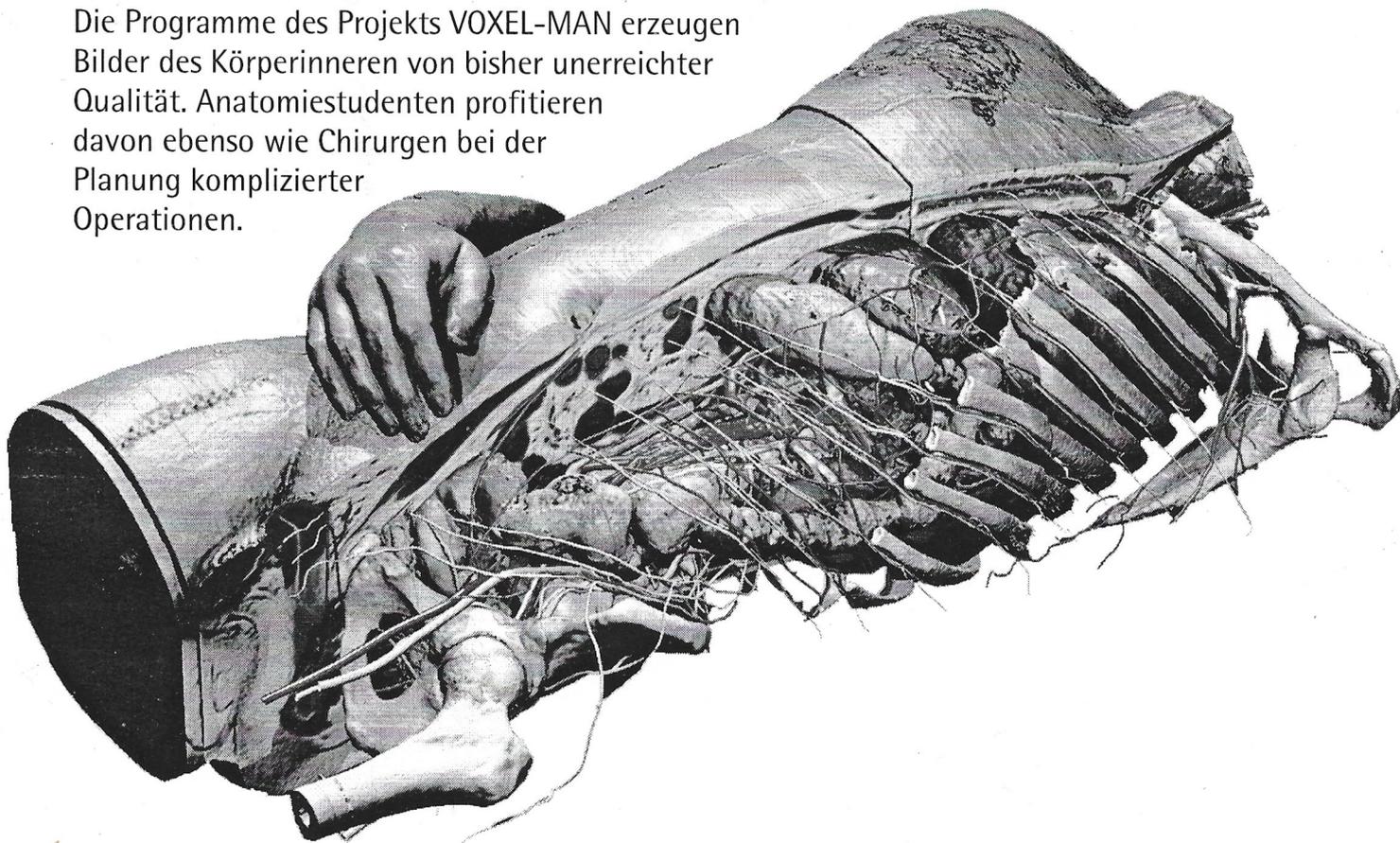


Vom Anatomie-Atlas zum virtuellen Körper

Die Programme des Projekts VOXEL-MAN erzeugen Bilder des Körperinneren von bisher unerreichter Qualität. Anatomiestudenten profitieren davon ebenso wie Chirurgen bei der Planung komplizierter Operationen.



Von Karl Heinz Höhne



KARL HEINZ HÖHNE hat in Würzburg Physik studiert und 1967 in Hamburg promoviert. Bis 1978 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Elektronen-Synchrotron (Desy) in Hamburg. Heute ist er Professor für Medizinische Informatik und Geschäftsführender Direktor der Abteilung Informatik in der Medizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Mitglieder der Arbeitsgruppe zum Projekt VOXEL-MAN sind außer Höhne selbst die Informatiker Andreas Petersik, Bernhard Pflesser, Andreas Pommert, Martin Riemer, Rainer Schubert und Ulf Tiede sowie die Studenten Sebastian Gehrman und Stefan Noster. Medizinische Partner sind der Kinderradiologe Ernst Richter und der Anatom Udo Schumacher.

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

September 2001, Seiten 46 – 57

Vom Anatomie-Atlas

Die Programme des Projekts VOXEL-MAN erzeugen Bilder des Körperinneren von bisher unerreichter Qualität. Anatomiestudenten profitieren davon ebenso wie Chirurgen bei der Planung komplizierter Operationen.

Von Karl Heinz Höhne

Heutzutage wäre es undenkbar, einen Piloten an den Steuerknüppel eines Passagierflugzeuges zu lassen, ohne dass er in virtuellen Flügen alle erdenklichen Situationen geübt hätte. Leider steht Ärzten für ihre Tätigkeit ein solches Hilfsmittel nicht zur Verfügung. Dazu müsste nämlich in einem Rechner ein Modell gespeichert sein, das sowohl die Details der Erscheinungsform als auch einen Bau- und Funktionsplan des Menschen enthält. Ein solches generelles Mo-

dell gibt es bisher nicht; es müsste um Größenordnungen komplizierter sein als bei einem Jumbo-Jet.

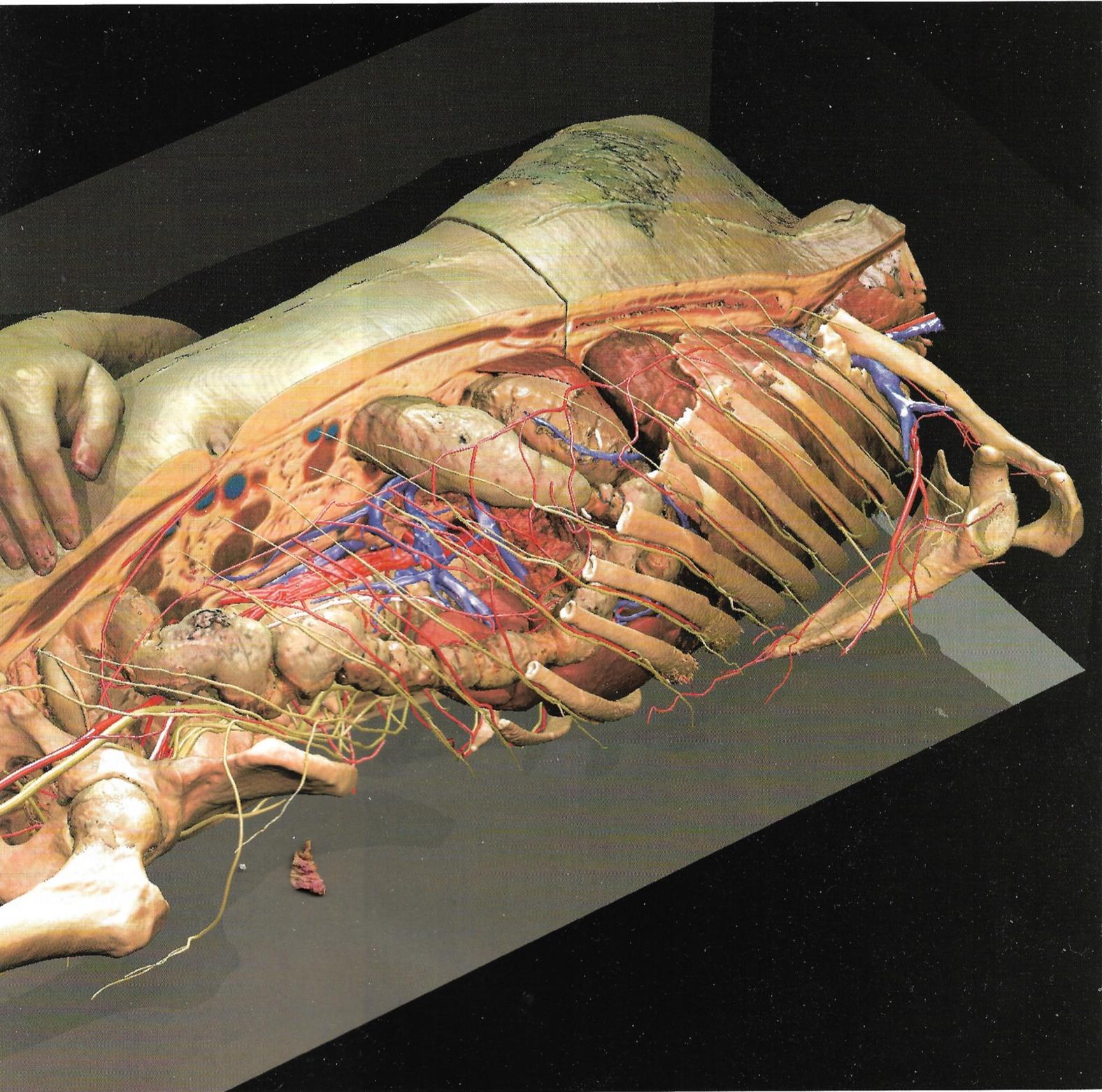
Unsere Arbeitsgruppe beschäftigt sich seit Jahren damit, diesem großen Ziel schrittweise näher zu kommen. Über ein Modell des Kopfes habe ich in dieser Zeitschrift (April 1999, S. 54) ausführlich berichtet. Inzwischen ist ein Modell des Rumpfes entstanden, das mit mehr als 650 einzelnen dreidimensionalen anatomischen Strukturen, von inneren Organen bis hinunter zu einzelnen Nerven und Blutgefäßen, alle bisherigen Modelle an Realität und Detailtreue übertrifft. ▶

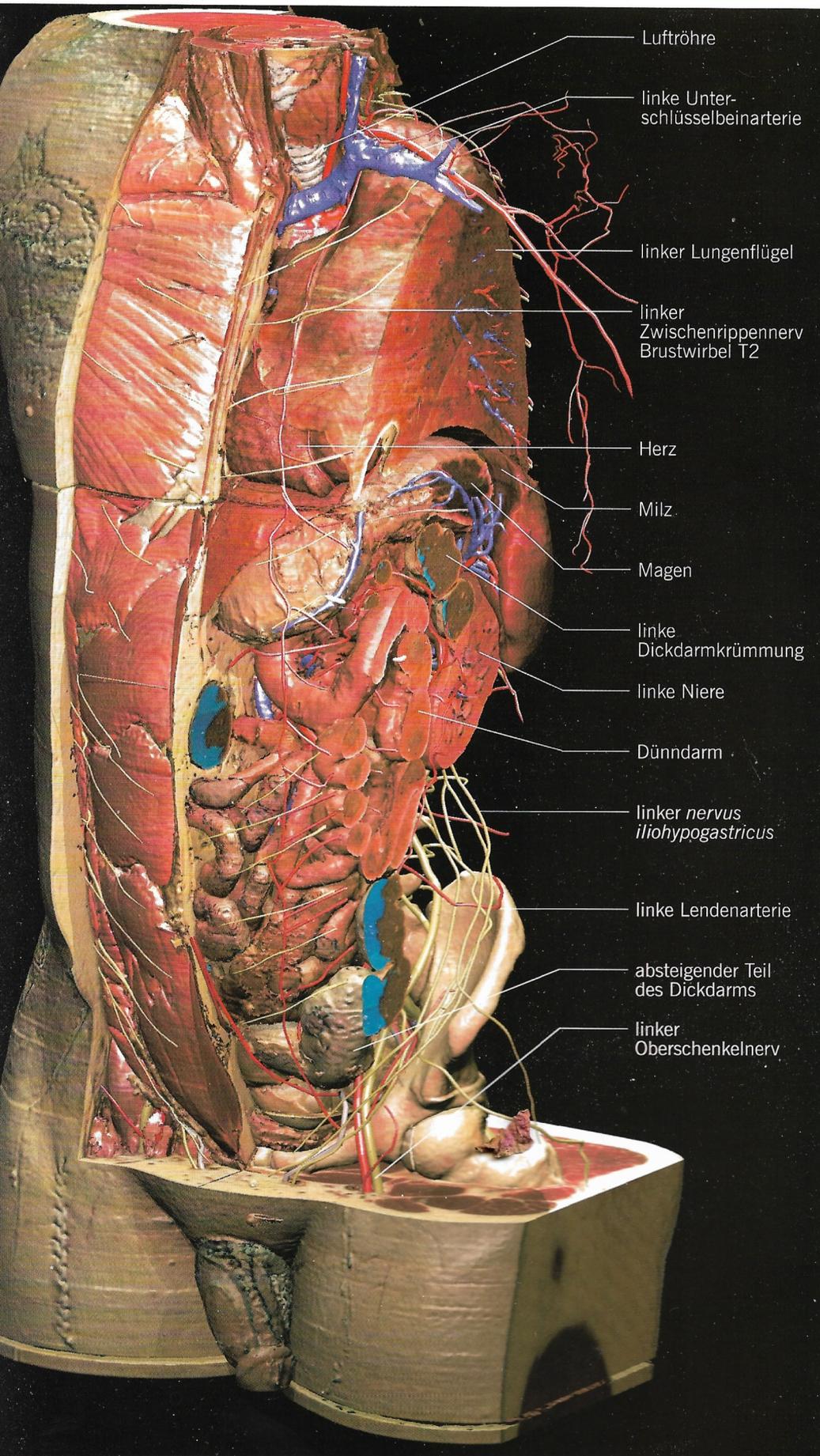
(Fortsetzung Seite 57)

Die Ausgangsdaten von VOXEL-MAN stammen aus dem Projekt „Visible Human“. Unter der Federführung der amerikanischen National Library of Medicine wurden von einer männlichen Leiche 1871 fotografische Querschnittsbilder angefertigt. Aus 770 dieser Bilder haben wir ein detailliertes Modell des Torsos erzeugt. Hauptproblem war die Segmentierung, also die Zuordnung jedes Bildbereichs zu einem der mehr als 650 anatomischen Objekte. Die größeren Objekte, die in dem Bild mit jeweils einer eigenen Farbe erscheinen, wurden von Experten „elektronisch präpariert“. Hierbei schlägt ein Programm auf Grund der Original-Farbwerte vor, welchem Objekt jedes der mehr als 150 Millionen Volumenelemente (Voxel) zuzuordnen ist. Da Farbwerte verschiedener Objekte einander oft sehr ähnlich sind, ist das Verfahren fehlerträchtig; der Experte muss daher häufig vom Vorschlag des Programms abweichen. Das Ergebnis der Prozedur wird durch eine Kennung („Objektmarke“) an jedem Voxel festgehalten. Kleine Objekte wie Nerven und kleine Blutgefäße zeigt das Original-Datenmaterial nur bruchstückhaft; sie wurden anhand dieser Fragmente als Röhren rekonstruiert. Der realistische Eindruck kommt durch ein von uns entwickeltes Visualisierungsverfahren zu Stande, das die genaue Lage der Oberflächen aufgrund der Objektmarken berechnet. Die so erreichte Auflösung ist feiner als das durch die Voxelgröße vorgegebene Raster. Die Entwicklung der (auch für klinische Anwendungen genutzten) Verfahren und die Segmentation haben sich über fünf Jahre erstreckt.



zum virtuellen Körper

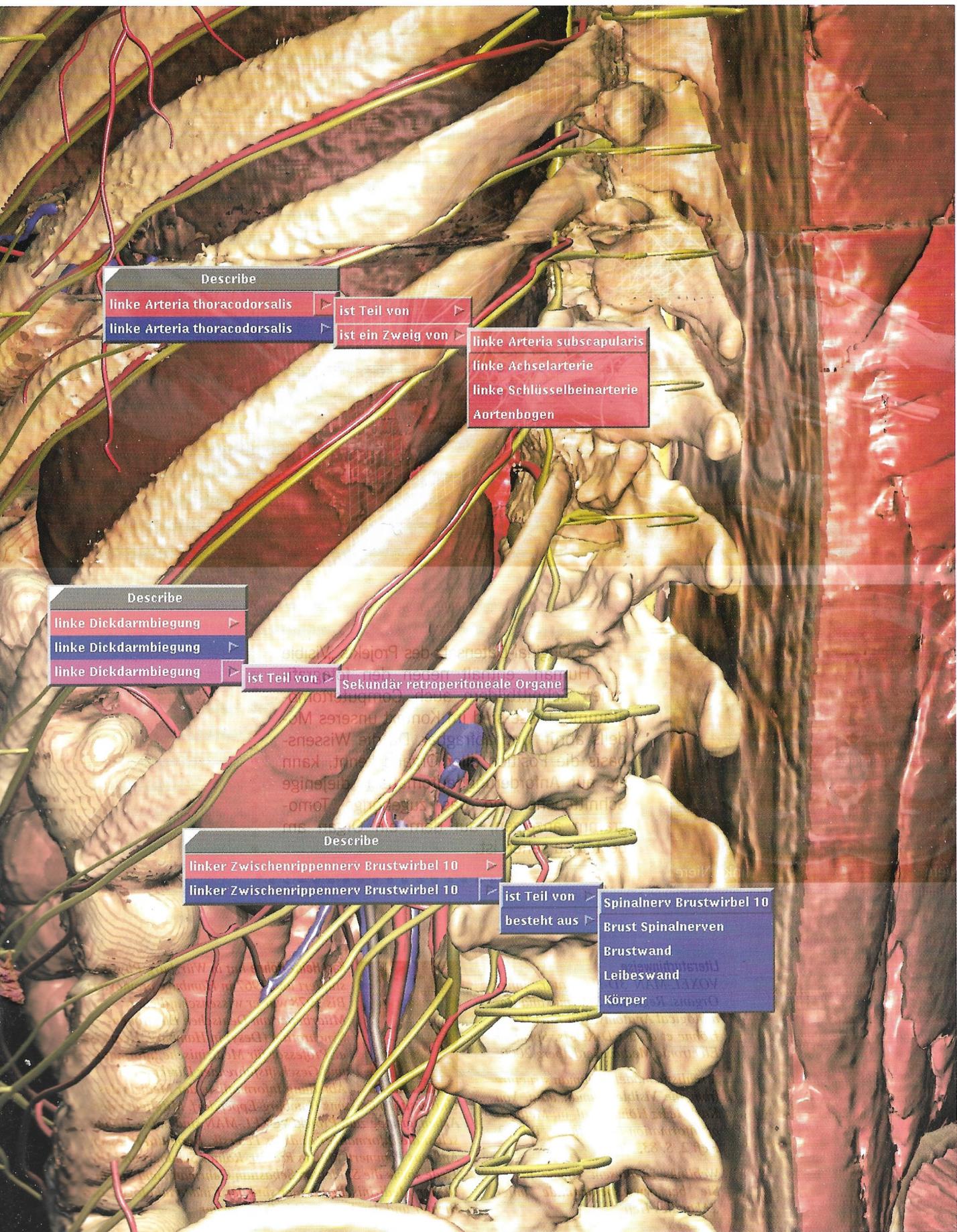




- Luftröhre
- linke Unter-schlüsselbeinarterie
- linker Lungenflügel
- linker Zwischenrippennerv Brustwirbel T2
- Herz
- Milz
- Magen
- linke Dickdarmkrümmung
- linke Niere
- Dünndarm
- linker *nervus iliohypogastricus*
- linke Lendenarterie
- absteigender Teil des Dickdarms
- linker Oberschenkelnerf

Wenn das Modell einmal erstellt ist, kann es durch Drehen, Schneiden, Hinzufügen und Wegnehmen von Organen in beliebig vielen Varianten untersucht werden. Hier hat ein Benutzer mehrere Schnitte angebracht und sich die Namen verschiedener anatomischer Strukturen angeben lassen. Wegen der Datenfülle (das Modell mit allen Zusatzinformationen umfasst etwa ein Gigabyte) und des Rechenaufwands lassen sich Bilder der gezeigten Qualität auch auf einer Hochleistungs-Workstation nicht in Echtzeit erzeugen.

Zu jedem Element des Volumenmodells hält die Wissensbasis nicht nur den Namen (auf Deutsch, Englisch und Lateinisch), sondern auch seine Einordnung in den Bauplan des Körpers bereit. Hier hat ein Benutzer durch Anklicken die Informationen zu einem Blutgefäß und zu einem Nerv abgefragt. Verschiedene Farben symbolisieren verschiedene „Sichtweisen“ der Zugehörigkeit von Organen. So kennzeichnet die topographische Sichtweise ein Objekt bezüglich seiner Lage („in der Bauchhöhle“), die systematische Sichtweise ordnet es in ein System („Nervensystem“) ein. Die angezeigten Begriffe können wieder Basis von Aktionen sein: „Nimm alles weg, was zum Nervensystem gehört.“



Describe

linke Arteria thoracodorsalis

ist Teil von

linke Arteria thoracodorsalis

ist ein Zweig von

linke Arteria subscapularis

linke Achselarterie

linke Schlüsselbeinarterie

Aortenbogen

Describe

linke Dickdarmbiegung

linke Dickdarmbiegung

linke Dickdarmbiegung

ist Teil von

Sekundär retroperitoneale Organe

Describe

linker Zwischenrippennerv Brustwirbel 10

linker Zwischenrippennerv Brustwirbel 10

ist Teil von

Spinalnerv Brustwirbel 10

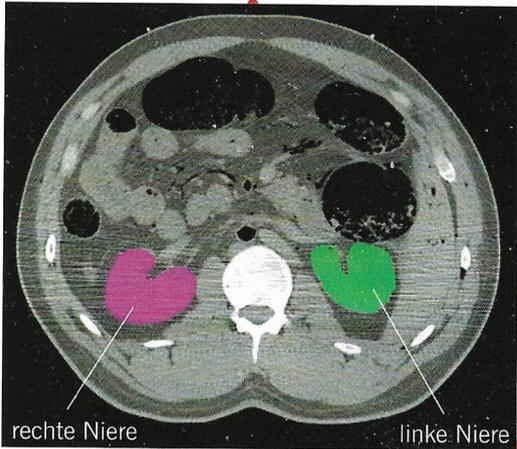
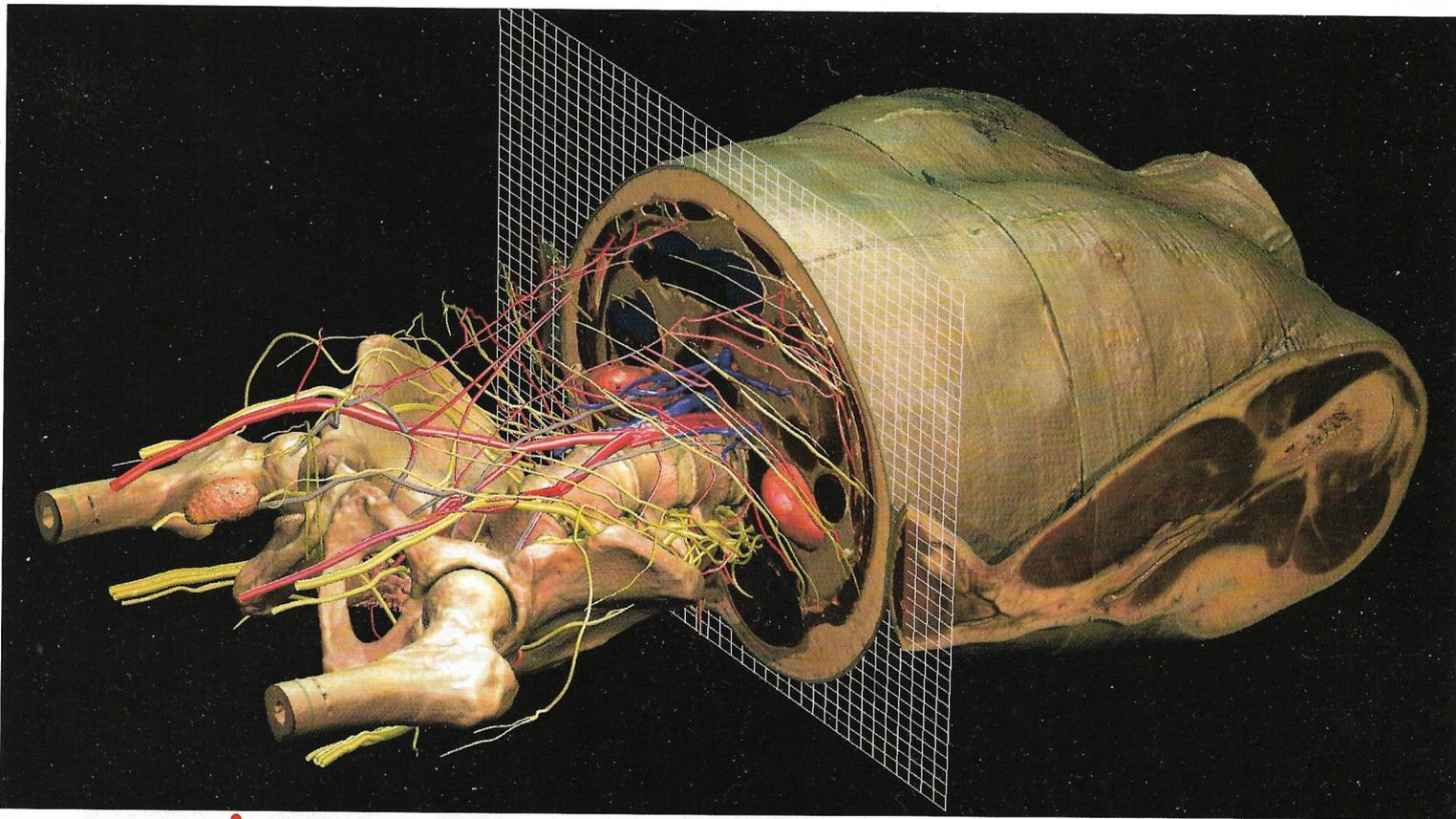
besteht aus

Brust Spinalnerven

Brustwand

Leibeswand

Körper



Der Original-Datensatz des Projekts „Visible Human“ enthält neben den fotografischen Schnittbildern auch Computertomogramme. Diese sind im Kontext unseres Modells abruf- und abfragbar. Da die Wissensbasis die Position aller Organe kennt, kann sie auf Anforderung automatisch diejenige Schnittebene und das zugehörige Tomogramm anzeigen, auf dem ein Organ am besten zu sehen ist.

Literaturhinweise

VOXEL-MAN 3D-Navigator: Inner Organs. Regional, Systemic and Radiological Anatomy. Von Karl Heinz Höhne et al. 3 CD-ROMs. Springer Electronic Media, Heidelberg 2000.

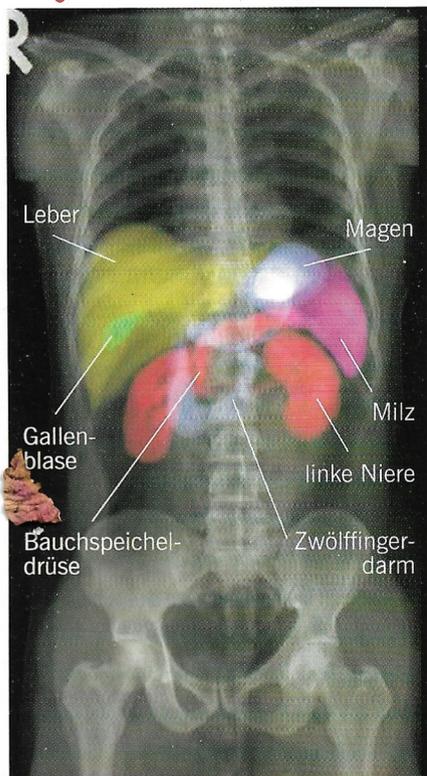
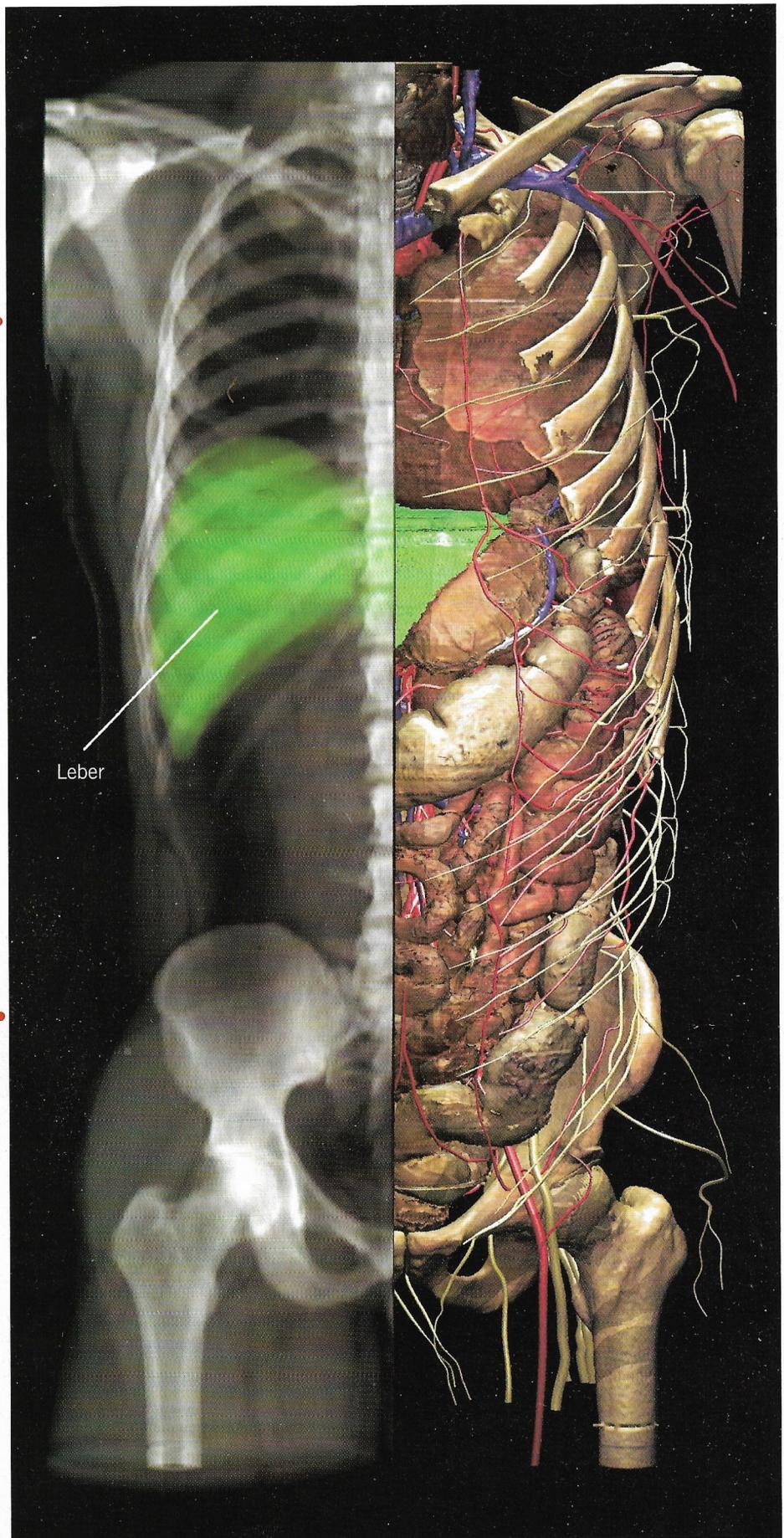
A realistic model of human structure from the Visible Human data. Von Karl Heinz Höhne et al. in: *Methods of Information in Medicine*, Bd. 40, Heft 2, S. 83, 2001.

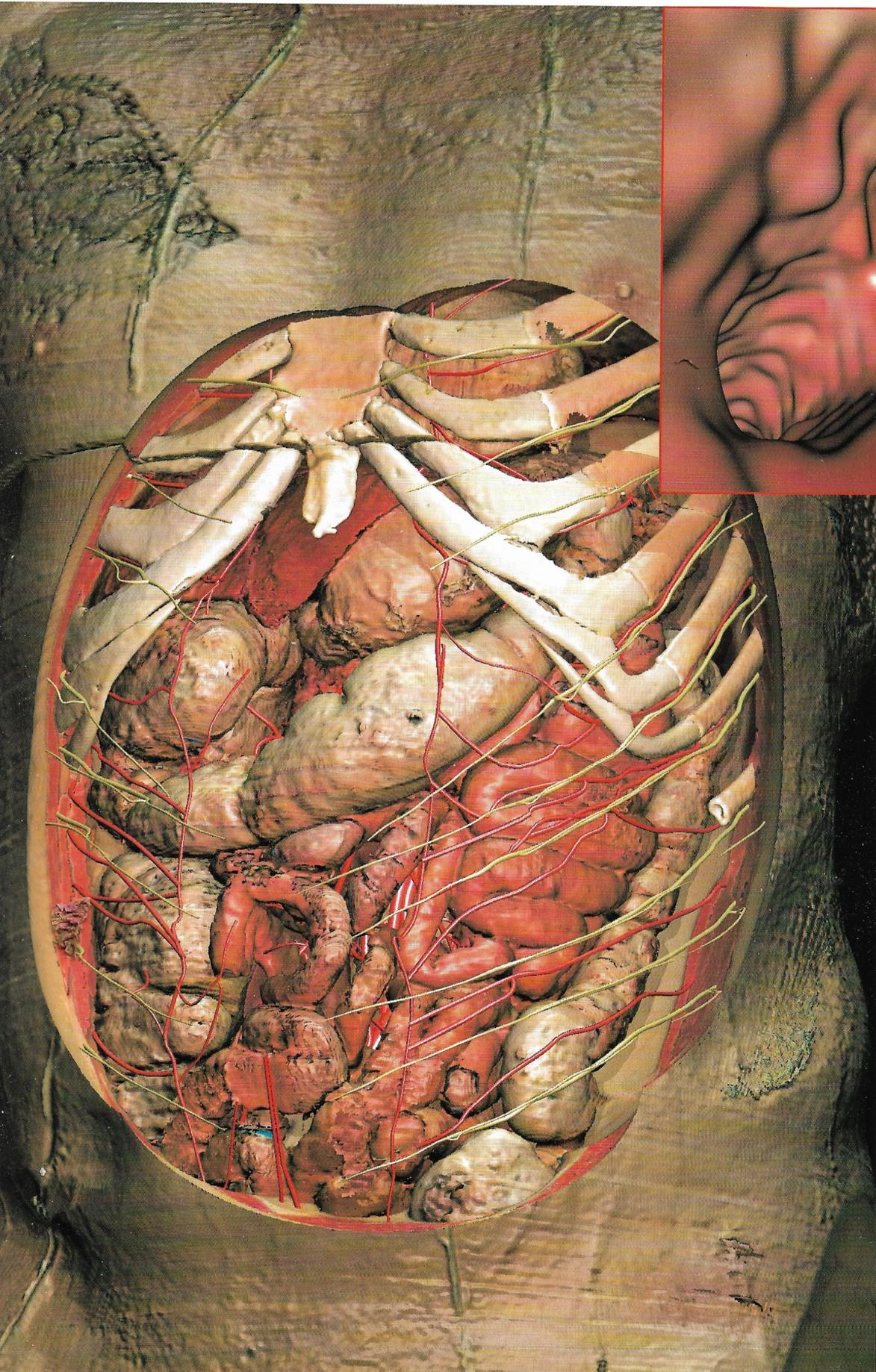
Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter „Aktuelles Heft“.



Karl Heinz Höhne hat in Würzburg Physik studiert und 1967 in Hamburg promoviert. Bis 1978 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Elektronen-Synchrotron (Desy) in Hamburg. Heute ist er Professor für Medizinische Informatik und Geschäftsführender Direktor der Abteilung Informatik in der Medizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Mitglieder der Arbeitsgruppe zum Projekt VOXEL-MAN sind außer Höhne selbst die Informatiker Andreas Petersik, Bernhard Pflesser, Andreas Pommert, Martin Riemer, Rainer Schubert und Ulf Tiede sowie die Studenten Sebastian Gehrman und Stefan Noster. Medizinische Partner sind der Kinderradiologe Ernst Richter und der Anatom Udo Schumacher.

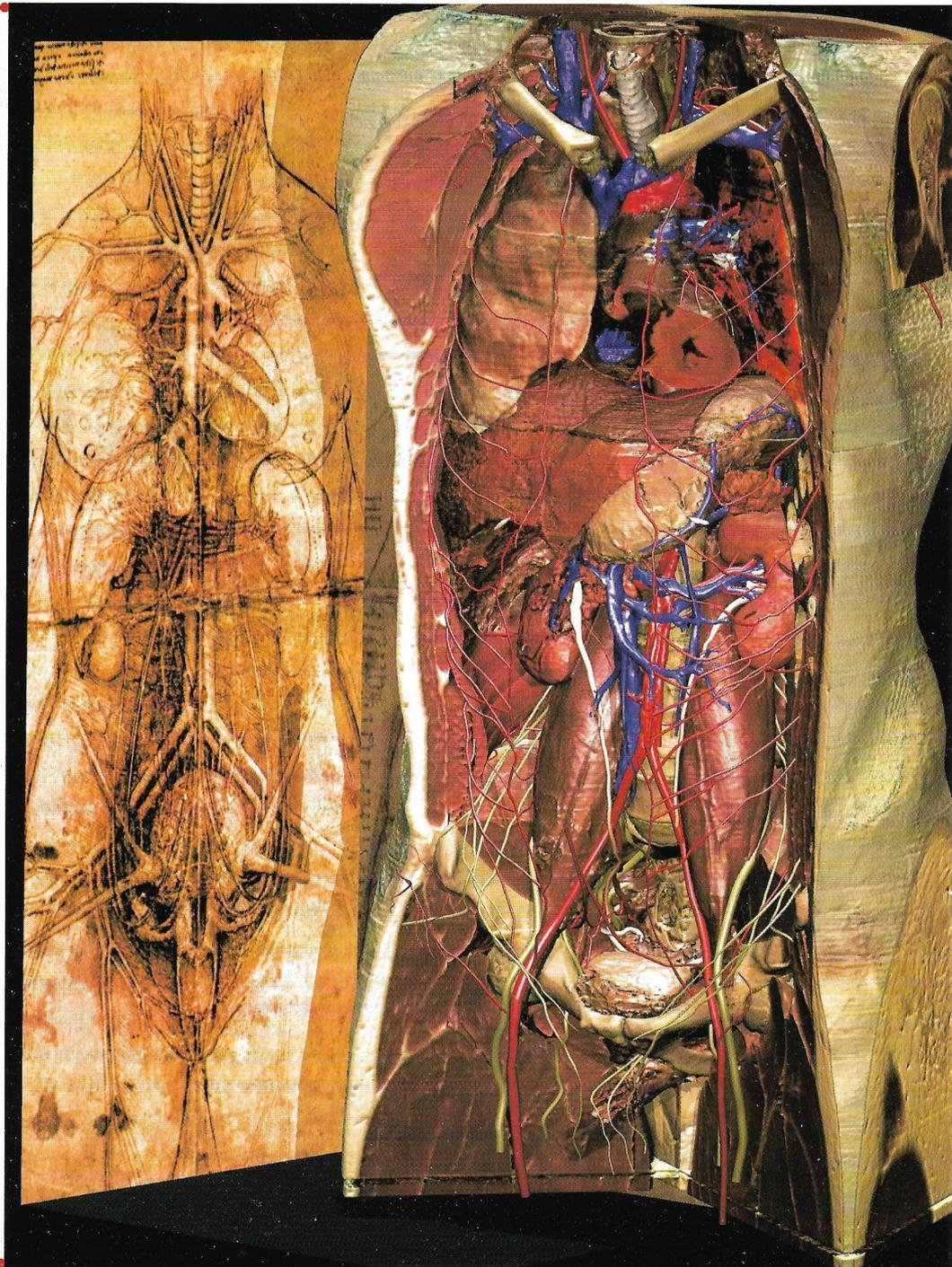
Da Computertomogramme nichts anderes sind als eine Landkarte der Röntgenabsorptionswerte, lassen sich daraus auch simulierte Röntgenaufnahmen erzeugen. Auf Anforderung generiert unser Programm ein solches Pseudo-Röntgenbild aus beliebiger Richtung für frei wählbare Bereiche des Modells. Die Gegenüberstellung mit der detaillierten anatomischen Darstellung und die farbliche Hervorhebung einzelner Organe können verwirrende Überlagerungseffekte enträtseln.





Das Modell soll – neben den Anwendungen für Aus- und Weiterbildung sowie als Nachschlagewerk – Chirurgen zum Einüben klassischer oder endoskopischer Eingriffe dienen. Idealerweise müssten die Verschiebungen und Verformungen durch den Eingriff selbst mit modelliert werden; dafür gibt es bisher nur erste Ansätze. Insofern ist die links gezeigte „Bauchoperation“ noch keine realistische Simulation. Dagegen kommt der computergenerierte Blick in die Bronchien des „Visible Human“ (oben) dem Bild einer echten Bronchoskopie schon recht nahe.

Seit den Zeiten Leonardo da Vincis bis heute ist räumliches anatomisches Wissen in Bildern repräsentiert, in denen ein Autor seine Sicht für einen speziellen Zweck darstellt. Die Zukunft wird computerbasierten Modellen gehören, aus denen man verschiedene Sichten erzeugen kann, ohne dass die zu Grunde liegenden Daten neu bearbeitet werden müssten. Eine erste Anwendung ist der „VOXEL-MAN 3D-Navigator Innere Organe“. Wünschenswert, aber wegen hohen Rechenaufwands noch nicht realisierbar ist die Echtzeitfähigkeit: Die gedachte Kamera folgt den Bewegungen, die der Nutzer mit der Maus vorgibt. Für die Verwendung auf dem PC werden stattdessen vorberechnete Bildfolgen („intelligente Quicktime-VR-Movies“) angeboten. Über entsprechende Nachschlagewerke für die radiologische Bildinterpretation oder für chirurgische Operations-Zugangswege wird derzeit nachgedacht. Die Funktionalität des gezeigten Modells ist aber nur ein erster Vorgeschmack auf eine Fülle neuer Möglichkeiten. So wird man in Zukunft Modelle erzeugen können, die nicht nur so aussehen wie ein wirklicher Körper, sondern auch so funktionieren: bei denen man das Blut fließen lassen, Nerven reizen oder unterbrechen kann und das Modell entsprechend reagiert.



(Fortsetzung von Seite 46)

► Zusammen mit der zugehörigen Software bildet diese Datenbasis einen interaktiven Anatomieatlas: Für den Lernenden ist er gleichsam Präpariersaal und Bibliothek zugleich, da er sowohl den optischen Eindruck vom Inneren des Körpers als auch zugehöriges Wissen liefert. Dem Radiologen kann er die Interpretation von Röntgen- oder Computertomografie-Bildern erleichtern, dem

Chirurgen einen möglichst schonenden Operationsweg finden helfen. Schließlich lassen sich aus dem Modell auf Grund seiner großen Allgemeinheit und Abstraktheit herkömmliche Bilder oder Trickfilme extrahieren, ohne dass es einer Neubearbeitung der Datenbasis bedürfte. Die Bilder wurden in ihrer Qualität bisher von keinem anderen Computer-Modell übertroffen. ■