwert führt zu einer Verschiebung der Knochenkontur und stellt ein hohes Interpretationsrisiko dar !

Die eigentliche Datenkonvertierung ist, unter Annahme exakter Daten des Computertomographen, fehlerfrei.

Ebenen- und Ausschnittdarstellungen basieren auf der Übergangskontur und sind somit ebenfalls fehlerfrei.

Bei der Scalierung wird durch die Pixelmultiplikation keine Dateninterpretation durchgeführt. Die vorhandene datenabhängige "Treppendarstellung" bei der Vergrößerung muß somit vom Anwender selbst interpretiert werden. Es handelt sich hierbei nicht um eine Datenverfälschung des Programms.

Bei den Schnittebenen- und Implantatliniendarstellungen muß von einem Abbildungsfehler von plus- minus einem Pixel ausgegangen werden. Abbildungsfehler sind weitestgehend von der Skalierung unabhängig, da sich alle Rechenoperationen interaktiv auf die skalierten Pixeldaten beziehen.

Falls Implantatpunkte den Ausschnittsbereich über- beziehungsweise unterschreiten, kommt es innerhalb der Schnittebenendarstellung zu Programmkorrekturen, die die Darstellung verfälschen können.

Im Allgemeinen kann man von einer verzerrungsfreien Bildschirmdarstellung ausgehen, da die handelsüblichen Graphikdarstellungssysteme für den PC über einen Aspectratio von 1 zu 1 verfügen. Dies besagt, daß das Verhältnis von X- und Y-Ausdehnung eines Pixels "eins" beträgt. Proportionalität des Implantats zur Knochenkontur gilt für eine Kubuslänge von einem Millimeter pro HU-Wertinformation.

Die Darstellungsgröße ist abhängig von dem Scalierungsfaktor und der Bildschirmgröße. Das Programm benötigt immer eine Graphikauflösung von 640 mal 480 Pixel.

Ansonsten lassen sich die Darstellungen sehr gut durch das Vergleichen der Implantatpositionen von Kau- und Schnittebenendarstellung interpretieren, beziehungsweise kontrollieren.

Der Abbildungsfehler kann somit auf plus- minus zwei Bildschirmpixel angenommen werden. Bei einem Pixelmultiplikator von zwei entspricht dies plus- minus einem Millimeter menschlichen Gewebes.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde erstmals die Möglichkeit geschaffen, auf einem handelsüblichen Personal Computer die Daten eines Computertomographen zu verarbeiten. Auf Grund seiner Funktionsvielfalt ermöglicht der momentane Programmstand eine umfangreiche Unterstützung in der Auswertung der Daten eines Computertomographen.

Die notwendigen Voraussetzungen für eine sinnvolle praktische Anwendung beziehungsweise Weiterentwicklung eines Programms wie Dokumentation, einheitliche Benutzeroberfläche, Datensicherheit und Ablaufstabilität werden von der vorhandenen Ausarbeitung weitestgehend erfüllt.

Zur Lösung der Aufgabenstellung mußten folgende Themenstellungen bearbeitet werden:

Benutzerschnittstelle

Hier wurde eine einheitliche Tastatureingabe mit entsprechenden Bildschirmmasken benötigt. Durch die vorhandene Lösung kann die Programmsteuerung schnell erlernt und durchgeführt werden.

Datenkonvertierung

Die Daten der Computertomographen mußten in Abhängigkeit ihres Datentypes in eine unverfälschte, datenreduzierte Form überführt werden, welche eine schnelle Graphikdarstellung aus dem Speicher ermöglicht. Durch die implementierten Programmautomatismen kann eine fehlerfreie Datenkonvertierung gewährleistet werden.

Speicherverwaltung

Für die Handhabung der Daten wurde eine Speicherverwaltung benötigt, die es ermöglicht, unterschiedliche Datenformate effektiv und schnell im Speicher zu handhaben. Hierbei wird ein Minimum des Speichers durch interne Verwaltungsinformationen belegt.

Dateiverwaltung

Automatische Datenselektion und umfangreiche Kontrollfunktionen entsprechen den Bedürfnissen des Anwenders. Diese Verwaltungsbedürfnisse werden auf komfortable Art und Weise vom Programm unterstützt.

Grafische Darstellungen und Animation

Mit der Darstellung der CT-Daten und der Bildschirmanimation kann der Anwender innerhalb der Bildebenen blättern und Ausschnitte definieren. Inclusive Pixelscalierung und Schnittebenenanimation wurden somit diverse programmtechnische Lösungen innerhalb der graphischen Anwendung erarbeitet.

Schnittberechnung und Implantatdarstellung

Durch die Berechnung der Schnittdarstellung und die Projektion des Implantats innerhalb der Ebenendarstellungen besteht die Möglichkeit eine Implantatposition vor einem operativen Eingriff exakt vorherzubestimmen. Innerhalb der Problemlösung werden nur bei der Schnittebenenberechnung Pixeldaten überprüft, ansonsten berechnet das Programm nur Bildschirmpositionen.

6 **Literaturhinweise**

Die Handbücher zu Turbo Pascal
Heimsoeth & Borland 8000 München 1987

R. Zaks: Einführung in Pascal
Sybex-Verlag Düsseldorf 1984

N.: Algorithmen und Datenstrukturen
B.G. Teubner Stuttgart 1983

E. Hartmann: Computerunterstützte Darstellende Geometrie
B.G. Teubner Stuttgart 1988

H.: Graphische Datenverarbeitung
Hanser Studienbücher 1989

Algebra und Geometrie für Ingenieure
Verlag Harri Deutsch • Thun und Frankfurt/Main 1984

Brauch/Dreyer/Haacke: Mathematik für Ingenieure 1984
B.G. Teubner Stuttgart

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. Schneider, Mitarbeiter des
Rogowski Instituts Aachen. Durch ihn habe ich die
Grundlageninformationen über die Dateibeschreibung der
Computertomographen, sowie diverse Musterdateien erhalten.