

Titel des Heftes:

**Interdisziplinäre Informatik: Neue Möglichkeiten und Probleme für die
Darstellung und Integration komplexer Strukturen in verschiedenen
Feldern der Neurologie**

Hrsg'in.: Britta Schinzel

Einleitung:

Diese Ausgabe der Freiburger Universitätsblätter wendet sich gleichermaßen an KulturwissenschaftlerInnen, NaturwissenschaftlerInnen und TechnikerInnen, indem sie versucht, eine allen verständliche Sprache oder zumindest für Jede/n Zugangsmöglichkeiten zum Dargestellten zu bieten. Die Relevanz der Inhalte dieses Heftes dürfte interessierten WissenschaftlerInnen wegen der in der Biomedizin wohl am deutlichsten sichtbaren epistemischen Verschiebungen, die aber langsam alle Wissenschaften ergreift, unmittelbar einleuchten. Zudem werden die Wirkungen der Mediatisierung der Neurobiologie und der Computerunterstützung in der Neurochirurgie alle Menschen als potentielle PatientInnen betreffen. Kann man die Biologie und die Biomedizin als jene Leitwissenschaften ansehen, die im 21. Jahrhundert - nicht nur hoffnungsvolle - Projektionen und Utopien der Gesellschaft bewegen, so wie es die Physik bis weit über die Mitte des vergangenen Jahrhunderts tat, so spielt die Informatik eine sehr viel subtilere, wenn auch nicht weniger folgenreiche hintergründige Rolle in den Wissenschaften und in der Gesellschaft. Ihr Export theoretischer und instrumenteller Strukturen bestimmt zunehmend die epistemische Verfassung anderer Wissenschaften. Ihre mathematisch-technischen Paradigmen und Leitbilder durchdringen auch deren Modellbildungen. Methodische Instrumente, symbolische Modellierung und informatische Denkmodelle finden ihre Anwendungen z.B. in Biologie, Chemie (Molekulare Modelle), Physik (Spinglass Modelle), Psychologie (Modelle der Kognition), Soziologie, Ökonomie und sogar in der Philosophie (Lern- und Denkmodelle der analytischen Philosophie). Computerisierte Modelle explizit formalisierender symbolischer Art oder konnektionistische Modelle werden in Linguistik (Korpusanalyse), Psychologie, Biologie, Medizin und allen Technikwissenschaften gebraucht. Da Computer Dynamik visualisieren können, exportieren sie auch wissenschaftliche Visualisierungen und Computersimulationen in Geographie, Ökonomie und in andere wissenschaftliche und Anwendungsfelder (Wettervorhersage). Mit der Technologie großer verteilter Datenbanken und Wissensarchive

werden neuartige methodische und technologische Integrationsinstrumente für alle Wissenschaften und Anwendungsfelder erzeugt und damit auf ganz basaler Ebene Forschungsprozesse und Wissensproduktion, besonders auch in den Naturwissenschaften und der Medizin beeinflusst. Computer sind dabei nicht nur instrumentale Medien der Transformation von Daten (i.e. strukturierten Symbolen), die vom Menschen als Lösungen für Anwendungsprobleme interpretiert werden, sondern auch mediale Instrumente: Die Informationstechnologie liefert ein Arbeitsmittel, mit dem das Medium Sprache bearbeitet werden kann, Informationen gespeichert und bereitgestellt werden können, sie stellt das Medium der (nicht nur) wissenschaftlichen Kommunikation, Kooperation, ihrer Produktion und Speicherung. Kein Wunder, dass sie als „defining technology“ unserer Zeit gilt.¹

Informatik unterscheidet sich von Naturwissenschaft dadurch, dass sie nicht nur analysiert sondern auch synthetisiert. Sie schafft Artefakte, die Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und Kultur vielfältig überformen. Informatik also ist beides: Wissenschaft und Technologie, Theorie und Konstruktion von Artefakten. In und mit Computern sind symbolische Hervorbringungen technisch verwertbar, Algorithmen apparativ umsetzbar, viele Denkprozesse maschinisierbar geworden. Frieder Nake nennt daher die Informatik „technische Semiotik“ und Wolfgang Coy den Computer eine „semiotische Maschine“. Die Uniformität der informatischen Methode, der Symbolmanipulation, unabhängig von der technischen Aufgabe ausgeführt auf dem ebenfalls uniformen Medium Computer, unterscheidet sie von anderen Technikwissenschaften und Technologien und rückt sie näher an die Mathematik. Bei klassischer Technik engen die Eigenschaften des Materials die möglichen Problemlösungen sehr viel mehr ein als in der Informatik, die in allen Problembereichen mit homologen Herangehensweisen operiert. Ihre Problemlösungen bieten überdies und gerade deshalb auf allen Stufen der Entwicklung extrem viele Wahlmöglichkeiten², wie bei der Spezifikation, der Modellbildung und der Systemarchitektur, der Sprachwahl, bei der Wahl von Datenmodellen und der Algorithmisierung, ebenso wie bei der Implementierung und schließlich bei der Einbettung der Software in größere Systeme oder organisatorische Kontexte.

¹ Siehe auch Wolfgang Coy: Defining Discipline; www.waste.hu-berlin.de, oder W. Coy (1996): turing@galaxis.com II, in: M. Warnke, W. Coy & Ch. Tholen (Hrsg.): a.a.O., auch unter URL: m-t-g.hrz.uni-kassel.de

² Diese Offenheit der Gestaltung bietet damit natürlich auch Einfallstore für Idiosynkrasien und Biases, die in Software dann verfestigt und unsichtbar werden können.

In der Informatik wird die Bearbeitung von Anwendungsproblemen mittels sogenannter Engineering Methoden (Software Engineering), auch in Teilbereichen, wie Requirements Engineering, Knowledge Engineering oder Contentware Engineering, u.s.w. professionalisiert. Die Ingenieursmethode wird dabei als optimale Auswahl und optimale Kombination optimaler Methoden zur Lösung eines Problems angesehen. Gleichzeitig ist damit auch die Zurichtung der Problembearbeitung auf die formal-technische Lösung mitgedacht und operationalisiert. Die Informatik bestimmt mit ihren Modellbildungen und Mathematisierungsparadigmen ebenso wie mit ihren Visualisierungstechniken zunehmend Form und Darstellung wissenschaftlichen Wissens. Aber sie stellt nicht nur eine Sprache oder Sprachen bereit, sie formt wissenschaftliches Wissen auch durch ihre Integrations- und Simulationsfähigkeiten. Das gilt u.a., wenn komplexe Zusammenhänge in ungeheuren und ungeheuer komplexen Datensammlungen elektronisch fassbar gemacht werden. Dadurch wird weiter eine neue Form automatischer oder halbautomatischer wissenschaftlicher Produktion möglich, die interpretiert werden muss und die neue Hypothesen- und Vorstellungswelten erschließt, für die weitere Datenkombinationen und -integrationen sowie statistische und algorithmische Ableitungen in Gang gesetzt werden, u.s.w. In beiden Funktionen jedenfalls, der Problemlösung und der Nutzung als Repräsentationsmedium, wird der Computer für die Neurowissenschaften gebraucht und ist somit die Informatik gefordert.

Da diese Entwicklung der informatischen Durchdringung in der Biomedizin und insbesondere in den Neurowissenschaften wohl am weitesten fortgeschritten ist, scheint das Thema dieses Heftes, die Darstellung komplexer Zusammenhänge in der Neurobiologie und deren Nutzung in der Neurochirurgie, besonders eindrucksvoll für die Darstellung des interdisziplinären Zusammenwirkens zwischen Informatik und anderen Wissenschaften. Auch können hier die mit der Ablösung strukturalistischer durch postmoderne Episteme einhergehenden Verschiebungen, vom Text zum Bild, von geschlossenen zu offenen Systemen, von expliziter Repräsentation mit rationaler Rekonstruktion zur Simulation sehr deutlich beobachtet werden. Denn in der Biomedizin kommt der Repräsentationsaspekt mit beiden Polen, einerseits der Form von Abstraktion und Formalisierung und andererseits der gerade gegenläufigen Visualisierung abstrakter komplexer Datenmengen zur Anwendung. Analog finden sich geschlossene und offene Problemlösungen bis hin zur Simulation. Diese Paradigmen gehen hier fließend ineinander über, von der Produktion, Strukturierung und Prozessierung höchst komplexer Datenmengen, deren Sammlung in Datenbanken und Hypertexten, der Produktion von Wissen durch Ableitung und Induktion (Data Mining), aus statistischen und komplex strukturierten mathematischen Daten beim warping, bis hin zu Simulationen als Teillösungen

der Bildgenerierung, wenn mathematisch geschlossene Lösungen oder deren numerische Behandlungsmethoden noch nicht existieren. Das wird etwa nötig beim inversen Streuproblem für CT- und andere bildgebende Verfahren in der Medizin, bei dem der Streukörper aus Streudaten durch eine partielle Differentialgleichung zu rekonstruieren ist.

Zudem gehen über die bildgebenden Verfahren in der Medizin komplexe Kombinationen physikalischer Effekte und informatischer Methoden in einer Weise zusammen, dass dort im Grunde auf atomarer Ebene gemessen und visualisiert wird. Physiologische Realität kann nur mehr über lange Interpretationswege der komplizierten Berechnungen - epistemologisch problematisch - erschlossen werden. Es handelt sich um komplizierte Konstrukte aus kontingent kombinierten Methoden und Techniken, die immer die Möglichkeit der Herstellung von (medizinischen) Artefakten in sich tragen, die den physiologischen Tatbeständen im Inneren menschlicher Körper nicht entsprechen.

Durch die so ermöglichten Verbindungsleistungen hat sich die Wissensproduktion in den Neurowissenschaften in ungeahnter Weise vervielfacht, aber gleichzeitig sind auch vielfältige Problemfelder entstanden. Eines davon möchte ich unter dem Begriff *Kontingenz* zusammenfassen. Kontingent sind ja die komplexen Kombinationen von physikalischen, mathematischen und informatisch-technischen Methoden, die jeweils durch die sinngewandten Gewichtungen und Orientierungen einzelner ForscherInnen oder Forschungsgruppen entstanden sind. Die Verfahren können insgesamt in ihren komplexen Einzelheiten und deren komplexem Zusammenwirken nicht durchschaut werden. Werden die Methoden auch in ihren Charakteristiken und Einschränkungen von der Technik als black box verwendenden MedizinerInnen nicht durchschaut, so erzeugt dies Probleme und Fehler bei der Interpretation der Ergebnisse. Ein weiteres Problemfeld liegt in der adäquaten Darstellung von Kontingenzen, von Unterschieden und Abweichungen. Es besteht die Gefahr, die objektivierenden und normierenden Möglichkeiten, die die Technik über komplexe Transformationsleistungen bereit hält, zur Standardisierung und Normierung auch tatsächlich zu nutzen, auch dort, wo dies inadäquat ist. Dabei können den Standardisierungs-Ergebnissen neue Sinngewandungen unterlegt werden, die u.U. „biased“ Konstruktionen sind, die für die Differenzierung etwa von Gesundheit oder Normalität Vorurteile gegen Rasse, Klasse, Geschlecht oder Alter enthalten können.

Zwei rote Fäden ziehen sich also durch das Heft: *die informatische Modellbildung* und das Beispielproblem der *Repräsentation neurobiologischen Wissens* mit verschiedenen Anschlüssen. Ausgangspunkt von der Anwendungsseite sind die Erfassung, Bearbeitung und

Darstellung der grundlegenden medizinisch-biologischen Prozesse (Hennig, Masannek und Schmitz), die das Problemfeld für die Informatik aufspannen. Die Fokussierung auf eine wichtige Anwendung in der Klinik, die computergestützte Operationsausführung (Burghart und Spetzger) zeigt, wie die vorliegende Anwendungsumgebung und das Problem die Auswahl informatischer Methoden und Modelle bestimmen. Anhand dieses Projektes soll gezeigt werden, wie verschiedene Arten informatischer Modellbildung auf die speziell verfügbaren (Bild-)Daten und auf die spezifische Aufgabe mit all ihren Anforderungen bezogen werden und der Entwicklungsprozess gestaltet werden kann.

Informatischer Ausgangspunkt sind zwei Methoden informatischer Modellbildung: Einmal soll die Entwicklung einer Sprache für Abstrakta, speziell für Bildoberflächen, am Beispiel von Hirn- und Körperbildern einen anderen Aspekt informatischer Modellbildung begreiflich machen, die Modellierung der Beziehung zwischen formaler Darstellung und informaler Realität (Richter). Ein zweiter Aspekt ist die Verwendung einer existierenden formalen Sprache, der Prädikatenlogik erster Stufe für die Modellierung der Hirntopographie. Dabei soll gezeigt werden, welchen Sinn der Gebrauch einer solchen mathematisch durchdrungenen Modellierung in der Informatik für Ziele wie Korrektheit (Widerspruchsfreiheit) und Vollständigkeit im Vergleich zum einfach „drauflos Programmieren“ hat (Schinzel). Weitere problembezogene Aspekte der Modellbildung, aber auch der Bearbeitung von Bilddatensätzen, der Systemintegration und der Sicherheitsfragen am Beispiel der Computergesteuerten Neurochirurgie werden in der Arbeit von Burghart vorgestellt. Schließlich soll die Rückwirkung informatischer Modellbildung auf die Anwendungsdisziplin in den Blick genommen werden. Die formale ebenso wie die computergraphische Repräsentation strukturieren und modellieren Wissen in spezifischer Art. Formalisiertes Wissen muss auf spezifische Weisen (aus Gründen der Komplexitätsreduktion meist hierarchisch) geordnet und, weil man nicht alles explizieren und formalisieren kann, dekontextualisiert werden. Kontingentes Wissen kann dadurch leicht unzulässig generalisiert und in Eindeutigkeit sowie inadäquate Normierung gezwungen werden. Die gleiche Gefahr besteht bei graphischer Repräsentation: das menschlicher Kognition unmittelbar eingängige Bild kann standardisierende Wirkung haben, wird dieser Eindruck nicht weiter relativiert. Die Beiträge von Schmitz und Masannek demonstrieren Solches anhand der Wissensrepräsentation komplexer Inhalte und Bedeutungen für neurobiologisches Wissen in Hirnatlanten und Datenbanken bezogen auf die Darstellung von Geschlechterdifferenzen im Gehirn. Im Text von Hennig schließlich werden im Kontext der Beschreibung der

medizinischen Bildverarbeitung und -verwaltung und ihrer heutigen Defizite Wünsche an die informatische Disziplin formuliert.

Informatik befasst sich mit Modellierung, und ihre Konstituenten Repräsentation, Ausführung und Auswirkungen dieser Modellierung sind die zentralen Aspekte der Informatik. Damit sind Sprachaspekte in der Informatik erheblich wichtiger, aber auch variabler als in Mathematik und Naturwissenschaften. Für die abstrakten Modelle der Informatik entsteht das Problem der kognitiven Zugänglichkeit. Es müssen, abhängig von Domänen und Aufgaben Sprachen geschaffen werden, die Menschen Formales vermitteln. Schon in den Sechziger Jahren versuchte Anderson mit Hilfe von architektonischen Metaphern informatische Abstrakta verständlich zu machen. In der Objektorientierung ist mit dem sogenannten Patterning genau dieses Vorgehen wieder aufgegriffen worden.

Im ersten Beitrag des Informatikers und Logikers Michael Richter geht es genau darum, eine Sprache zu finden für abstrakte formal-technische Gegebenheiten, die wichtige Formanten für die menschliche Interpretation im Zusammenhang mit der bildverarbeitenden Medizin sind. Er führt zunächst in die grundsätzliche Problemlage der Darstellung von Informationen mittels natürlicher Sprache, Bildern oder akustischen Medien ein. Als Information (nach I. H. Gold³) wird in der automatisierten Datenverarbeitung die Bedeutung, die ein Mensch in Form von Daten ausdrückt oder aus Daten gewinnt, mittels der zur Darstellung benutzten bekannten Vereinbarungen verstanden. Die Art und Weise der Darstellung von Daten muss den folgenden Bedingungen genügen: Im Hinblick auf den Zweck der Benutzung muss es möglich sein, die den Daten zugrunde liegende Information adäquat auszudrücken. Im Hinblick auf den Verarbeitungsprozess muss die Notation in einem geeigneten Formalismus erfolgen. Beide Bedingungen sind Gegenstand von intersubjektiven Vereinbarungen. Diese für Menschen informativen und für die Maschine verarbeitbaren Darstellungen haben für beide Seiten mediale Funktion und werden in der Informatik oft ebenfalls Sprachen genannt. Bei der Bildinterpretation ist vor allem die explizite Extraktion der Information schwierig.

In dem Beitrag wird ein Sprachmodell für medizinische Bilder entwickelt, das informelle, individuelle und flexible Kategorien erfassen soll, die sich etwa an Unschärfen im Bild oder unterschiedlich ausgeprägten Strukturen vergleichbarer Bildobjekte zeigen können und dafür unscharfe Begriffsbildungen konzipiert. Richters Beschreibungssprache hält für Objekte Ausdrucksmittel auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen bereit, die definitorisch

³ I. H. Gold (ed.) IFIP Guide to Concepts and Terms in Data Processing

aufeinander zurückgeführt werden: die Pixelebene, die geometrische Ebene, die Ebene der Bildverarbeitungsmethoden, die Ebene domänenspezifischer Objekte und die Ebene der Gesamtbeschreibung. Für die Modellierung der Unschärfe werden orthogonal dazu Prototypen und Ähnlichkeitsmaße für die Domäne, auch auf lokaler Ebene, eingeführt. Die Bilddeutung geschieht dann domänenspezifisch in einem komplexen interaktiven Prozess der Bewertung durch Experten im Verein mit der automatischen Bearbeitung durch ein Konfigurationssystem, das abwechselnd auf Bildverarbeitungsalgorithmen und domänenorientierte Konzepte zurückgreift und speziell für den Problembereich entwickelte komplexe Verfahren und Algorithmen wissensbasierter Systeme in der Medizin verwendet. Damit wird für die medizinische Bildinterpretation eine neue Form maschinell unterstützter „intelligenter Schlussweisen“ modelliert, die weder deduktiver noch induktiver Natur sind, sondern auf einer Ebene des „Verstehens was gemeint ist“ angesiedelt sind. Für die in Hennigs Aufsatz formulierten Wünsche an die Informatik ist dies wohl ein Schritt in die richtige Richtung.

Der erste Teil des Richter'schen Textes bietet gleichzeitig eine sehr gute allgemein verständliche Einführung in die Gesamtproblematik dieses Heftes.

Der zweite informatische Beitrag (Schinzel) befasst sich, nach einer Einleitung über die zwei wesentlichen Perspektiven auf die Relation zwischen Modell und Realität, mit informatischer Modellbildung auf einer vergleichsweise abstrakten logischen Ebene. Gemäß Richters Sprachmodell beschreibt er eine Möglichkeit der Formalisierung der geometrischen Ebene für die Hirntopographie, sowie auf der Ebene domänenspezifischer Objekte topographisch-funktionelle Zusammenhänge und auf der Ebene der Gesamtbeschreibung die Verbindung zu Nomenklatur und Literatur. Die Modellierung kann weiter als Kern des Informationssystems GERDA dienen, der im folgenden Beitrag von Sigrid Schmitz dargestellt wird. Es geht dabei um eine symbolische Repräsentation der Geometrie und der Nachbarschaftsverhältnisse im Gehirn, die an konkrete 3D - Hirnbilder und -Atlanten gebunden werden können, um eine automatische Verknüpfung und Verarbeitung von neurologischem Wissen mit Lokalitäten im Gehirn zu ermöglichen. Diese Aufgabe erfordert die Integration unterschiedlicher Wissens- und Repräsentationsformen für das heterogene Material und zur adäquaten Nutzung des Systems die Entwicklung benutzungsgerechter Schnittstellen und Tools für Wissensakquisition und Endbenutzung. Die hier vorgestellte „Roh“-Methode der Formalisierung in Prädikatenlogik erster Stufe ist gewissermaßen exemplarisch, auch wenn sie heute mittels arbeitserleichternder Programmiersysteme und Tools mehr oder weniger

eingepackt, überformt und abgewandelt verwendet wird. Verschiedene Paradigmenwechsel in der Informatik, wie der Übergang von Strukturierter Programmierung zur Objektorientierung und evolutionären Softwareentwicklung, mit der Absicht u.a., Systeme für Veränderbarkeit und Wiederverwendbarkeit offen zu halten (gleichzeitig wieder den epistemischen Wechsel von Strukturalismus zur Postmoderne widerspiegelnd), haben dazu geführt, andere Perspektiven und Ziele in den Vordergrund zu rücken. Doch ändert dies nichts an der informatischen Kernmethode der Symbolisierung und Formalisierung und den Gründen auf der sprachlich-logischen Ebene, warum und unter welchen Bedingungen für Ausführbarkeit und Effizienz sie auf elektronischen Rechnern funktioniert. Gleichzeitig zeigt sich an der Beispielformalisierung, wie kontingent und offen der Modellierungsprozess ist. Das macht aber auch klar, wie groß die Definitionsmacht nicht nur der Profession, sondern auch der einzelnen InformatikerInnen ist. Diese mittels offeneren Systementwurfs zugunsten der AnwenderInnen ein wenig einzuschränken, um jene auch zu GestalterInnen für ein individuelleres Design zu machen, ist Gegenstand feministischer informatischer Konstruktion⁴ und wird in dem von Frau Schmitz beschriebenen Informationssystem GERDA u.a. versucht.

Der Beitrag der Biologin Sigrid Schmitz befasst sich mit Problemen der Repräsentation in der Biomedizin, spezieller mit jenen für die Untersuchung strukturell-funktioneller Zusammenhänge im Gehirn, diesmal aber aus Sicht der Biologin, die sich informationstechnischer Mittel bedient. Ein ganz aktuelles und brennendes Problem für InformatikerInnen wie für NeurowissenschaftlerInnen ist die Entwicklung neurowissenschaftlicher Datenbanken. Sie sollen ungeheure Mengen von Datenmaterial vergleichen und integrieren, das höchst komplex strukturiert und von sehr unterschiedlicher Qualität ist. Die aktuelle Diskussion um eine solche Datenbank-Entwicklung steht im Spannungsfeld zwischen einerseits den Standardisierungsanforderungen, um Vergleichbarkeit der Daten und Befunde herzustellen, und andererseits der Offenhaltung des Systems für neue Entwicklungen. Denn die rasante methodische Entwicklung in der computerunterstützten Brain-Imaging-Forschung zu Datenerhebung und Daten-Analyse verändert gleichzeitig auch die Repräsentationsformen und -inhalte des Wissens. Dabei wird auch die Frage behandelt, was mit dem biologischen Wissen durch die Informatisierung, durch Visualisierungen,

⁴ z.B. Crutzen, C.; Vosseberg, K.: Die Interaktion zwischen objektorientiertem Denken und feministischer Kritik – eine dynamische Verbindung. In Dreher, B. et al (Eds) Software Engineering im Unterricht an den Hochschulen SEUH 1999, Teubner Verlag, Stuttgart; S 149-165.

Formalisierung, Strukturierungen und vor allem durch die Wissensintegration geschehen kann: Determinierungen, Essentialisierung durch Visualisierungen, unnötige Hierarchisierungen, Kontextverlust und Generalisierungen, wo ursprünglich Kontingenzen vorlagen.

Mit Bezug zu den teilweise sehr widersprüchlichen Befundpräsentationen aus dem Bereich der Geschlechterforschung zu Gehirn-Verhaltens-Bezügen (hier am Beispiel der Sprachverarbeitung) behandelt der Beitrag von Sigrid Schmitz auch die Frage, wie die Bewertung des repräsentierten „Wissens“, die Validität von Befunden und ihre Einordnung in bestimmte Konzepte (u.a. biologische Determination versus Hirn-Plastizität) zu gewährleisten ist. Vor dieser Problematik stellt sie das am Institut für Informatik und Gesellschaft in Entwicklung befindliche Gender-Projekt GERDA vor, das ein webbasiertes Informationssystem zur Aufarbeitung und Dekonstruktion von Geschlechterdifferenzen im Gehirn herstellen soll. Hier werden in interdisziplinärer Zusammenarbeit neue Wege der Wissensaufbereitung, der Repräsentation, der Gestaltung und der Benutzung konzeptioniert, die auf eine Öffnung des Modellierungsprozesses, auf kontingente Darstellung und auf degendering gerichtet sind.

Der Beitrag des Radiologen Jürgen Hennig zeigt konkreter die Möglichkeiten der Visualisierung durch Brain-Imaging Verfahren in der Medizin, die Hirnatlanten und Kartographierungen zugrunde liegen und entwickelt daraus Anforderungen der Neurowissenschaften an die Informatik. Er beschreibt eingehend die verschiedenen medizinischen Bilderzeugungsverfahren. So lassen sich beispielsweise mit MRT neben anatomischen eine ungeheure Fülle parametrisierter Informationen erkunden. Sie erlauben Rückschlüsse auf Festigkeit und Ordnung des Gewebes auf molekularer Ebene, auf Messgrößen für die durch die Zellmikrostruktur gegebene mikroskopische Beweglichkeit, auf unterschiedliche chemische Zusammensetzungen, molekulare Verteilungen magnetischer Stoffe (wie z.B. Hämoglobin) und macht Stofftransporte von der zellulären Ebene bis hin zum Blutfluss in Gefäßen sowie die Gewebefunktionen im weitesten Sinne sichtbar. Aber die Visualisierungen sind schwer eindeutig informatisch zu bearbeiten und zu deuten, etwa durch den komplizierten Zusammenhang zwischen Gewebefunktionen und Bildunschärfen, die der Algorithmisierung zur Rauschentfernung etwa durch die Fast Fouriertransformation dadurch Widerstand bieten, dass sie das gesamte Bildrauschen undifferenziert entfernen. Ähnliche Probleme bestehen an vielfältigen Stellen der Datenaufbereitung und Bildgebung. Auch am Beispiel von fMRT zeigt Hennig die Problematik der Messung von „was“ und „wie“, die höchst komplizierte Prozessierung der so gewonnenen Daten, ihre Reinigung und Auswertung

und schließlich ihre Visualisierung als eine ungeheuer komplexe interdisziplinäre Aufgabe für Radiologie und Informatik, bei gegebener physikalisch-technischer Problembewältigung.

Die Vorteile dieser Verfahren, intrakorporale Daten vom lebenden Menschen während seiner Aktivitäten zu erhalten, haben auch die Forschungsmöglichkeiten lawinenartig explodieren lassen. Aber der Vergleich dieser komplex strukturierten und oft mit sehr unterschiedlicher Qualität erhobenen Datenmengen macht noch erhebliche Schwierigkeiten. Jürgen Hennig diskutiert die Rolle der Informatik in diesem Zusammenhang und fordert von ihr vor allem Integrationsleistungen, d.h. die Unmengen dabei anfallender Daten so zu integrieren, dass diese nach ihrem Kontext aufbereitet, organisiert, visualisiert und interpretiert werden können. Die so aufbereiteten Auswertungsergebnisse und Bilder sollten jene Interpretationen und Ergebnisse repräsentieren, die „der realen Welt“ entsprechen, d.h. die ein Mensch mit seinem Wissen von Welt ihnen geben wollte. Es wird klar, dass hier hermeneutische Aspekte von größter Relevanz sind, mit denen vorsichtig und umsichtig umgegangen werden muss. Hennig sieht in solchen Leistungen auch Möglichkeiten für die Theoriebildung in der Neurologie. Dies sind jedoch noch weitgehend ungelöste Aufgaben, vorläufig leisten Computer und Software zwar Ungeheures bei der Produktion und Verarbeitung der neuromedizinischen Daten, doch der Umgang mit den gerade hier so unterschiedlichen Daten steckt noch in den Kinderschuhen. Richters Bilddeutungsverfahren aber, das für die Mammographie auch tatsächlich im klinischen Einsatz ist, kann in der Tat ein Lösungsmodell für solche Anforderungen bieten.

Die Biologin Carmen Masannek zeigt in ihrer Arbeit zum Neuroimaging am Beispiel des Human Brain Project HBP weitere Potentiale der bildgebenden Verfahren. So wurden auch für bestimmte Populationen aus statistischen und anderen mathematisierten Daten stärker abgeleitete Bildgebungsverfahren entwickelt. Doch der Preis der sich immer weiter von der realen Physiologie entfernenden Bildkonstruktion wird mit der Gefahr nicht nur inadäquater Artefakte, sondern auch inadäquater Sinngebungen bezahlt: der einer durch willkürliche statistische Grenzziehungen konstruierten Konzeption von Normalität und Anomalität, von Gesundheit und Krankheit. Jedoch ist ein Normbegriff nicht statisch, sondern verändert sich je nach historischen, politischen und kulturellen Gegebenheiten und sollte sich nicht in solchen Verfahren verfestigen. Weitere Probleme ergeben sich mit Bezug auf Geschlechterkonstruktionen: Da das Gehirn plastisch ist und auf äußere Reize reagiert, kann der sexuelle Dimorphismus ein biologischer Prozess, ein sozialer Effekt sein oder aus der Interaktion der Gene mit der Umwelt entstehen. Zudem ist es beim heutigen Stand der Forschung problematisch, ihn mit geschlechtsspezifischen Fähigkeiten zu korrelieren. Diese

Art der Ursache-Folge-Interpretation führt zu einem biologischen Determinismus, der Frauen bestimmte Fähigkeiten zuschreibt, andere vorenthält. Gerade die computerunterstützte Datenintegration und -visualisierung hätte das Potential, auch soziale und kulturelle Faktoren mit in die Fragestellungen einzubeziehen und könnte damit vielleicht zusätzlich zu neuen Erkenntnissen der Plastizität des Nervensystems im sozialen und kulturellen Kontext führen.

Die Informatikerin Catherina Burghart stellt Methoden und Verfahren der Computer unterstützten Neuro-Chirurgie vor. Für verschiedene in der Neurochirurgie eingesetzte Computer gestützte Verfahren, wie chirurgische Planungssysteme, intraoperative Navigations- und Führungssysteme, sowie autonome, telemanipulierte und Robotersysteme wird die Rolle der informatischen Modellbildung diskutiert. Auf verschiedenen Stufen der Vorverarbeitung des Datenmaterials, der Aufstellung von Kriterien für die Bearbeitung der Anforderungen, der Bilddatenverarbeitung, der Systemintegration bis hin zum fertigen Produkt zeigen sich äußerst komplexe Methoden, Methodenkombinationen und Verschränkungen mit der chirurgischen Umgebung. Ein besonders wichtiges und aktuelles Forschungsfeld ist dabei die online-Unterstützung der Operation. Das für die Operationsvorbereitung verfügbar gemachte Bildmaterial berücksichtigt nicht die durch den invasiven Eingriff erzeugten Lageveränderungen des Gehirns innerhalb des geöffneten Schädels. Da diese nicht vorausberechenbar sind, müssen dafür weitere Hilfen gegeben werden. In Einsatz können kommen: entweder die tomographische Überwachung während der OP mit jeweils aktualisierten Bilddaten, die Navigationsunterstützung mit Einblendung der präoperativen Bilder und Operationsmikroskop oder gar autonome Robotereinsätze.

Frau Burgharts Text zeigt exemplarisch die vielen verschiedenen Orte, Methoden, notwendigen Leistungen der informatischen Einlassung für eine solch komplexe Anwendung. Anhand kritischer Verantwortungs-, Kontroll- und Sicherheitsfragen auf verschiedenen Ebenen zeigt sie schließlich, ausgehend von der aktuellen Rechtslage, die entsprechenden Anforderungen an solche Systeme und die entstehenden individuellen und sozialen ethischen Probleme.

Die Neurochirurgen Uwe Spetzger et al befassen sich mit Möglichkeiten der Assistenz durch Computersysteme in der Neurochirurgie, im Besonderen mit Navigationshilfen und Robotik. Neuronavigation hat heute die Invasion hirneingrifflicher Eingriffe dadurch enorm reduziert, dass sie eine topographisch genaue individuelle Operationsplanung durch virtuellen Gang über mögliche Operationswege gestattet. Hierfür muss die Integration von multimodalen Bilddaten unterschiedlicher Genese für die Koregistrierung von Ursprungs- und Zielbild

geleistet werden. Dies geschieht mittels festzustellender Ähnlichkeiten durch Landmarken und elastische Transformationen, orientiert an einer prototypischen Anatomie. Hier wird natürlich die Wahl des Prototypen relevant. Informatischen Entwicklungsbedarf gibt es bei der online-Erfassung der Operationseffekte, der Neuronavigation bei brain shifts während der OP.

Die Hirnnavigation kann auch zur Steuerung von aktiven Neurorobotern, etwa zur Steuerung von Instrumenten mit besserer Positionierungsgenauigkeit als durch Menschen genutzt werden. Minimalinvasive Techniken versprechen eine schonendere chirurgische Behandlung des Patienten, so dass bisher nicht operable Hirnkrankheiten behandelbar werden. Die Autoren zeigen eine Fülle von weiteren Anwendungsmöglichkeiten, aber auch von ungelösten informatischen Problemen. Auch bei der Prothetik sind Roboter im Einsatz, doch konkurrieren hier Roboter-Neuroprothesen zum Ersatz ausgefallener Funktionen des Nervensystems mit ebenfalls künstlichen aber gentechnisch hergestellten Prothesen. Die Frage „Chip oder Gen“ wird sich noch erweisen. Hier stellen sich grundlegende ethische Fragen und solche der Selbstdefinition des Menschen in seiner Körperlichkeit und Integrität oder Partialisierung.

Neben der Vorstellung informatischer Modellbildung und ihrer Konkretisierung in ausgewählten neurologischen Anwendungsdisziplinen werden in dem Heft implizit auch einige Fragen wissenschaftstheoretischer Natur und der Gender Studies behandelt. Es zeigt sich, dass die so genannten objektiven Methoden und Verfahren und vor allem deren komplexe Kombination durchaus konstruktivistisch gedeutet werden können. Insbesondere die Visualisierungen in der Medizin sind physikalisch erzeugte und gemessene Daten, aus denen mathematisch berechnete und informatisch modellierte Technofakte konstruiert werden, deren letztlich anvisierter physiologischer Sinngehalt über lange Interpretationsketten nur sehr indirekt erschlossen werden kann. Werden solche Verfahren als „black box“ genutzt, so fehlt der InterpretIn „hermeneutischer“ Hintergrund, sie kann kontingente Artefakte nicht erkennen und es kann zu Fehlschlüssen kommen. Bei der zu Beginn apostrophierten problematischen Behandlung von Kontingenzen mit „objektivierenden“ formalen Methoden handelt es sich vor allem um Normierungen und Festschreibungen, die entweder inadäquat sein oder der Veränderung und Veränderbarkeit Widerstand bieten können, solange dagegen keine Vorkehrungen getroffen werden. Solche können in der Integration geeigneter interaktiver Möglichkeiten oder in der Schaffung eines offenen Raumes für hermeneutische Interpretationen und für die Gestaltung durch NutzerInnen bestehen. Solches kann auch für die Computer gestützte Chirurgie für die Anpassung des Systems durch die ChirurgIn

erwünscht sein, auch wenn das System während der Operationssituation stabil sein und verlässliches Verhalten zeigen muss.

Ich danke allen AutorInnen für ihre konstruktive Mitarbeit und ihre exzellenten Beiträge, Frau Dr. Schmitz für ihre Hilfe bei der Durchsicht und Bearbeitung der Texte und Frau Berszinski für ihre Hilfe bei redaktionellen Arbeiten.