

# Eine neue Dimension der Anschaulichkeit

## Dreidimensionale Rekonstruktions- und Meßverfahren in der Mikroskopie

Von Hans-Rainer Duncker und Andres Kriete

Die konventionellen licht- und elektronenmikroskopischen Untersuchungsmethoden waren bisher nur in der Lage, ein zweidimensionales Abbild von Mikrostrukturen zu erbringen. Mit dem Rasterelektronenmikroskop konnten natürliche Oberflächen, insbesondere von Hohlorganen, in ihrem räumlichen Aufbau dargestellt werden. Der Einsatz von Computern in Verbindung mit modernen optischen Systemen ermöglicht es neuerdings, den räumlichen Aufbau aller Bestandteile von Organen, Geweben und Zellen, vor allem denen, die keine freien Oberflächen besitzen, anschaulich darzustellen und zu vermessen.

### Historische Entwicklung mikroskopischer Darstellungsverfahren

Die seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannte und inzwischen apparativ weit ausgebaute Lichtmikroskopie gestattet es nur, Bakterien, Einzeller und sehr kleine Vielzeller als ganze Organismen zu betrachten. Von größeren Objekten müssen nach chemischer Fixierung der Gewebe und Einbettung in Paraffin oder Kunststoff Schnitte von ca. 1/100 mm Dicke hergestellt werden, um sie zu durchstrahlen und so mit dem Mikroskop betrachten zu können. Entsprechendes gilt für die seit den 50er Jahren in die biomedizinische Forschung eingeführte Elektronenmikroskopie. Auch hier ist es nur möglich, durchstrahlbare Schnitte von ca. 1/10000 mm Dicke von in Kunststoff eingebetteten, fixierten Gewebe herzustellen, um so Aufschluß über den Aufbau der Zellen zu erhalten. Unsere heutigen licht- und elektronenmikroskopischen Kenntnisse vom Aufbau der Organe, Gewebe und Zellen beruhen auf dem Studium dieser dünnen Schnitte aus den untersuchten Strukturen.

Die räumliche Ausdehnung der untersuchten Strukturen konnte nur durch die Betrachtung von aufeinanderfolgenden Schnitten durch die Zellen der Organe erschlossen werden. War eine genaue Kenntnis der räumlichen Zuordnung und Ausdehnung der Elemente der untersuchten Strukturen erforderlich, so war es notwendig, aus regelmäßigen Serien aufeinanderfolgender Schnitte am Mikroskop die interessierenden Strukturen stark vergrößert herauszuzeichnen und auf Wachs- oder Styroporplatten zu übertragen. Die herausgezeichneten Strukturen wurden dann ausge-

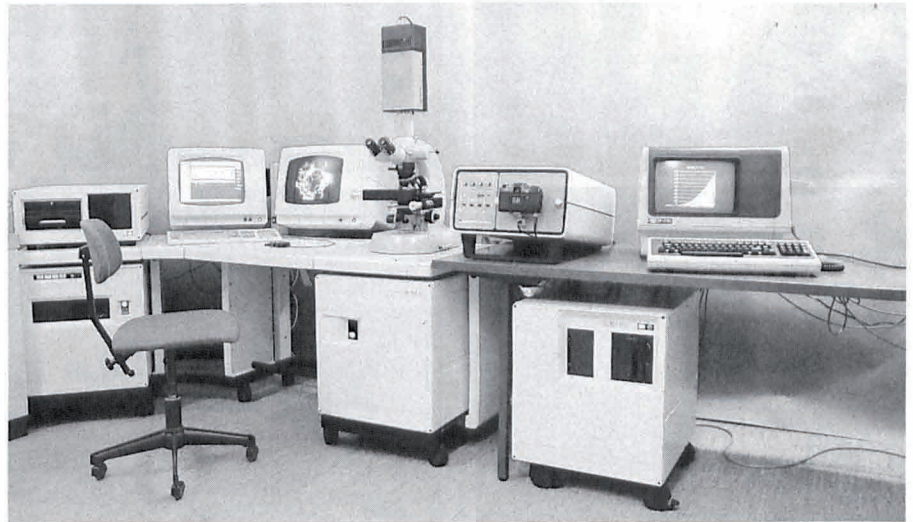


Abb. 1: Digitales Bildanalyse-System ausgebaut zur computergrafischen 3-D-Rekonstruktion.

schnitten und zu einem Modell zusammengefügt, was bei komplizierten Gebilden meist mehrere bis viele Wochen in Anspruch nahm. Deshalb konnte in der Vergangenheit nur eine sehr begrenzte Anzahl von Objekten untersucht werden. Auf diese Weise wurde vor allem die Entwicklung des Schädels bei Wirbeltierembryonen untersucht.

Ende der 60er Jahre wurde das Rasterelektronenmikroskop in die biologische Forschung eingeführt. Mit Schwermetallen bedampfte Oberflächen vorher getrockneter Gewebeproben werden mit einem Elektronenstrahl abgetastet oder gerastert, so daß ein Bild dieser Oberfläche mit erheblicher Tiefenschärfe auch bei starken Vergrößerungen gewonnen werden kann.

Durch diese Darstellungstechnik ist der räumliche Aufbau von Hohlorganen auch bei starker Vergrößerung genau bekannt, so vom Därmsystem mit seinen Falten und Zotten, von Lungen mit ihren Luftwegen und Austauschstrukturen oder vom Blutgefäßsystem und Herzen mit deren Innenrelief. Außer dieser Darstellung von Oberflächenstrukturen, durch die in erster Linie Hohlorgane zu untersuchen waren, konnten mit dem Rasterelektronenmikroskop auch Brüche durch Organe und Gewebe untersucht werden, die in gefrorenem Zustand hergestellt wurden, und die einen begrenzten Aufschluß über die räumliche Struktur einzelner Bestandteile in kompakten Gewebe und Organen ermöglichen.

### Die räumliche Darstellung mit computergrafischen Methoden

In den letzten Jahren ist es nun möglich geworden, mit Hilfe von Bildanalysegeräten aus Serienschritten über ein Licht- und Elektronenmikroskop die Konturen der zu untersuchenden Strukturen interaktiv über ein Digitalisierbrett oder automatisch zu gewinnen und die Daten dieser Konturlinienstapel abzuspeichern. Aus diesen Konturliniendaten errechnen Computer grafische dreidimensionale Rekonstruktionen auf dem Bildschirm in beliebiger Blickrichtung. Diese Rekonstruktionen werden entweder als durchsichtige Konturlinienstapel oder als räumlich schattierte Oberflächenansichten dargestellt. Sie können nicht nur aus jedem beliebigen Winkel rekonstruiert und betrachtet werden, sondern auch elektronisch in jeder beliebigen Ebene neu geschnitten und als angeschnittene Teilkörper dargestellt werden. Durch die unmittelbare zeitliche Aufeinanderfolge auf dem Bildschirm von Darstellungen dieser Rekonstruktionen, die sich jeweils im Blickwinkel um 1 bis 3 Grad unterscheiden, können diese Objekte auf dem Bildschirm um jede räumliche Achse gedreht werden. Dadurch wird eine besonders hohe Anschaulichkeit ihrer räumlichen Struktur erreicht.

Auf diese Weise können nicht nur einzelne Objekte in ihrer räumlichen Konfiguration separat nacheinander dargestellt und gedreht werden, sondern es können die verschiedenen ineinandergesetzten Strukturen



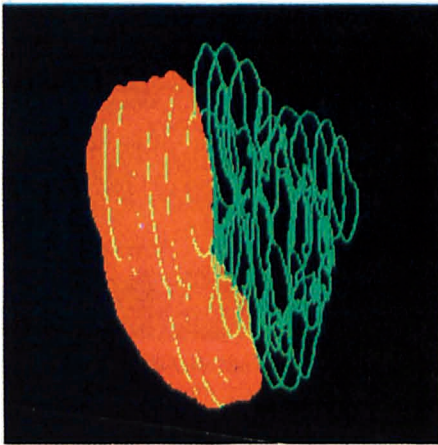
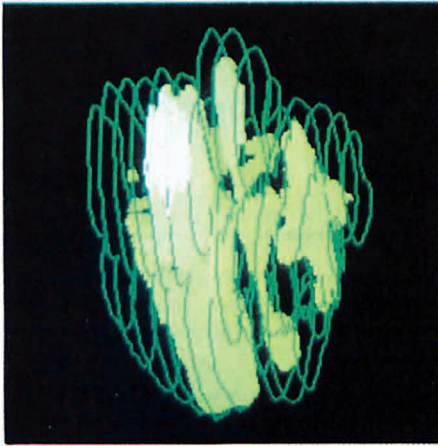
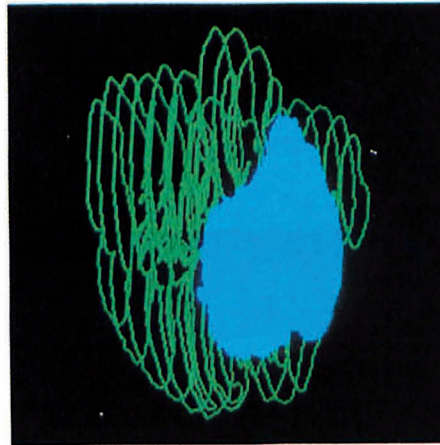
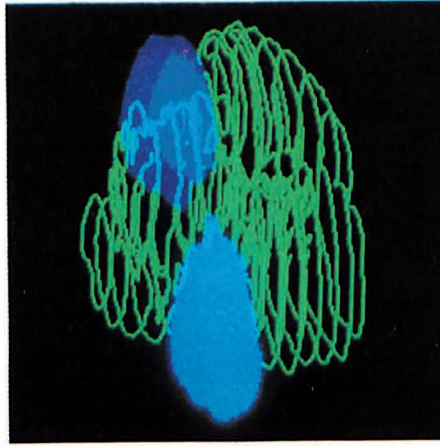


Abb. 5: Computergrafische Rekonstruktion des Gehirns einer 6 Tage alten Taube.

oder Gewebe mit ihren Konturlinien von einem Zell- oder Organsystem ebenso in wechselnder Kombination miteinander in ihrer räumlichen Ineinanderfügung anschaulich gemacht werden. Dazu ist es besonders hilfreich, daß die einzelnen rekonstruierten Strukturen farblich unterschiedlich und teilweise transparent dargestellt werden können.

Mit dieser Methode werden die komplizierten Verbindungen der Sinnes- und Nervenzellen in Sinnesorganen und die bisher unüberschaubaren Verknüpfungen der Nervenzellen im Nervensystem überhaupt erstmals darstellbar gemacht. Bei der außerordentlichen Vielzahl feinsten Fortsätze der Nervenzellen, die innig miteinander verwoben sind, waren die funktionell entscheidenden Verbindungen einzelner Nervenzellen mit bestimmten dieser Fortsätze aus der reinen Schnittbetrachtung nicht zu erfassen. Ein anderes Beispiel ist die Aufklärung des Aufbaus und der Entwicklung des kapillaren Gefäßsystems von Organen, so von endokrinen Drüsen oder von den Alveolen, den für den Gasaustausch wichtigen Lungenbläschen. Unentbehrlich ist diese Technik in der embryologischen Forschung, in der es notwendig ist, eine große Anzahl aufeinanderfolgender Entwicklungsstadien zu untersuchen, um die Entwicklung eines Organs oder eines Teils von ihm in seinem



Wachstum und der Differenzierung seiner Einzelteile zu erfassen. Da der mechanische Modellbau für eine große Zahl von Stadien zu aufwendig ist, eröffnet erst diese elektronische Rekonstruktion die Möglichkeit, eine Vielzahl unterschiedlicher Stadien und in ihnen jeweils mehrere verschiedene Strukturen darzustellen und dadurch diese Entwicklungsabläufe im Detail zu analysieren. Die 3-D-Rekonstruktionsverfahren bauen auf den quantitativen elektronischen Bildanalysen auf, die entwickelt wurden, um die Strukturen, die ein Bild beziehungsweise einen Schnitt aufbauen, mit ihren Meßwerten wie Anzahl der angeschnittenen Strukturen, deren Durchmesser, Flächen und Umfänge bis hin zu deren Formparametern automatisch zu erfassen. Dafür liegen eine große Zahl von Meßprogrammen mit den Bildanalysegeräten vor. Diese Meßprogramme ermöglichen es, auch für alle rekonstruierten Strukturen eine große Zahl quantitativer Daten wie Durchmesser-, Volumen- und Oberflächengrößen zu erhalten. Damit ist es nicht nur möglich, mit diesen Rekonstruktionsmethoden von den untersuchten Strukturen eine genaue räumliche Anschauung, sondern zugleich vielfältige quantitative Daten zu erhalten.

Wegen der großen Bedeutung solcher Darstellungs- und Meßverfahren besonders für die Neuroanatomie und die Embryologie



Abb. 2: Gehirn eines 6 Tage alten Taubenestlings in Seitenansicht.

haben wir vor gut einem Jahrzehnt intensive Kontakte zu den Herstellern der Bildanalysegeräte aufgenommen und versucht, eine Entwicklung solcher 3-D-Rekonstruktionsverfahren anzuregen. Zu einer außerordentlich erfolgreichen Zusammenarbeit kamen wir dabei mit der Firma Kontron Bildanalyse in München. Das bisherige Ergebnis dieser Zusammenarbeit wird hiermit vorgestellt.

#### Aufbau und Funktion eines 3-D-Bildanalyseystems

Die Apparatur besteht aus einer Eingabeinheit mit einer Fernsehkamera und einem Digitalisiertablett, aus einem Programmrechner mit Bildschirm, aus einer Bildverarbeitungseinheit mit Farbmonitor, aus einem leistungsfähigen Hostcomputer mit spezieller Speichereinheit sowie aus einem Ausgabesystem, mit dem die rekonstruierten Darstellungen fotografiert und die quantitativen Daten über einen Plotter ausgegeben werden können (Abb. 1).

Von dem Programmrechner gesteuert werden die Bilder von den mikroskopischen Schnitten direkt vom Lichtmikroskop mit der Fernsehkamera aufgenommen und im Bildspeicher der Bildverarbeitungseinheit gespeichert und auf dessen Bildschirm dargestellt. In gleicher Weise können mit der Fernsehkamera Bilder vom Elektronenmikroskop übernommen werden, aber auch Negative oder Positive von Aufnahmen von mikroskopischen oder makroskopischen Präparaten, die somit zur Grundlage der Bildbearbeitung gemacht werden. Ebenso können auch makroskopische Präparate direkt mit der Fernsehkamera abgebildet werden. Die auf diese Weise von den Serienschritten aufgenommenen Bilder müssen nun Bild für Bild digitalisiert werden, so daß die erforderlichen Konturlinien der zu rekonstruierenden und zu vermessenden Strukturen gewonnen werden können.

Diese Konturliniengewinnung geschieht mit Hilfe der vorhandenen Programme des Bildanalysegerätes. Wenn die Kontraste der zu untersuchenden und zu vermessenden Strukturen gegenüber dem umgebenden Gewebe groß genug sind, können diese



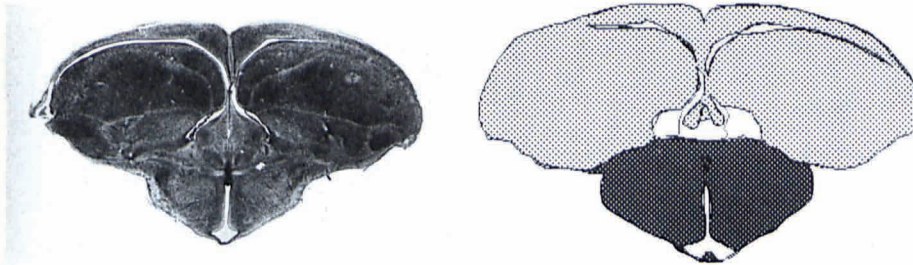


Abb. 3: Histologische Schnitte durch das Vorder- und Zwischenhirn (links) der Abb. 2 und zugehörige digitalisierte Bilder (rechts).

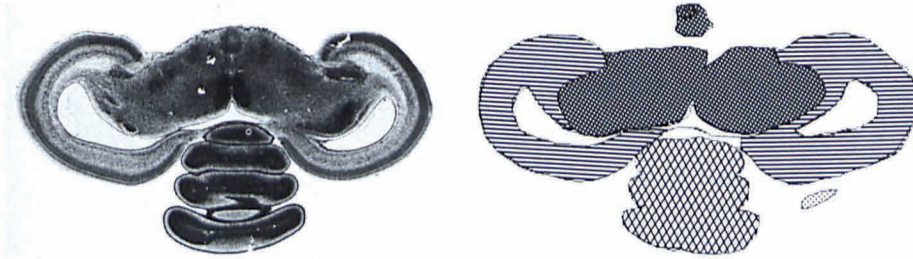


Abb. 4: Histologische Schnitte durch das Vorder- und Zwischenhirn (links) der Abb. 2 und zugehörige digitalisierte Bilder (rechts).

Konturen automatisch gefunden und in Form ihrer X-Y-Koordinaten abgespeichert werden. Die umfangreichen Bildanalyseprogramme geben viele Bildbearbeitungsmöglichkeiten an die Hand, um auch bei primär nicht ausreichendem Grauwertkontrast dieses Ziel zu erreichen. Wenn eine automatische Konturgewinnung nicht möglich ist, weil nur bestimmte unter einer großen Zahl fast gleichartiger Strukturen für die Rekonstruktion ausgewählt werden sollen, die nur der Untersucher differenzieren kann, oder wenn im Gehirn bestimmte Bahnen und Kerne dargestellt werden sollen, die nur vom Untersucher aus einer Umgebung ohne Grauwertunterschiede abgegrenzt werden können, müssen die Abgrenzungen oder die Auslese der zu untersuchenden Strukturen mit dem Cursor auf dem Digitalisieretafelt erfolgen. Dazu wird der Cursor als Punkt auf dem Bildanalysemonitor dargestellt, so daß die zu untersuchenden und zu rekonstruierenden Strukturen zur Konturengewinnung umfahren werden können.

Für alle Bildoperationen wird das eingezeichnete Bild eines Serienschchnittes in  $512 \times 512$  Bildpunkte aufgerastert und jedem dieser Bildpunkte ein Helligkeitswert zugeordnet. Diese Bilddaten wie auch alle Zwischenbilder, die bei der Bildverarbeitung zur Digitalisierung und Konturengewinnung erzeugt werden, werden im Bildspeicher abgelegt, der mit seiner 8-Mega-Byte-Speicherkapazität gleichzeitig 30 verschiedene Bilder aufnehmen kann. Die Bildanalyse im einzelnen wird durch spezielle Mikroprozessoren, sogenannte Array-Prozessoren, durchgeführt, die etwa 10 Mill. Instruktionen pro Sekunde abarbeiten können und die die besondere

Eigenschaft aufweisen, mehrere Bildpunkte gleichzeitig adressieren und miteinander verknüpfen zu können. Der Einsatz der Array-Prozessoren wird mit dem Programmrechner gesteuert.

Spezielle Eigenschaften des Bildspeichers und der Array-Prozessoren sind der extrem schnelle Bildzugriff und die Durchführung von Bildverarbeitungsschritten in kürzester Zeit, um die für die Konturgewinnung notwendigen Grauwertkontraste herauszuarbeiten oder die Bilder zumindest soweit zu verarbeiten, daß die darzustellenden Strukturen mit dem Cursor umfahren werden können. Für gleichbleibende Serien von Bildern werden die Bearbeitungsschritte in einer Programmauswahl zusammengestellt, die für jedes neue Bild dann automatisch abläuft. Die so gewonnenen Konturlinien der einzelnen Strukturen werden mit ihren X-Y-Daten Schnitt für Schnitt dann im speziellen Datenspeicher abgelegt, wobei für jede gesondert dazustellende Struktur ein eigener Datenkanal benutzt wird.

Aus diesen Konturliniendaten rechnet dann der Host-Computer unter dem gewünschten Blickwinkel in Parallelprojektion die Rekonstruktion Schnitt für Schnitt aufbauend. Dabei müssen zum Beispiel die bei der jeweiligen Betrachtungsrichtung hinter der vorderen Oberfläche liegenden und damit also verdeckten Konturlinienanteile weggerechnet werden, so daß sie bei einer geschlossenen schattierten Oberfläche ganz verschwinden oder bei einer Rekonstruktion als durchsichtige Konturlinienstapel in

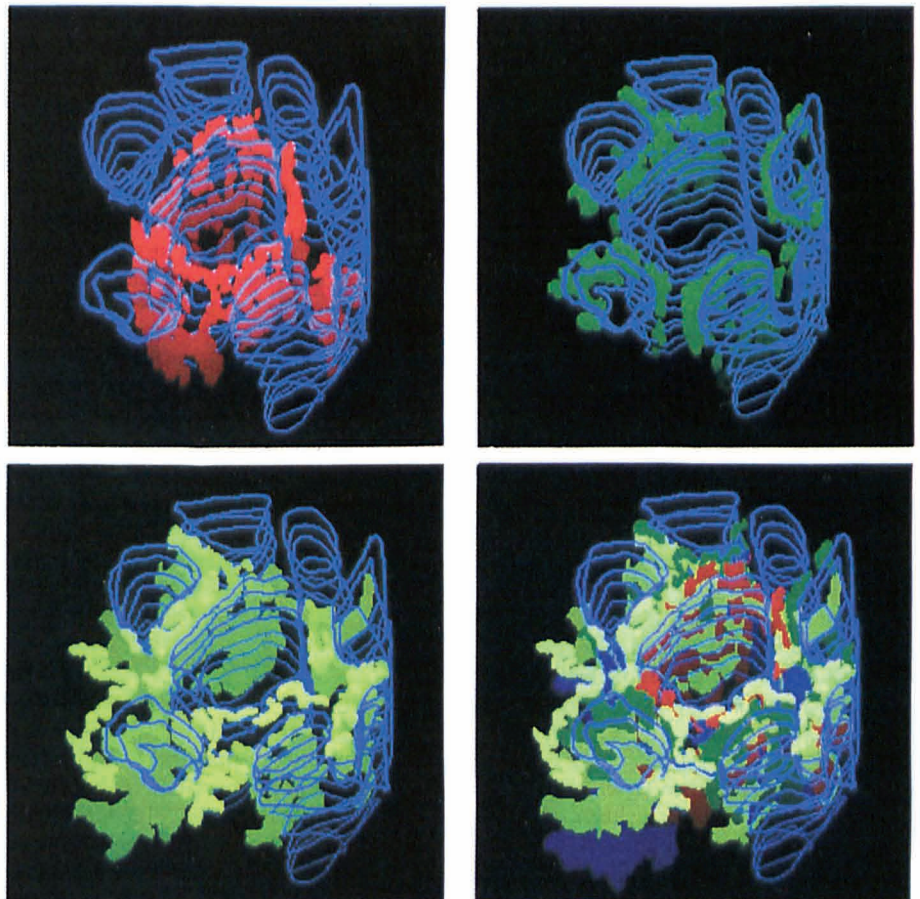


Abb. 8: Computergrafische Rekonstruktion von Alveolen und deren Kapillaren aus einer 5 Tage alten Rattenlunge.



Form dünnerer Linien erscheinen. Mit einem größeren Rechenaufwand ist es dann auch möglich, nicht nur einzelne Strukturen als kompakte Gebilde zu rekonstruieren, sondern sie halbdurchsichtig darzustellen und in ihnen weitere Strukturen rekonstruiert darzustellen. Aus den vorhandenen Konturliniendaten können so eine größere Zahl von verschiedenen ineinandergefügten Strukturen gemeinsam rekonstruiert und in ihrer Beziehung zueinander dargestellt werden. Dabei ermöglicht dieses Rechenverfahren die beliebige Kombination aller rekonstruierten Einzelstrukturen.

### 120 Rekonstruktionen

Die Rekonstruktionen der untersuchten Strukturen werden primär unter einem bestimmten Betrachtungswinkel gerechnet und grafisch dreidimensional dargestellt. Werden dann weitere Rekonstruktionen unter einem jeweils um 3 Grad gedrehten Betrachtungswinkel errechnet, so erhält man durch die Aneinanderreihung von 120 solcher Rekonstruktionen eine volle Drehung des rekonstruierten Objektes um eine Achse. Legt man die Bilder dieser 120 rekonstruierten Ansichten in einem ausreichend großen Bildspeicher ab, so lassen sich diese 120 Rekonstruktionen in kurzer Zeit hintereinander auf den Bildschirm abrufen, so daß ein direktes Rotieren des rekonstruierten Objektes dargestellt werden kann. Durch die Betrachtung solcher Rotationsbewegungen gewinnt man einen besonders guten Einblick von der räumlichen Struktur der untersuchten Objekte.

Die Leistungsfähigkeit einer solchen Rekonstruktionsapparatur hängt davon ab, wie effizient die einzelnen Bildbearbeitungsschritte zur Konturliniengewinnung durchzuführen sind und wie leistungsfähig Bildspeicher und Datenspeicher sind, um die große Zahl von Bild- und Konturliniendaten abzuspeichern. Für aussagekräftige Rekonstruktionen werden einige Hundert Serienschritte eingegeben und bearbeitet.

### Erhebliche Datenmengen

Wenn dabei verschiedene Strukturen mit ihren Konturlinien zur Rekonstruktion herausgezogen werden, sind erhebliche Datenmengen zu bewältigen. Damit hängt die Geschwindigkeit der Rekonstruktionen von der Leistungsfähigkeit des Rekonstruktionsrechners ab. Eine besonders hohe Leistungsfähigkeit ist gefordert, wenn nicht nur einzelne Ansichten, sondern volle Rotationen der rekonstruierten Objekte benötigt werden. Diese Aufgaben lassen wir unsere Apparatur über Nacht rechnen, da jede Einzelrekonstruktion aus mehreren Hundert Konturlinien schon einige Minuten erfordert.

Werden bei der Aufnahme der Schnitte Vergrößerung und Schnittdicke mit einge-

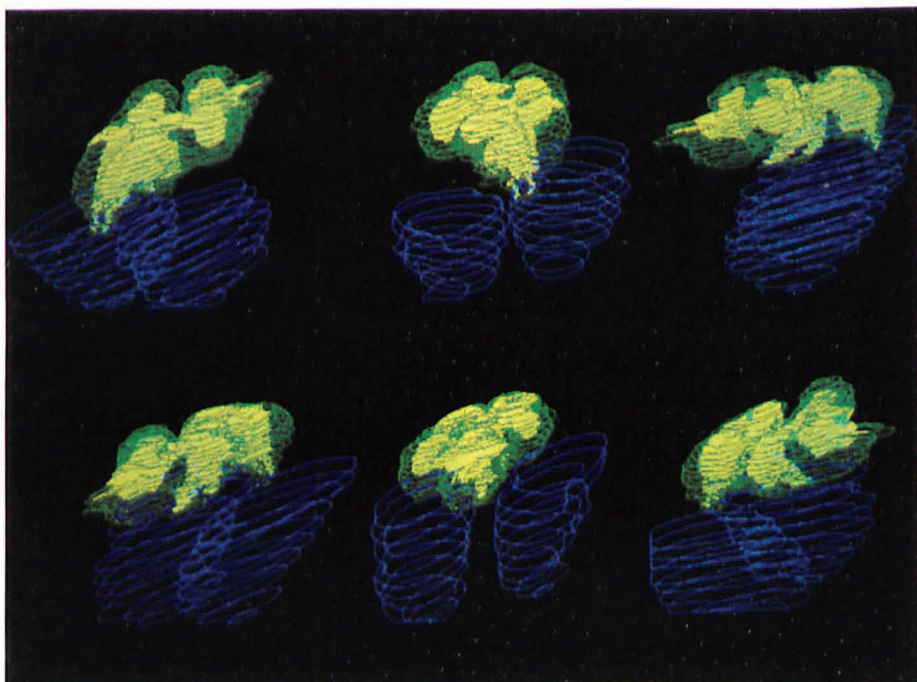


Abb. 6: Computergrafische Rekonstruktion eines Gehirns mit den Ventrikeln gelb und den Umrissen der Augen eines 6 Tage alten Taubennestlings in 6 verschiedenen Ansichten, jeweils um 60 Grad gedreht.

geben, kann der Computer für die rekonstruierten Strukturen sogleich auch eine Fülle von quantitativen Daten errechnen wie das Volumen, die Oberflächengröße und verschiedene Durchmesser. Werden in komplizierteren Strukturen wie zum Beispiel Gehirnen die einzelnen Regionen voneinander abgegrenzt, lassen sich diese Daten auch für alle abgegrenzten Teile einzeln errechnen. Die grafischen Darstellungsmöglichkeiten des Bildanalysesystems erlauben es, diese Daten unmittelbar in Form von Histogrammen oder Kurven auszugeben. Auf diese Weise lassen sich quantitative Daten von Teilstrukturen erfassen, die anders überhaupt nicht gemessen werden können. Darüber hinaus sind aber auch ganze Serien von Entwicklungsstadien für die Untersuchung des unterschiedlichen Wachstums der verschiedenen Hirnregionen während der Entwicklung zugänglich. Über die räumliche Darstellung hinaus können damit diese Wachstumsvorgänge quantitativ präzise untersucht und sogleich auch grafisch dargestellt werden.

### Beispiele aus den aktuellen Arbeiten

Abb. 2 zeigt das Gehirn eines 6 Tage alten Taubennestlings in Seitenansicht, das aus dem Schädel herauspräpariert wurde. Das ganze Gehirn mißt ungefähr  $2 \text{ cm}^3$ . Es wurde in 241 Querschnitte von  $3/100 \text{ mm}$  Dicke zerlegt. Die Abb. 3 a zeigt einen Schnitt durch das Vorder- und Zwischenhirn, Abb. 4 a durch das Mittel- und Kleinhirn. Die Abb. 3 b und 4 b zeigen für diese Schnitte die entsprechenden vom Computer

aufgenommenen Flächen, dabei wurden durch eine Digitalisierung über das Digitalisieretablett die verschiedenen Hirnregionen getrennt aufgenommen, so daß sie getrennt rekonstruiert und gemessen werden konnten. Die Bildserie der Abb. 5 zeigt aus diesen so gewonnenen Konturlinien errechnete Rekonstruktionen. Dabei sind die Rekonstruktionen so gerechnet, daß sie in einem Blickwinkel unter 60 Grad von dorsal oben zu sehen sind. Die in größerem Abstand gegebenen grünen Konturlinien geben die Außenkontur des Gehirns wieder, die rote Struktur zeigt das rekonstruierte Endhirn, die blaue Doppelstruktur die optischen Zentren des Gehirns und die hellblaue Struktur das Kleinhirn, während das Ventrikelsystem gelb dargestellt ist. Abb. 6 zeigt sechs Ansichten dieser Rekonstruktion, in der Ansicht von kaudal unter verschiedenen Winkeln, wobei die einzelnen Rekonstruktionen jeweils um 60 Grad gegeneinander gedreht sind. Bei diesen Ansichten stellen die grünen Konturen die Oberfläche des Gehirns dar, in dem das Ventrikelsystem gelb dargestellt ist, während die blauen Konturen die großen, zeitlich weit voreilend entwickelten Augen darstellen.

### Weitere Beispiele

Die grafische Darstellung der Abb. 7 zeigt für drei verschiedene Entwicklungsstadien einer Taube die bei diesen Untersuchungen gewonnenen Daten über die Volumina der einzelnen Hirnabschnitte und ihrer Entwicklung vom Schlupf bis zum 10. Tag. Diese Daten stellen einen Ausschnitt aus ei-



ner großangelegten vergleichenden Untersuchung dar, die Diplom-Biologe Matthias Starck in seiner Dissertation durchführt. Erst mit diesem Rekonstruktions- und Meßverfahren wurde es möglich, in breiten vergleichenden Serien die außerordentlich unterschiedliche Entwicklung der verschiedenen Hirnabschnitte bei verschiedenen Vögeln quantitativ und damit exakt darzustellen.

Die Bildserie der Nr. 8 demonstriert ein anderes Beispiel, das ebenfalls auf einer solchen breitangelegten Untersuchungsreihe basiert, mit der Sabine Rasel in ihrer medizinischen Dissertation die Entwicklung des Kapillarsystems der Lungenbläschen während der Entwicklung dieser Alveolen an Rattenlungen darstellt. Abgebildet sind vier verschiedene Rekonstruktionen einer sich entwickelnden Alveole aus einer fünf Tage alten Rattenlunge, umgeben von den benachbarten Alveolen. Dabei stellen die blauen Konturen eine zentrale und mehrere umgebende Alveolen dar, rot sind die nur der zentralen Alveole direkt anliegenden Kapillaranteile dargestellt, grün die unmittelbar den umliegenden Alveolen anliegenden Kapillarabschnitte, während gelb die zwischen der zentralen und den umliegenden Alveolen mäandrierenden Kapillaren rekonstruiert wurden. Das letzte Bild zeigt die verschiedenen Anteile zusammen dargestellt. Erst diese Aufgliederung in die unterschiedlichen räumlichen Komponenten des Kapillarsystems in den verschiedenen Entwicklungsstadien von der neugeborenen bis zur erwachsenen Rattenlunge ermöglichen es, die Umkonstruktion des anfänglich zweischichtigen Kapillarnetzes zu dem einschichtigen Netzwerk der Septen der ausgebildeten Alveolen zu erfassen.

#### Ausblick

Die Apparaturen und Programme für diese 3-D-Rekonstruktions- und Meßprogramme befinden sich derzeit in einer außerordentlich schnellen Entwicklung. Sie führte bereits dazu, daß auch mit preisgünstigen kleinen Anlagen in der Größenordnung von DM 30000,- grundlegende Untersuchungen mit dieser neuen Methode in Biologie und Medizin möglich sind. Durch die weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit sowohl der Rechner wie der Programme ist in naher Zukunft zu erwarten, daß auch sehr komplizierte Rekonstruktions- und Meßaufgaben, die eine große Zahl von Strukturen aus vielen hundert Schnitten einbeziehen, in sehr begrenzter Zeit durchgeführt werden können. Dadurch ist heute schon die für die Aufnahme der einzelnen Schnittbilder und die Konturliniengewinnung aufzuwendende Zeit der umfangreichste Teil dieser Untersuchungen.

Eine weitere Verbesserung dieser Darstellungsverfahren ist von der Weiterentwick-

**Zu den Autoren:** Professor Dr. rer. nat. Dr. med. Hans-Rainer Duncker ist Leiter der Arbeitsgruppe Anatomie II des Instituts für Anatomie und Zytobiologie. Seine Forschungsschwerpunkte sind: Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere, speziell des Atem-, Kreislauf- und Bewegungsapparates.

Dr. Andres Kriete, Diplom-Physiker, betreut das Bildverarbeitungslabor am Institut für Anatomie und Zytobiologie. Seine Arbeitsschwerpunkte: Licht- und Elektronenoptik, Bildverarbeitung und Computergraphik.

lung licht- und elektronenmikroskopischer Abbildungstechniken zu erwarten. So stellt im lichtmikroskopischen Bereich die Laserscann-Mikroskopie eine Neuentwicklung dar, bei der ein fokussierter Laserstrahl ein Präparat abtastet. Damit kann ein sehr dickes Präparat sogar in verschiedenen Ebenen abgetastet werden, so daß zur Aufnahme der notwendigen Bilder und Konturdaten die Anzahl der notwendigen Schnitte wesentlich reduziert werden kann, so daß in der Präparateherstellung und im Bildeinzug entscheidend Zeit zu sparen ist. Auch in der Elektronenmikroskopie ist durch die Entwicklung eines Gerätetyps mit einem neuen Abbildungssystem eine wesentliche Verbesserung und Beschleunigung der Bildgewinnung und -eingabe möglich. Er gestattet, mit Elektronen verschiedenen Energieverlustes vollständige Bilder herzustellen. Dadurch ist es auch im Elektronenmikroskop möglich geworden, gezielt ausgewählte Strukturen darzustellen und auch von relativ dicken Schnitten Bilder herzustellen. Das eröffnet bei der sehr großen Schwierigkeit, elektronenmikroskopische Serienschnitte herzustellen, eine vielversprechende Möglichkeit, auch größere, ausgedehntere Strukturen nach dickeren elektronenmikroskopischen Schnitten zu rekonstruieren.

#### Ein neuer Weg

Auf diese Weise wird durch die zur Zeit laufende Weiterentwicklung auf einer Reihe verschiedener Gebiete von den licht- und elektronenmikroskopischen Abbildungsverfahren bis zur Verbesserung der Apparaturen und Programme zur 3-D-Rekonstruktion- und Vermessung für die Untersuchung von biologischen Objekten, ein neuer Weg zu einer wesentlich erweiterten Anschaulichkeit eröffnet. Dadurch wird uns der räumliche Aufbau auch komplizierter Strukturen von Organen, Geweben und Zellen sicht- und meßbar, der uns bisher nicht zugänglich war. Diese neuen Methoden haben nicht nur für die Biologie und Medizin eine Bedeutung, sondern sie finden auch jenseits der Mikroskopie eine Anwendung wie bei der Weiterverarbeitung von Computertomogramm-Bildern, die auf diesen makroskopischen Sektor ebenso sehr erfolgreich dreidimensionale grafische Darstellungen und Messungen erlauben. Auch den Material- und Konstruktionswissenschaften eröffnen diese Methoden ganz neue Möglichkeiten der Darstellung und Messung bisher verborgener Zusammenhänge.

Wir danken Frau S. Rasel und Herrn Dipl.-Biol. M. Starck für die Überlassung der Daten und Aufnahmen aus ihren Arbeiten.

#### Entwicklung des Gehirnvolumens der Taube

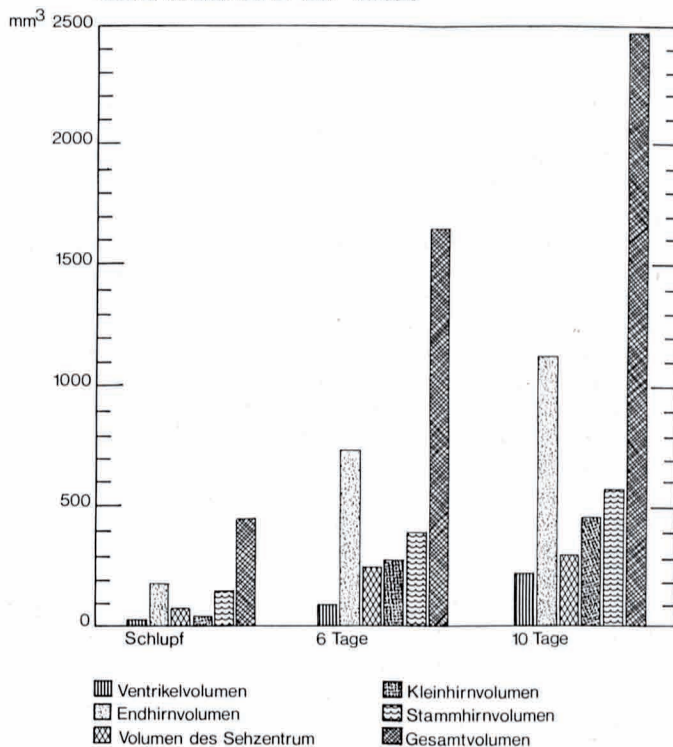


Abb. 7: Darstellung der aus den Serienschnitten gewonnenen Volumina einzelner Hirnabschnitte für 3 Entwicklungsstadien.