

Bildverarbeitung

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff

Vorlesung an der Charité - Universitätsmedizin Berlin

Überblick Bildverarbeitung

2

- Definition und Aufbau von digitalen Bildern
- Radiologische Bilderzeugung
- Bildbearbeitung / Filterung / Bildverbesserung
- Bildanalyse
- 3D-Bildverarbeitung
- Klinische Anwendungen
- Lehr- und Lernsoftware
- Zusammenfassung

Prof. Dr. Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Inhalt und Ziele der Veranstaltung

3

Wenn Sie diese Vorlesung absolviert haben, dann kennen Sie:

- Aufbau und Größe digitaler Bilder
- mehrere Verfahren der radiologischen Bilderzeugung
- unterschiedliche Komplexitätsgrade der Anwendungsbereiche
- klinische Anwendungen in Diagnostik und Therapie
- eine Anwendung in der Lehre

Prof. Dr. Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bilderzeugung

4

- Digitalkamera
- Desktop Publishing
- Elektronische Medien
- Videospiele
- **Radiologie**

Prof. Dr. Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildübertragung

5

- Transport von Bildern über Kabel oder Satellit
- Bildkompression
- **Telemedizin**

Prof. Dr. Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

6

- Rauschunterdrückung
- Verwackeln
- Veränderung aus ästhetischer Sicht
- Kontrastverdeutlichung
- **Registrierung**

Prof. Dr. Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildanalyse

7

- Erkennung von Schriftzeichen
- Überprüfung der Maßhaltigkeit von Werkstücken
- Vollständigkeitskontrolle bestückter Leiterplatten
- Kontrolle der Garnierung von Keksen
- Rückgabe von Pfandflaschen
- Analyse von Zellproben
- Ermittlung von Umweltschäden aus Luftbildern
- Steuerung von Robotern
- **Segmentierung**

Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Szenenanalyse

8

- explorative Roboter (Marsmission)
- führerlose PKW oder Flugzeuge
- **Trackersysteme in der Roboterschirurgie**

Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Digitale Bilder

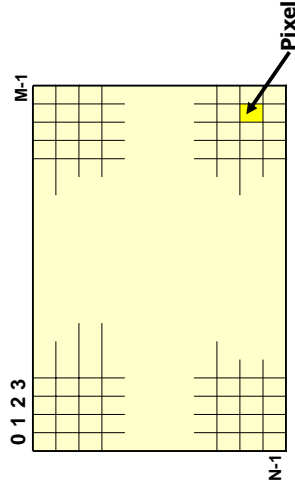
9

- Matrix mit **N** Zeilen und **M** Spalten
- Oft (aber nicht notwendigerweise) quadratisch $N=M$
- Gängige Werte
 - N = M = 128, 256, 512, 1024** (Medizin)
 - N = 512, 768** (Bildschirmformate)
 - M = 768, 1024**
- Elemente der Matrix heißen **Pixel** (picture element)
- Werte der Matrix 0 (schwarz) bis 255 (weiß) (1 Byte = 2^8)
- Wert eines Pixels heißt **Grauwert**
- Binärbild = Werte der Pixel entweder 0 oder 1

Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Aufbau eines digitalen Bildes

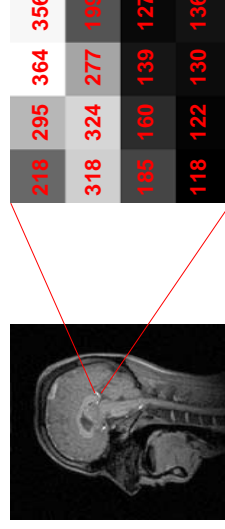
10



Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Aufbau eines digitalen Bildes

11

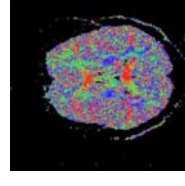


Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Digitale Bilder

12

- Falschfarbendarstellung



- Echtfarbendarstellung



Quelle: daz, Heidelberg

Prof. Dr. T. Tolzoff - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Digitale Bilder

13

- Bildgröße bei
 $N = M = 512$ und 256 Grauwerten: 256 KByte
(100 maschinengeschriebene A4-Seiten)
- 1 Minute bei 10 Bildern pro Sekunde > 100 Mbyte
(60.000 A4-Seiten = 3m Stapel!)

Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

14

- Röntgen
- Computertomographie (CT)
- Magnetresonanztomographie (MRT)
- Angiographie
- Szintigraphie, SPECT, PET
- Sonographie

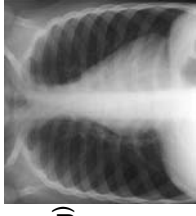
Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

15

Konventionelle Röntgendiagnostik

- **Weichstrahltechnik**
(20 – 40 kV Röhrenspannung)
- **Hartstrahltechnik**
(100 – 150 kV Röhrenspannung)
- **Digitale Radiographie**
(Speicherfolien und Laserscanner)



Quelle: Charré, Kernenablog, Prof. B. Söber

Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

16

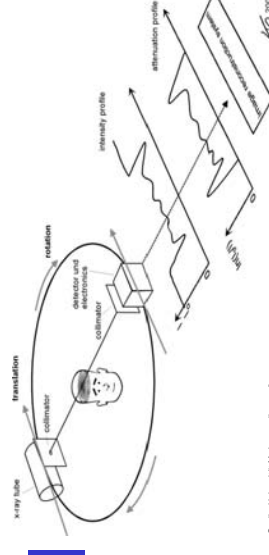
- **Computertomographie**
- Kreisende Röntgenröhre
- Schichtbildverfahren
- Dichteinformation in Hounsfield-Units (HU)
Wasser = 0
Luft = - 1000

Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

17

Computertomographie



Quelle: Universität Maastricht, online-media

Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

18

Computertomographie

- Fensterung (Breite und Mittelpunkt)
Weichteile $350/50 \triangleq 50 \pm 175$
Knochen $2000/500 \triangleq 500 \pm 1000$
- Hyperdens (Erhöhung der Dichte)
- Hypodens (Verminderung der Dichte)
- Nativaufnahme (ohne Kontrastmittel)

Prof. Dr. T. Todt - Medizinische Informatik

Radiologische Bilderzeugung

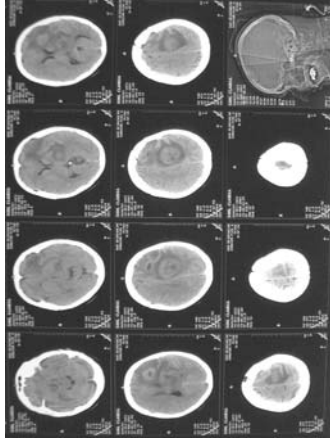
19

- Schnittführungen **axial** (primär)
sagittal (sekundär)
koronar (sekundär)
- Spiral CT
- 16-Zeiler (kreisende Abtastung)
(parallele Bilderzeugung von 16 Schichten)

Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

20



Quelle: Claude Kohr

Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

21

Magnetresonanztomographie

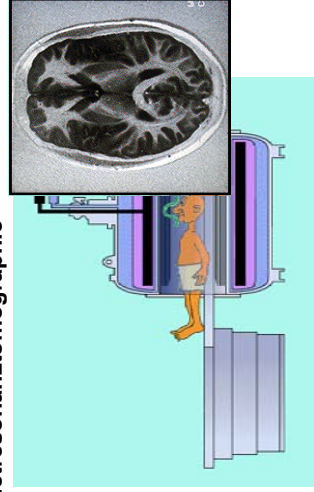
- Physikalisches Prinzip
 - Chemische Umgebung von Protonen
 - Einstrahlung eines Hochfrequenzsignals
 - Relaxationsprozesse
 - Abgabe von zuvor eingestrahelter Energie

Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

22

Magnetresonanztomographie



Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

23

Magnetresonanztomographie

- Bildkontraste
 - Spindichte
 - Relaxationszeiten T_1 , T_2
 - Diffusion
 - Perfusion
 - Elastizität

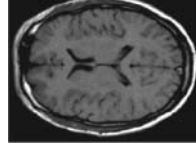
Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

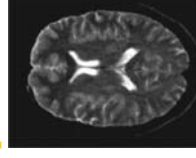
24

Magnetresonanztomographie

- Bildkontraste
 - Relaxationszeiten T_1 , T_2



T_1



T_2

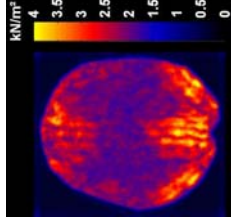
Prof. Dr. T. Toldorf - Medizinische Informatik | GEMBITT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

25

Magnetresonanztomographie

- Bildkontraste



Diffusion

Elastizität

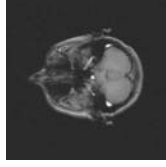
Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

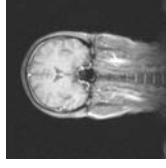
26

Magnetresonanztomographie

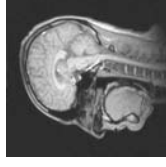
- Schnittführung



axial



koronar



sagittal

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

27

Angiographie

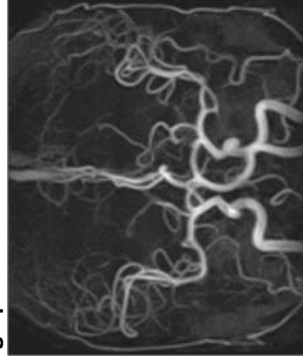
- Kontrastmittelgabe
- Gefäßdarstellung
- Röntgenaufnahme oder MR
- Digitale Subtraktions – Angiographie (DSA)
 - Differenzbilder mit/ohne Kontrastmittel
 - Abbildung von Gefäßstrukturen ohne Hintergrund

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

28

MR-Angiographie



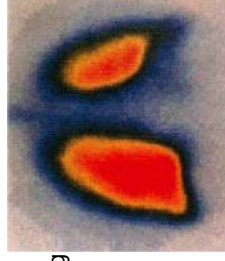
Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Radiologische Bilderzeugung

29

Szintigraphie

- Radioaktive Substanzen (Gamma-Strahler)
- z.B. Technetium ⁹⁹Tc
- Bild der örtlichen Verteilung
- Lokalisation (Morphologie)
- Biologische Funktion



Quelle: Universität Köln/Univ. Prof. Kompert

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

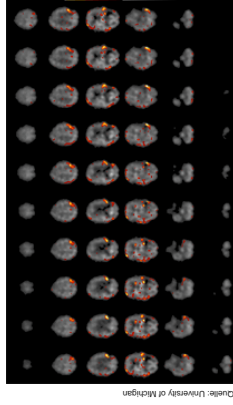
Radiologische Bilderzeugung

30

SPECT

(Single-Photon-Emissions-Computer-Tomographie)

- Rotierender Gamma-Strahler
- Schichtbildverfahren (wie CT)



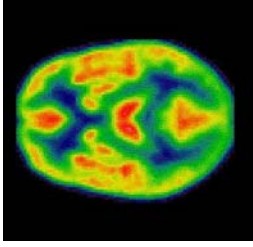
Quelle: University of Michigan

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

PET

(Positron-Emissions-Computer-Tomographie)

- Applikation von Radionukleotiden (z.B. ^{11}C)
- Kurze Halbwertszeiten
- Registrierung von Photonenabsorption



Quelle: CoppenhagenUniversity Hospital

Sonographie

- Absorption von Ultraschall durch das Gewebe
- Reflexion und Laufzeit der Impulse
- Signalwandlung mit Piezokristallen
- **A-Scan** (Amplituden-Scan)
 - Entfernung der reflektierenden Grenzzone vom Schallkopf
- **B-Scan** (Brightness-Scan)
 - Zweidimensionale Darstellung der Echos durch schichtweise Abtastung

Sonographie

- **Doppler-Sono**
 - Richtung und Geschwindigkeit
 - Falschfarbendarstellung
- **Time-Motion-Sono**
 - Zeitliche Synchronisation durch EKG-Triggerung
- **3D-Scan**
 - Dreidimensionale Messung des Echomusters durch Rotationsscanner

Sonographie



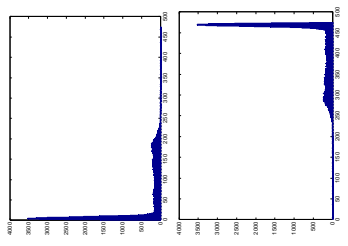
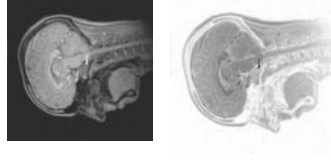
A = Vorderes Linsenecho
 B = Hinteres Linsenecho
 C = Netzhautecho



Quelle: Homographie der umgeborenen Kinder

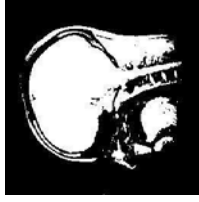


Quelle: Schugart/Informatik Regenbogen e. V.



Bildbearbeitung

37



Binärbild



Konturbild

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

38

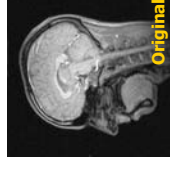
lokale Operatoren

- **Grauwertglättung**
 - Median
 - Mittelwert
- **Grauwertdifferenzen**
 - Laplace
 - Konturextraktion

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

39



Original

Median



4x4



8x8

Mittelwert



4x4



8x8

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

40

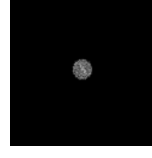
Globale Operatoren

- **Fourier-Transformation (2DFT)**
 - Ortsbereich
 - Frequenzbereich

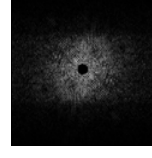
Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

42



Original



Hochpaß



starker Tiefpaß

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik  CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildanalyse

43

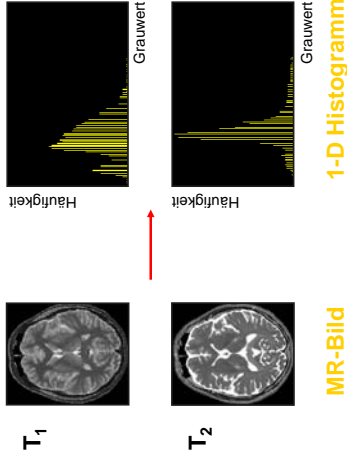
Segmentierungsverfahren

- Bereichssegmentierung
- Schwellwertoperatoren
- Kontursegmentierung
- Hough-Transformation
- Morphologische Bildverarbeitung

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Histogrammerzeugung

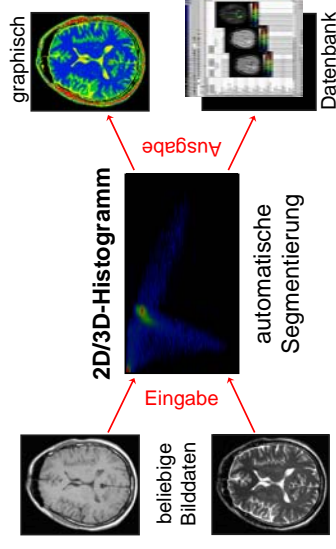
44



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Histogrammbasierte Segmentierung

45

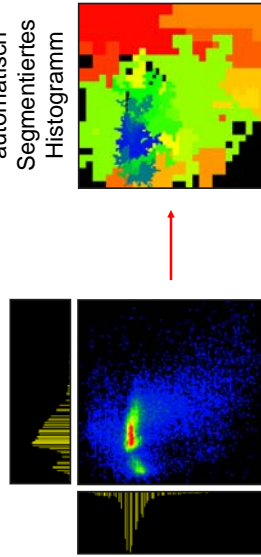


Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Segmentierung

46

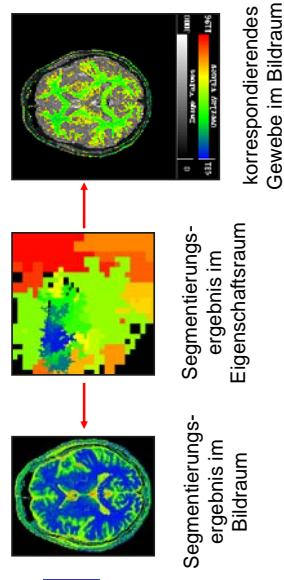
automatisch Segmentiertes Histogramm



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Visualisierung der Segmentierungsergebnisse

47

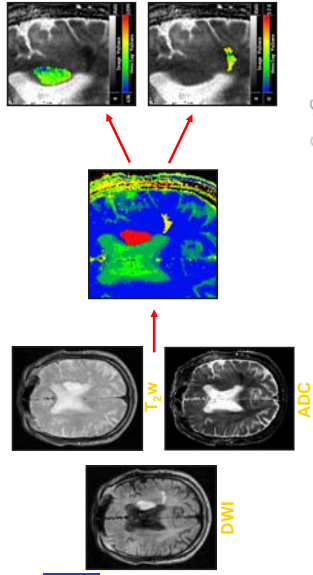


Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Anwendung von Segmentierungsverfahren

48

Unterscheidung akut / chronische Hirninfarkte



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ GEMHIT CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Texturanalyse

- Energie: $M_1 = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{c=0}^{C-1} f(r,c)^2$
- Kontrast: $M_2 = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{c=0}^{C-1} (r-c)^2 \cdot f(r,c)^2$
- Entropie: $M_3 = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{c=0}^{C-1} f(r,c) \cdot \log(f(r,c))$
- Homogenität: $M_4 = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{c=0}^{C-1} \frac{f(r,c)}{1 + |r-c|}$

Mustererkennung

- Zuordnung von Segmenten zu Klassen

Wissensbasierte Bildverarbeitung

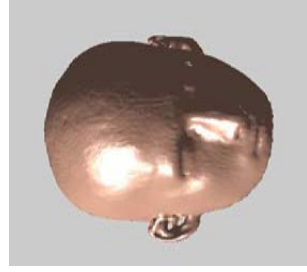
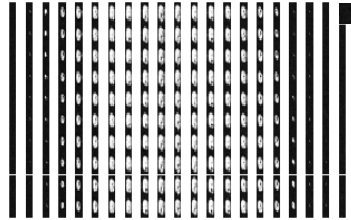
- Automatische Interpretation von Bildern

Bildsequenzanalyse

- Verfolgung von Objekten in Bildfolgen

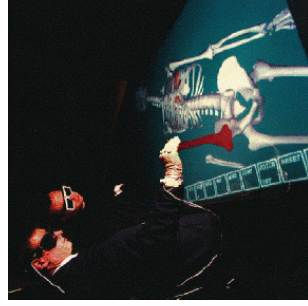
3D-Bildverarbeitung

- Dreidimensionale Rekonstruktion aus ebenen Schichten



3D-Bildverarbeitung

- Virtuelle Realität (VR)



Virtuelle Realität (VR)

- Bedeutung der Sinne für VR-Systeme

Wahrnehmungssinn	Bandbreite in %	Zeitl. Auflösung in Hz	Kapazität in Bits/s	Einsatz in VR-Systemen
Sehen	70	20 - 55	2 · 10 ⁸	✓
Hören u. Gleichgewicht	20	20 - 16.000	4 · 10 ⁴	✓
Riechen	5	-	1 · 10 ²	-
Tasten	4	~ 1.000	1 · 10 ⁵	✓
Schmecken	1	-	1 · 10 ¹	-

Bildverarbeitung

55

3D-Bildverarbeitung

- Stereobilderzeugung
 - rot – grün Bilddarstellung
 - Shutterdarstellung
- 3D-Display



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

56

Anwendungen

- Knochenimplantate
- Intraoperative Navigation

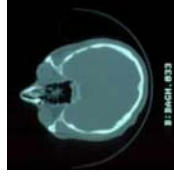
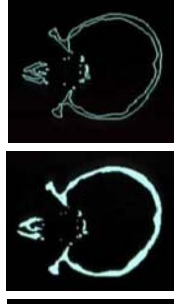
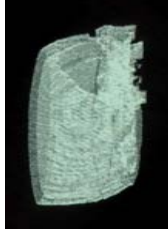
Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

57

Knochenimplantate

- 3D - Rekonstruktion



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

58

Knochenimplantate

- 3D - Rekonstruktion



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

59

Knochenimplantate

- Klinischer Fall



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

60

Intraoperative Navigation

- Definition von Landmarken



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

59

Knochenimplantate

- Klinischer Fall



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

60

Intraoperative Navigation

- Definition von Landmarken



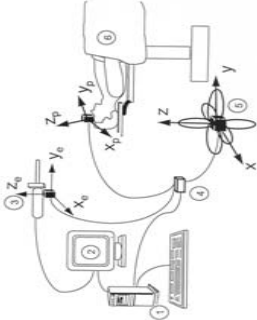
Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik @ GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

61

Intraoperative Navigation

- Elektromagnetischer 3D-Sensor



- 1 PC
- 2 Bildschirm
- 3 Empfänger
- 4 Interface
- 5 Signalquelle
- 6 Patient

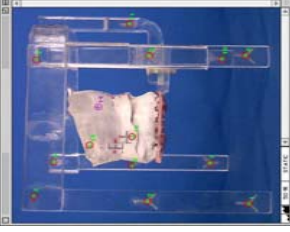
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

62

Intraoperative Navigation

- Kalibrierung des Systems



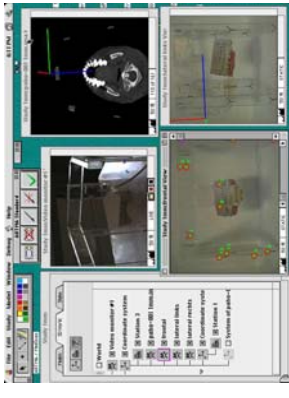
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

63

Intraoperative Navigation

- Präoperative Planungsphase



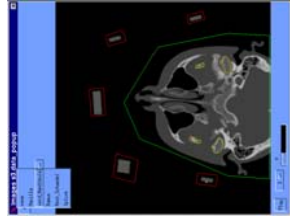
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

64

Intraoperative Navigation

- Segmentierung



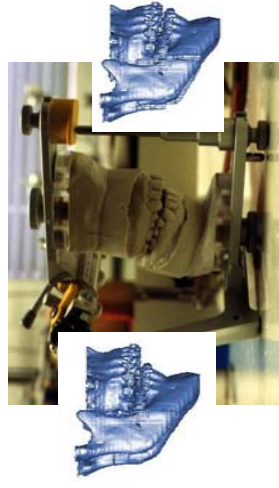
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildbearbeitung

65

Intraoperative Navigation

- Simulation im Artikulator



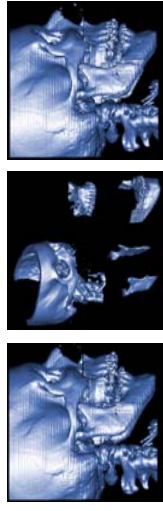
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

66

Intraoperative Navigation

- Simulation am Rechner



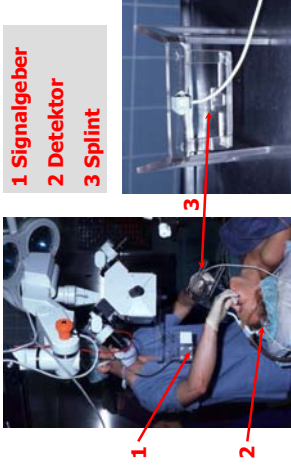
Prof. Dr. Toldorf - Medizinische Informatik @ GEMBITT @ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

67

Intraoperative Navigation

- Lage der 3D-Sensoren



- 1 Signalleiter
- 2 Detektor
- 3 Splint

Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik | GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Klinische Anwendungen

68

Intraoperative Navigation

- Überlagerung mit der Planung



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik | GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Lehr- und Lernsoftware

69

Voxelman



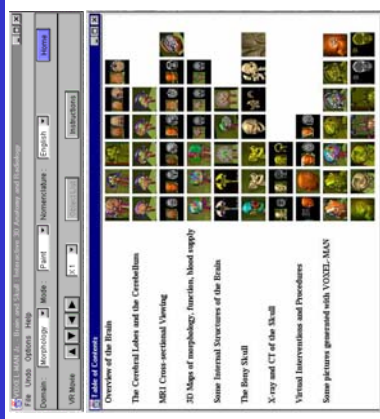
im CIP-Pool des CBF verfügbar

Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik | GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Lehr- und Lernsoftware

70

Voxelman

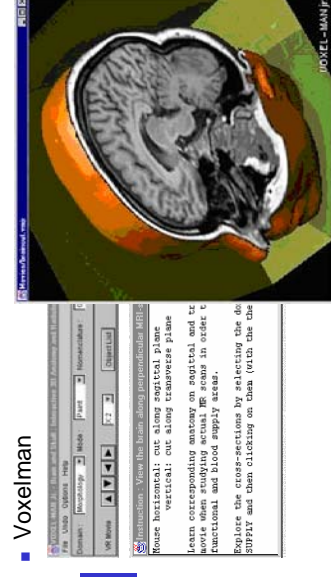


Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik | GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

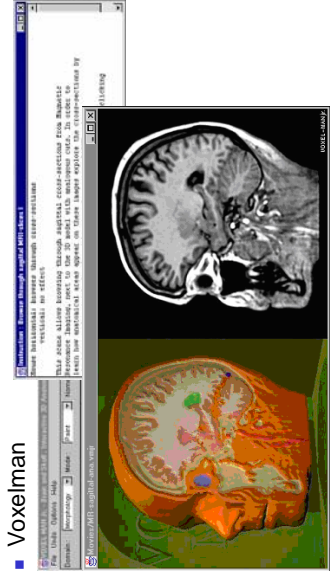
Lehr- und Lernsoftware

72

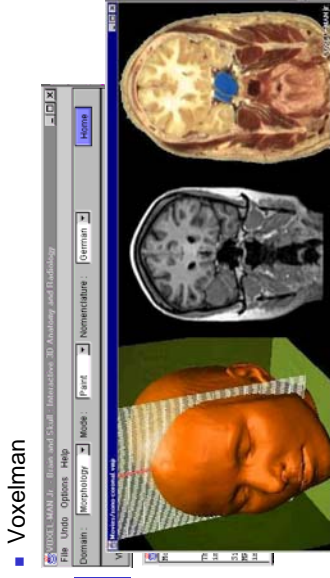
Voxelman



Prof. Dr. Tösdorff - Medizinische Informatik | GEMHIT | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ FU-BERLIN



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ FU-BERLIN



Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ FU-BERLIN

- **Zusammenfassung**
- es gibt sehr unterschiedliche Komplexitätsklassen der digitalen Bildverarbeitung
- die meisten radiologischen Bildklassen sind primär digital
- es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Bildkontraste oftmals in der gleichen Schicht
- die Bildverarbeitung verbessert häufig den visuellen Eindruck bei gleichzeitiger Reduktion des Informationsgehaltes
- es gibt zahlreiche Anwendungen digitaler Bildverarbeitung in Diagnostik, Therapie und Lehre
- hohes Datenaufkommen

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ FU-BERLIN

Die Folien der gesamten Vorlesung sind erhältlich über:

<http://www.medicin.fu-berlin.de/medinf/>

Prof. Dr. Tisdorf - Medizinische Informatik @ FU-BERLIN