

9 Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit ist durch ein erhebliches Maß an Interdisziplinärität gekennzeichnet: Methoden der Informatik wurden auf ein Problem angewendet, das unmittelbar in der Rehabilitationstechnik angesiedelt ist, seine Wurzeln jedoch in den Kognitionswissenschaften, wie z.B. in der Psychologie, hat (siehe auch [KURZE 96B]). Über die Anwendung bereits bekannter Methoden der Informatik hinaus wurden neue Verfahren zur zweidimensionalen Interaktion mit dreidimensionalen Gegenständen (bzw. ihren Abbildungen) entwickelt. Die im Laufe dieser Entwicklung entstandenen Produkte und Verfahren wurden anschließend mit Methoden der experimentellen Psychologie überprüft, die auch in anderen Zusammenhängen für Untersuchungen im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion verwendet werden.

Dieses Kapitel diskutiert im Abschnitt 9.1 die Ergebnisse unter verschiedenen Gesichtspunkten und danach im Abschnitt 9.2 die Perspektiven, die sich für die Informatik als Wissenschaft und ihre Nachbardisziplinen wie auch für verschiedene Anwendungsfelder ergeben.

9.1 Diskussion

Informatik als „Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Informationen“ [INFORMATIK-DUDEN 88, S.269; SCHNEIDER 97] beschäftigt sich mit der Auswertung bzw. Nutzbarmachung von Informationen. Vor dem Beginn der eigentlichen Auswertung muß natürlich die *Gewinnung* der Information aus der Nachricht liegen [SHANNON & WEAVER 49]. Nachrichten in unserem Zusammenhang sind die Zeichnungen, die als „informierende Bilder“ (siehe Kapitel 3 und [WEIDENMANN 94A]) als Träger der Information dienen. Eine Nachricht wird zur Information erst durch Interpretation. Die Informatik bietet drei im Rahmen dieser Schrift relevante Klassen von Interpretationsverfahren an:

Erstens stellt sie Verfahren zur Verfügung, die es dem Computer ermöglichen, Informationen aus den Nachrichten (Zeichnungen) Blinder zu entnehmen. Zweitens bietet sie Methoden, Computer-gerechte Informationen (*Daten*, hier vor allem 3D-Modell-Daten) so zu präsentieren, daß sie von Blinden interpretiert werden können. Und drittens hält sie Techniken bereit, die den Informationsaustausch von Menschen untereinander optimieren oder überhaupt erst ermöglichen (hier insbesondere, wenn einer oder beide beteiligten Menschen blind sind).

Für den (blinden) Anwender bietet sich eine etwas andere Einordnung der Rolle der Informatik bei der Unterstützung des Umgangs mit Grafiken an. Hier sind insbesondere die praktischen Werkzeuge zur Lösung konkreter Probleme von Interesse: Erstens kann durch TDraw das Problem bearbeitet werden, Blinde selbst Zeichnungen mit hinterlegter Information erstellen zu lassen. Zweitens wird mit TRender das Problem angegangen, Darstellungen räumlicher Gegenstände der haptischen Wahrnehmung angemessen zu entwerfen. Und drittens wird eine pro-aktive Hilfe bei der haptischen Erkundung von Grafiken mit TGuide realisiert.

Tabelle 9-1 zeigt, welches der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Werkzeuge für welches Teilproblem aus Informatik- und Benutzersicht von besonderer Bedeutung ist. Die Tabelle verdeutlicht, daß für das gesamte Problemspektrum Lösungsansätze erarbeitet wurden. Natürlich lösen die Werkzeuge nicht alle Probleme, die sich aus dem Fehlen des Sehannes für den Entwurf von Grafiken (aus Informatiksicht) oder für deren Erfassung (aus Anwendersicht) ergeben. Das war auch nicht Ziel der Arbeit. Ziel war es vielmehr, ein

Verfahrensgerüst und neue Techniken zur Verfügung zu stellen, die praktischen Nutzen haben, die aber insbesondere die wissenschaftliche Erforschung des Fachgebiets voran bringen bzw. teilweise erst ermöglichen.

Tabelle 9-1 Bedeutung der einzelnen Werkzeuge aus der Sicht der Informatik und der Anwender.

Informatik- An- wendersicht	Nachricht von Blinden an Rechner	Nachricht vom Rechner an Blinden	Nachricht von Blinden an Blinden	Nachricht von Sehenden an Blinden
Zeichenwerk- zeug für Blinde	TDraw		TDraw	
Zugang zu 3D- Information		TRender		TRender
Unterstützung beim Erfassen	TDraw	TGuide	TGuide	TGuide

Eben *weil* es sich um neue Werkzeuge und Verfahren handelt, ist es nicht verwunderlich, daß einige der Beobachtungen und Ergebnisse zunächst überraschen und neue Fragen aufwerfen. In den folgenden Absätzen werden daher einige Grenzen dieser Arbeit aufgezeigt, die teilweise prinzipieller Art sind, die teilweise aber auch durch die weitere Entwicklung der Informatik, im Zusammenspiel mit anderen Fachgebieten überschritten oder verschoben werden können.

Betrachtet man die in dieser Arbeit enthaltenen taktilen Zeichnungen, seien sie nun von Blinden oder für Blinde erstellt worden, so fällt zunächst deren geringe Komplexität auf. Vergleicht man diese Zeichnungen mit solchen, die im Bereich des Ingenieurwesens oder als Konstruktionszeichnungen erstellt wurden, so scheint der Versuch aussichtslos zu sein, Grafiken ähnlicher Komplexität Blinden zugänglich zu machen. Der Grund für die geringe Komplexität der taktilen Zeichnungen ist (wie in Abschnitt 3.3 beschrieben) die begrenzte Fähigkeit des Menschen, mit dem Tastsinn Linien und Zeichnungen zu erkennen, obwohl die räumliche Auflösung dieses Sinnes in vielen Fällen höher ist als die des Sehsinns, wie z.B. Katz [KATZ 89] nachweist. Die Ursachen für diese Diskrepanz sind bis heute Gegenstand der Forschung [EMILIANI ET AL. 91]. Die Verfahren zur Herstellung semantisch angereicherter taktiler Zeichnungen bieten die Möglichkeit, diese Probleme teilweise zu umgehen, indem taktil nicht darstellbare Informationen verbal präsentiert werden.

Man kann die hier beschriebenen Verfahren und Werkzeuge jeweils für sich auf ihren Wert für die unmittelbare Anwendung und für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn untersuchen. Dabei stellt man fest, daß TDraw, TGuide und die Vibratormaus einen relativ hohen unmittelbaren Nutzen für die Anwender haben, während ihr wissenschaftlicher Wert erst im Zusammenspiel mit TRender und dessen Verfahren wirklich deutlich wird. Umgekehrt kann TRender momentan noch nicht als wirkliche Lebenshilfe für Blinde betrachtet oder verwendet werden. Die diesem Programm zugrundeliegende Methodik der zweidimensionalen Darstellung räumlicher Gegenstände ohne perspektivische Verzerrung ist aber ein Schritt zur Lösung der u.a. von Emiliani [EMILIANI ET AL. 91, S. 412] aufgeworfenen Frage nach der Repräsentation der dritten Dimension in taktilen Bildern. Derartige Verfahren gewinnen im wissenschaftlichen Kontext der haptischen Mensch-Computer-Interaktion zunehmend an Bedeutung, wie die Lektüre jüngerer Tagungsbände in diesem Bereich deutlich macht (siehe z.B. [ASSETS 96, BURGER 96, CHI 97, ECART 95, EUROGRAPHICS 96, GI 94])

In der vorliegenden Form ist die Implementierung des haptischen Renderers vom blinden Benutzer selbst nicht ohne Hilfe zu verwenden. Diese Hilfe kann in Form einer Unterstützung durch *screen reader* für MS-Windows erfolgen, die dem Blinden den Umgang mit dem System ermöglicht. Ohne einen solchen *screen reader* ist das Programm nur einsetzbar, wenn ein menschlicher Vermittler am Renderer die Einstellungen vornimmt, die notwendig sind, um individuelle Vorlieben der blinden Erfasser von Grafiken zu berücksichtigen und gleichzeitig den Informationsgehalt des Modells möglichst vollständig zu erhalten. Ein ähnlicher Ansatz ist in [KURZE 95A] beschrieben; dort rekonstruiert der Vermittler als Moderator zwischen der visuellen und der nicht-visuellen Repräsentation die beiden zugrundeliegenden Daten, also das Modell.

Jedes Arbeiten mit Modellen setzt voraus, daß diese zugänglich sind und daß sie Informationen enthalten, die ihrer Natur nach nicht visuell, sondern geometrisch sind. Zur Zeit basiert die überwiegende Mehrheit der Grafiken, mit denen Sehende im Alltag arbeiten und konfrontiert sind, *nicht* auf zugänglichen Modellen. Oft handelt es sich um Fotografien, denen natürlich implizit die abgebildete Natur als Modell zugrunde liegt; diese ist aber als Grundlage für computergestützte Renderingprozesse bisher unzugänglich. Neben Fotos sind manuell mit Zeichenwerkzeugen (mechanischer oder elektronischer Art) erstellte Grafiken häufig anzutreffen; die diesen zugrundeliegenden Modelle sind meist implizit vom Zeichner verwendet worden und stehen daher nicht zum haptischen Rendern zur Verfügung. In beiden Fällen kommt erschwerend hinzu, daß nicht nur die Geometriedaten fehlen, sondern daß insbesondere auch keine semantische Anreicherung zu den Grafiken existiert. Ansätze zur Modellrekonstruktion werden einerseits in der Bildverarbeitung verfolgt, andererseits auch vom Moderator-gestützten Verfahren ermöglicht [KURZE ET AL. 94A, KURZE 95A]. Gleichwohl setzt sich auch außerhalb des Einsatzgebietes für blinde Erfasser die Erkenntnis mehr und mehr durch, daß Grafiken, insbesondere aber auch 3D-Modelle mit semantischer Anreicherung in Form von Objektnamen und anderem einen ungleich höheren Informationsgehalt haben als nur reine Geometrie-Daten. Zum Beispiel wird im Bereich der VR-Modelle (VR=„Virtual Reality“) der Nachfolge-Standard der VRML-1-Spezifikation [VRML SPEC 96], nämlich VRML 97 [VRML SPEC 97], so definiert, daß einerseits die Szenen-Struktur sich als Baum präsentiert und daß andererseits alle Knoten Namen (und eine Beschreibung) haben können bzw. sollen.

Interaktives Arbeiten mit grafischer Interaktion am Computer setzt üblicherweise eine Anzeige der bearbeiteten Grafik in „Echtzeit“ voraus. Mit dem im Rahmen dieser Arbeit verwendeten *hard-copy display* zur Ausgabe der taktilen Zeichnung ist eine haptisch erfassbare Anzeige erst nach etwa einer halben Minute möglich. Diese Verzögerung relativiert sich jedoch, wenn man berücksichtigt, daß das haptische Erfassen selbst wesentlich länger dauert als die visuelle Wahrnehmung einer entsprechenden Zeichnung. Rechnet man ferner mit der sich schon jetzt abzeichnenden Entwicklung auf dem Gebiet der taktilen und haptischen Anzeigen und Drucker, so zeigt sich das Problem als „lediglich technischer“ Natur und bald lösbar.

Die Konzentration auf die haptische Interaktion unter Verwendung anderer Modalitäten, insbesondere der Akustik, zur Unterstützung des Tastsinns sollte die Bedeutung der anderen Sinne nicht schmälern. Speziell die Bedeutung der *multi*-modalen Interaktion und die Gewinnung der „optimalen Mischung“ verschiedener Modi und Medien können und müssen sicher noch eingehender untersucht werden. Im Kapitel 6.4 wurde schon auf Synergieeffekte durch die Kombination mehrerer Medien eingegangen. So wie es im Bereich „klassischer“ Multimedia-Anwendungen für Sehende mehrere Jahre intensiver Forschung und Entwicklung, gefolgt von mehr oder weniger gelungenen Produkteinführungen, erforderte, um zu einer weitgehend akzeptierten Form von „Multimedia-Anwendungen“ im

WWW oder auf CD-ROM zu kommen, so sind gewiß auch im Bereich multimodaler Anwendungen für Blinde unter Einbeziehung des Tastsinns und des Gehörs noch einige Anstrengungen erforderlich, um die erwähnte „optimale Mischung“ zu bestimmen. Die vorliegenden Forschungsergebnisse und Werkzeuge bieten jedoch die Voraussetzung, entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Erste Hypothesen über die Faktoren, die auf Wahl und Zusammenstellung der Medien und Modalitäten Einfluß nehmen, sind schon jetzt möglich: Sicher ist das Arrangement von Informationsträgern und Übertragungskanälen vom dargestellten Gegenstand abhängig (konkrete Gegenstände sind eher taktil, abstrakte eher verbal zu erfassen), ganz sicher auch von der erfassenden Person und ihren individuellen Vorlieben. Die Forschung auf dem Gebiet der allgemeinen Mensch-Computer-Interaktion läßt - ebenso wie die vorliegenden Untersuchungen - vermuten, daß auch Gewöhnungsaspekte und die Entwicklung einer gewissen Expertise bei Langzeitnutzern eine Rolle spielen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt Methoden des Zugangs zu zeichnerisch dargestellten räumlichen Daten. Die in ihr beschriebenen Verfahren und Werkzeuge können als Grundlage für weitere Anwendungen in der Praxis sowie für die Lösung wissenschaftlicher Fragestellungen dienen, die im folgenden Abschnitt skizziert werden.

9.2 Ausblick

Die weitere Entwicklung der in der vorgelegten Arbeit behandelten Themen ist in vier Richtungen möglich: 1. Anwendung außerhalb der Forschung, 2. Wahrnehmungspsychologische Forschung, 3. haptische Mensch-Computer-Interaktion und 4. Nicht-Standard-Rendering-Verfahren in der Informatik. Diese vier Optionen werden in den folgenden Absätzen näher betrachtet.

1. Unter unmittelbaren *Anwendungsgesichtspunkten* ist die Entwicklung vermarktungsfähiger Produkte für den Rehabilitationsbereich durchaus denkbar. Dazu müßten die Einzelwerkzeuge jeweils mit schon vorhandenen Produkten gebündelt oder in sie integriert werden. Für TDraw böte sich hier eine Kombination mit Systemen wie NOMAD [PARKES 88] oder AudioTouch [LÖTZSCH 94] an. TRender ließe sich nach einer Optimierung der Benutzbarkeit für Blinde insbesondere mit einem WWW-Browser oder blindenspezifischen Erweiterungen eines solchen kombinieren (siehe z.B. [KAHLISCH 94, KAHLISCH & VOGEL 95, PERROCHON & KENNEL 95]). Diese Anwendungsfamilie bildet für die Gruppe der Sehenden heute die wichtigste Zugangsmöglichkeit zu räumlichen Darstellungen, sie sollte also auch für Blinde eine entsprechende Rolle einnehmen können. TGuide findet sicher auch zunächst Anwendungsfelder im Umfeld von Systemen wie AudioTouch oder NOMAD. Das diesem Programm zugrundeliegende Konzept läßt sich jedoch leicht auf viele andere Fälle der Navigationsunterstützung übertragen. Ähnliches gilt für die Vibratormaus, die im Zusammenhang mit einer Steuerung, wie sie in TGuide realisiert wurde, z.B. mit AudioTouch direkt einsetzbar ist. Sie würde jedoch ebenso die Navigation in Anwendungsprogrammen und virtuellen Welten (und auch Computerspielen) erleichtern.

Der Nutzen vibro-taktilen Feedbacks für Navigationsaufgaben im Rahmen von Tätigkeiten, die Bewegungen entlang bestimmter Pfade erfordern, muß noch untersucht werden. In [ACCOT & ZHAI 97] wird auf das Problem und seine Quantifizierbarkeit erstmals näher eingegangen. Man kann davon ausgehen, daß Aufgaben, die mehr als nur ein Klicken an einer bestimmten Stelle des *mouse pads* bzw. Bildschirms erfordern, in Zukunft vermehrt auftreten können.

Alle genannten Anwendungsfälle setzen voraus, daß die vorhandenen Prototypen zu ergonomisch verwendbaren Produkten weiterentwickelt werden, was insbesondere bei den Hardwarekomponenten (Digitalisier-Thermo-Stift und Vibratormaus) nötig wäre.

2. *Wahrnehmungspsychologisch* lassen sich die Ergebnisse dieser Arbeit in mindestens zwei Richtungen fortentwickeln und ausnutzen: Die haptische Wahrnehmung (nicht nur Blinder) ist ein Forschungsgegenstand, der noch eine Reihe offener Fragen enthält. Mit dem Verfahren des haptischen Renderns lassen sich viele dieser Fragestellungen einer Beantwortung näher führen. In [HOLMES 93] wird das Verhältnis von ertasteter Textur (mikrostrukturelle Textur-Gradienten) einer horizontalen Fläche und wahrgenommener scheinbarer Orientierung dieser Fläche untersucht. Das zweite psychologische Teilgebiet, das auf den Ergebnissen dieser Arbeit aufbauen kann, ist das Bildverstehen [BODEN 88, WEIDENMANN 94A]. Die Tatsache, daß Bilder ihrer Natur nach nicht visuell, sondern flächig (2D-räumlich) sind, spielt schon bei der psychologischen Untersuchung von Kinderzeichnungen eine bedeutende Rolle. Die Untersuchung des Bildverstehens Blinder und anderer Gruppen, die wenig oder keinen Kontakt mit Bildern hatten, verspricht einen Erkenntnisgewinn über das Wesen des Bildverstehens schlechthin.
3. Ein Blick in die Tagungsbände einschlägiger Informatik-Konferenzen belegt das Interesse an Fragestellungen der *haptischen Mensch-Computer-Interaktion*. Insbesondere weil haptische Interaktion für den Menschen immer sensorische *und* motorische Aktivität bedeutet, vom Computer jedoch meist nur einer dieser beiden Aspekte berücksichtigt wird (meist die motorische Aktivität des Tippens und Mausbewegungen), ist diese Fragestellung von großer Bedeutung.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt in der Ausgabe von Information zur haptischen Wahrnehmung. Die haptische Wahrnehmung selbst wird während des Abtastens nicht weitergehend unterstützt, und einige räumliche Eigenschaften wurden in Form von tastbaren Symbolen ausgegeben, die zwar möglichst intuitiv verständlich gewählt wurden, jedoch als Symbole immer noch interpretiert werden müssen, bevor die symbolisierte Eigenschaft, insbesondere die Ausrichtung von Kanten und Flächen im Raum, erfaßt werden kann. Hier bietet sich ein weites Feld möglicher Fortentwicklungen: Es hat sich gezeigt, daß zweidimensionale Krafrückkopplung mit den richtigen Geräten durchaus geeignet ist, um dreidimensionale Eigenschaften von Oberflächen darzustellen. Ein Gerät wie der Pantograph [RAMSTEIN & HAYWARD 94] kann verwendet werden, um Kräfte, die beim Abtasten realer Gegenstände dieses Abtasten beeinflussen (insbesondere die Schwerkraft), zu vermitteln.

Durch das Falten und Spreizen beim haptischen Rendern ist ohne weiteres (also ohne Symbolinterpretation) nicht mehr erkennbar, wie eine Fläche oder eine Linie im Raum wirklich angeordnet ist. Die Lage im Raum könnte durch Kräfte, die vom Pantograph erzeugt und für jedes Objekt entsprechend seiner Lage im Modell berechnet wurden, ausgegeben werden. Beide Eigenschaften des Kraftvektors könnten dabei Informationen tragen: Die Richtung der Kraft repräsentiert die Richtung der Schwerkraft, ihr Betrag die Schräglage (den Gradienten): Jedem Punkt auf einer waagerechten Kante/Fläche wird ein Null-Vektor zugewiesen, Punkten auf einer lotrechten Kante ein Vektor einer einstellbaren Maximalkraft (z.B. 1 Newton) in Richtung von „oberen“ zum „unteren“ Ende der Kante, Punkten auf schrägen oder gebogenen/gewölbten Kanten/Flächen eine dem Gradienten entsprechende Kraft zwischen Null und der Maximalkraft.

Eine entsprechende Erweiterung der Ausgabe des haptischen Renderers wäre leicht möglich, weil die Gradienten der Einzelflächen ohnehin zur Verfügung stehen. Lediglich die Anbindung an den Pantograph und die Anpassung der Zeichnungsfläche an den Arbeitsraum dieses Geräts wären zu implementieren.

4. Nachdem die Verfahren zum „fotorealistischen“ Rendern von Computergrafiken ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht haben, richtet sich das Interesse der *Computergrafiker innerhalb der Informatik* zunehmend auf Rendering-Verfahren, die nicht maximale Ähnlichkeit mit einem Foto zum Ziel haben. Einen ersten Überblick über entsprechende Techniken gaben Lansdown und Schofield [LANDSDOWN & SCHOFIELD 95], Beispiele für entsprechende Ansätze sind u.a. [SCHUMANN ET AL. 96, BURTON 95]. Diesem Forschungsgebiet ist auch die vorliegende Arbeit zuzuordnen. Während in [BURTON 95] kognitive Aspekte beim Zeichnen untersucht wurden, orientieren sich die meisten anderen Arbeiten an speziellen visuellen Effekten, die sie durch nicht-fotorealistisches Rendern erzielen wollen. Im Gegensatz dazu werden beim haptischen Rendern mechanische, tastbare Eigenschaften des Dargestellten abgebildet. Anwendungen für die Abbildung dreidimensionaler tastbarer Gegenstände auf einem zweidimensionalen Medium lassen sich auch außerhalb des Blinden-Bereichs finden: Beispielsweise arbeiten Ärzte an dreidimensionalen „Objekten“, den Patienten. Deren - insbesondere auch tastbare - Eigenschaften werden in den entsprechenden Lehrbüchern seit langem in zwei Dimensionen dargestellt, wie Abbildung 9-1 zeigt.

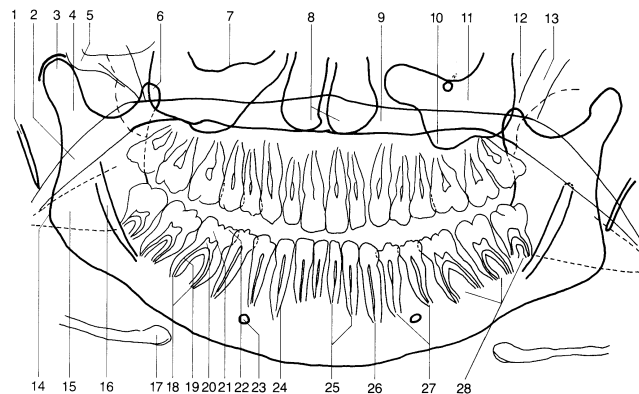


Abbildung 9-1 Darstellung eines Kiefers in einem Anatomiebuch. Der Knochen ist „aufgefaltet“.

Gerade in Verbindung mit einer tastbaren Ausgabe der Zeichnung und einer Verwendung eines *force feedback*-Geräts ließen sich so medizinische Sachverhalte und Lehrstoffe gut multimodal darstellen.

Schließlich hat sich gezeigt, daß viele Menschen, auch Blinde, nicht so zeichnen, wie sie etwas unmittelbar erfassen (sehen oder ertasten), sondern so, wie sie wissen, daß es aufgebaut ist [BURTON 95]. Ähnliches erwarten auch einige von Zeichnungen, die sie erfassen: Eine Zeichnung soll die *wesentlichen* Eigenschaften eines Objekts darstellen, nicht die sichtbaren (oder tastbaren). Übertragen auf das Problem der taktilen Darstellungen für Blinde stellt sich die Frage, wie man wesentliche Eigenschaften tastbar macht. Die Topologie einer Szene und ihrer Teilobjekte ist für sie sicher wesentlich. Infolgedessen könnte man eine Szene auf ihr skelettartiges Grundgerüst reduzieren, dieses in die Ebene falten/spreizen, es mit einer impliziten Oberfläche versehen (*implicit surface* [BLOOMENTHAL & WYWILL 90, WYWILL 94]) und anschließend rendern. Die zu erwartenden Ergebnisse hätten vermutlich große Ähnlichkeit mit Zeichnungen von Kindern oder Menschen, die keine kulturelle Tradition des Zeichnens haben, z.B. Blinden.

Die Vielfalt der möglichen Fortentwicklungen der in dieser Arbeit vorgestellten Methoden und Werkzeuge spiegelt die Vielfalt der Wissenschaft wider, aus der diese geboren wurden: Die Informatik als Wissenschaft der Informationsverarbeitung und -präsentation [SCHNEIDER 97] ist geradezu prädestiniert, anderen Disziplinen und auch Anwendungsfeldern Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen diese weiterarbeiten können. Ebenso kann die Informatik mit Erkenntnissen, Verfahren und Werkzeugen anderer Wissenschaften sich selbst besser fortentwickeln als nur durch weitere Verfeinerung ihrer originären Spezialdisziplinen. In diesem Sinne versteht sich diese Arbeit auch als bidirektionale Verknüpfung der Informatik mit benachbarten Wissenschaften und der Welt der Anwendungen.