

“Das Wort ‘Realität’ ist von den Wurzeln ‘Ding’ (res) und ‘denken’ (revi) abgeleitet. ‘Realität’ bedeutet ‘alles, woran du denken kannst’. Das ist nicht ‘Das-was-ist’. Keine Vorstellung kann ‘Wahrheit’ im Sinne von Das-was-ist erfassen.”¹

1. Imaging Science

Bildgebende Verfahren

Unabhängig voneinander wurden 1986 in Chicago, Illinois, an der *University of Chicago/Argonne National Laboratory* von Robert N. Beck und in Rochester, New York, am *Rochester Institute of Technology* von Rodney Shaw der Fachbereich *Imaging Science* gegründet. In diesem Kapitel sollen Ursprung und Konzeption, im zweiten, die Arbeitsfelder dieser Disziplin vorgestellt werden.

Die Erschließung neuer bildgebender Verfahren, wie die der Mikroskopie, Teleskopie und Fotografie, erweiterte die naturgegebene Sehkraft des Menschen und ermöglichte das Observieren, Speichern und Studieren von Objekten durch ihre visuelle Vergegenständlichung. Objekte, die sehr klein sind, oder sehr große, die weit entfernt sind. Viele Objekte ändern ihren Zustand oder ihre Eigenschaften in der Zeit, und/oder sind von solcher Komplexität, daß sie nicht detailliert verbal oder mathematisch beschrieben werden können. Abbilder (Images) werden in der Wissenschaft benötigt, um miteinander zu kommunizieren, um die durch Beobachtung erhaltenen Einsichten zu teilen, und um reproduzierbare Untersuchungsgegenstände/Beweise zu liefern, als Unterstützung für jedwede Schlussfolgerung aus diesen aufgezeichneten Beobachtungen. In den letzten Jahrhunderten wurde auf diese Weise die Beobachtung und Vermessung von Objekteigenschaften durch deren Abbilder ein essentieller Teil des experimentellen Aspektes der modernen, wissenschaftlichen Methode, welche ständig und dringend neue und verbesserte

¹siehe D. Bohm, 1977, in Gary Zukav, 1981, “Die tanzenden Wu Li Meister”, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, Seite 350

Geräte zur Recherche benötigt - konzeptionelle, physikalische und methodische Geräte, bzw. Werkzeuge.

Die Wissenschaftler benutzen heutzutage bildgebende Verfahren, um molekulare Strukturen zu erforschen, um anatomische Prozesse zu beobachten und um physikalische Systeme zu modellieren. Die neuesten bildgebenden Verfahren ermöglichen es ihnen, dynamisch mit wissenschaftlichen Phänomenen, die auf einem Computerbildschirm modelliert wurden, zu interagieren. So können Forscher beispielsweise jetzt Experimente im Erdkern simulieren und beobachten, wie der Kern reagiert. Durch Veränderungen im Druck, der Temperatur und der materiellen Zusammensetzung.

Da die Bilder auf computerisierten Daten und mathematischen Gleichungen beruhen, können die Wissenschaftler innerhalb ihrer Modelle simulieren, beobachten und interagieren. Und von dort aus, sowohl auf die existierenden Weltmodelle schließen, als auch neue Modelle über diese Welt entwickeln.

In der jüngsten Vergangenheit haben die deutlichen Fortschritte der Computerwissenschaft, der Computertechnologie und der computergestützten Bildgebungsverfahren die Anzahl der zu beobachtenden Objekteigenschaften erheblich vergrößert, ebenso wie die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, mit der sie gemessen werden können.² Darüber hinaus sind ganze Forschungszweige aus der Notwendigkeit entstanden, eine generalisierende methodische Erklärung für Phänomene zu finden, die durch diese computergestützten Bildgebungsverfahren beobachtbar wurden. So z.B. die salopp als *Chaosforschung* bezeichnete Disziplin nichtlinearer Thermodynamik rückgekoppelter Vielteilchensysteme.³

"In seinem Inneren arbeitet der Rechner nicht mit Bildern, sondern mit Ketten von Zahlen. Wie sich der Wert jeder Ware unterschiedslos in Geld ausdrücken läßt,

²vgl. R. N. Beck, 1988, "The Emerging Field of Imaging Science", UC/ANL Center for Imaging Science, Chicago, Unpublished discussion paper (available on request), Seite iii

³vgl. Prof. H. Zeitler, Dr. W. Neidhardt, 1993, "Fraktale und Chaos", Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Seite 1 ff.

so ist dem Computer jedes Bild nur eine einzige Parade von Nullen und Einsen. Just das ist seine Stärke, denn mit formalen Operationen auf diesen Zahlen lassen sich Bilder beliebig verändern: komprimieren beispielsweise, auch analysieren, arrangieren, präsentieren. Dem Computer ist es gleichgültig, ob die Zahlenkette das Bild eines Licht- oder Elektronenmikroskops codiert, eine Röntgenaufnahme oder ein Kernspinresonanzbild. Damit wird es möglich, Bilder unterschiedlicher Herkunft miteinander zu vergleichen und zu vermischen."⁴

Diese Entwicklungen führten in den USA zur Konzeption und Einführung des Fachbereiches *Imaging Science*.

Imaging Science stellt verbesserte Werkzeuge für professionelle Verwendung (z.B. in der medizinischen Praxis), genauso wie für die Forschung und Ausbildung. Konzeptionelle, physikalische und methodische Werkzeuge für die Akquisition und Verbreitung von Information und Wissen über die uns umgebenden Objekte und der Prozesse, denen sie unterliegen. Ein prinzipielles Ziel von *Imaging Science* ist die Entwicklung eines umfassenden Verständnisses von Geräten für die optimale Produktion und Nutzung von Abbildern. Die Objekte des Interesses erstrecken sich über das gesamte Spektrum von Elementarteilchen, bis zu Clustern von gigantischen Galaxien im Universum. Das Sonnensystem und vor allem die Erde mit all' ihren Lebensformen, sind Objekte von unmittelbarem Interesse. Ebenso wie der menschliche Körper und vor allem das menschliche Gehirn, also Objekte von großer Komplexität. Diese Objekte werden gegenwärtig in den traditionellen Wissenschaftsdisziplinen mittels computergestützter Bildgebungsverfahren studiert. Diese liefern nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Informationen von Struktur und Funktion.⁵

"In diesem Metier bewegen sich Virusforscher und Astrophysiker, Geologen und

⁴siehe G.von Randow, 31.3.1995, "Die neue Macht des Auges", in "Die Zeit", Nr. 14, Seite 64

⁵vgl. R. N. Beck, 1988, "The Emerging Field of Imaging Science, UC/ANL Center for Imaging Science, Chicago, Unpublished discussion paper (available on request), Seite iii,

Materialforscher, Chiptechniker und Gerichtsmediziner. Nicht selten arbeiten sie mit ähnlicher oder gar derselben Mathematik, Informatik und Computerhardware - etwa, wenn sie, wie in der Hirnforschung und der Fernerkundung, Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammenrechnen; wenn sie, wie in der Elektronenmikroskopie, aus vielen schlechten Teilbildern ein gutes stricken; wenn sie es mit Symmetrieannahmen vervollständigen, störende Oszillationen herausrechnen, oder Kanten zwischen Hell und Dunkel verstärken; wenn sie abwägen müssen zwischen Auflösung und Vergrößerung. Viele ihrer Probleme sind miteinander eng verwandt, weshalb es tatsächlich an der Zeit ist, die gemeinsame Wissenschaftsbasis zu festigen."⁶

Visuelle Eindrücke sind Teil unserer ersten Erfahrungen im Leben. Wir sehen, bevor wir sprechen. Wir nehmen die Objekte um uns wahr und erkennen sie, bevor wir ihre Namen lernen. Wir gewinnen Einsichten in die Beziehungen zwischen Gegenständen, lange bevor wir diese Beziehungen in abstrakten Termini erklären können. Also akzeptieren wir schon in jungen Jahren unsere visuellen Wahrnehmungen, die einer natürlichen Sehkraft entspringen, als eine Quelle wichtiger Informationen, die uns helfen, uns in der Welt zurecht zu finden. Zur selben Zeit lehrt die westliche Kultur, Bilder als verlässliche Quelle für Information und Wissen vorsichtig und sogar mißtrauisch zu betrachten. Unvollständigkeit und falsche Erscheinungen (der Schatten an der Wand ist eindeutig eine unvollständige Repräsentation des eigentlichen Gegenstandes) können vielleicht in Worten und quantitativ in mathematischen Formeln erklärt werden. Als Konsequenz werden diese zuletzt genannten Formen des Wissens und der Kommunikation im allgemeinen als verlässlicher betrachtet, im Gegensatz zu Abbildern der Objekte. Auf der anderen Seite liefern diese Bilder vielleicht umfangreiche und nützliche Information, Aspekte von so großer Komplexität, daß eine verbale oder mathematische Beschreibung unmöglich wird. In vielen Fällen, vor allem in der Physik und Biologie, stellen die bildgebenden Verfahren die einzig Möglichkeit der Observierung und Vermessung bestimmter

⁶siehe G. von Randow, 31.3.1995, "Die neue Macht des Auges", in "Die Zeit", Nr.

Objekteigenschaften dar.⁷

Um die Disziplin *Imaging Science* zu definieren und zu verstehen, in welcher Beziehung Bilder zu anderen Mitteln des Verständnisses und der Kommunikation stehen, werden im folgenden beide, Bilder und Worte als *Zeichen* verstanden, als hilfreich für Wissen und Kommunikation. Außerdem werden die visuellen und verbalen Modalitäten als Komponenten des umfassenderen Feldes der Semiotik betrachtet, wobei Robert N. Beck Semiotik als die *Wissenschaft der Zeichen* versteht.⁸

Beck untersucht die Beziehung zwischen den visuellen und verbalen Modalitäten aus einer evolutionären Perspektive. Ausgehend von dem überzeugenden Modell, daß der Erfolg des Überlebens und der Weiterentwicklung als Individuen und Spezies heute - und schon immer - abhängig ist von der Information über unseren Lebensraum, von unserer Fähigkeit, diese Information effektiv zu prozessieren und anpassungsfähig darauf zu reagieren. Diese Information nehmen wir zum größten Teil in Form von Licht und Ton durch unsere Sinne auf.⁹

⁷vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 1

⁸vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 2

⁹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 2

1.1.

DIE FRÜHE EVOLUTION DES SEHENS UND HÖRENS

(vor ca. 20.000 Jahren)

1.1.1. Binokulares Sehen

Licht-Perzeption, die Reaktion auf einen schmalen (sichtbaren) Bereich des elektromagnetischen Spektrums, und binokulare Sicht entwickelten sich sehr früh. So hatten die Mollusken, z.B. bereits vor mehr als 450 Millionen Jahren, ein bemerkenswert ausgebildetes visuelles System.

Bei dem entwickelteren Primaten und frühen Homo Sapiens liefert das Sehen die grundlegenden Mittel, um essentielle Informationen für das Lernen/Wissen über die materiellen Gegenstände in ihrer Umwelt und über einige der dynamischen Prozesse, denen diese Gegenstände unterliegen, zu erhalten.

In diesem Zusammenhang wird *Wissen* von Beck als komplexes Set von neurologischen/mentalenen Prozessen beschrieben, welche verknüpft seien mit dem Ausrichten von Aufmerksamkeit, dem Observieren, Abstrahieren, Erinnern/Erkennen, Generalisieren, Extrapolieren und Klassifizieren von Objekten auf der Basis gemeinsamer Charakteristika, Verhaltensweisen und abstrakten Eigenschaften des Sehens.

Obwohl alle materiellen Gegenstände einmalig seien, so Beck, werde in der Kindheit das noch unterentwickelte visuelle System wahrscheinlich nicht in der Lage sein, *ähnliche* Objekte zu unterscheiden. Allerdings sei es möglich, daß z.B. die visuelle Eigenschaft 'rund' bei bestimmten Gegenständen nach der Observation abstrahiert werde und Objekte mit dieser Eigenschaft als gleich, oder zur selben Kategorie gehörend, erkannt/erinnert würden.

Außerdem könne durch den mentalen Prozeß des Extrapolierens der 'runden' Form, bis hin zur Limitierung durch die 'idealen' Formen, die Klasse von Objekten mit dieser Form zu den idealisierten, rein mentalen Konzepten des Kreises und der Kugel führen, die in der materiellen Welt nicht existierten. Wir nutzen diese Idealisierungen in mentalen Modellen und Argumentationen/logischem Denken sogar, bevor wir diese Eigenschaften mit Worten, wie 'rund' oder 'kugelig'

bezeichnen und lange, bevor wir die Worte 'Kreis' und 'Kugel' formal in mathematischen Termini definieren können.

Wir würden diese Idealisierungen oder 'perfekten Formen' in eher kontemplativen Problem-Lösungs-Perioden benutzen - wenn wir philosophieren, oder versuchen, uns der 'Wahrheit' oder 'Essenz' der materiellen Objekte anzunähern, ohne die Notwendigkeit einer sofortigen Reaktion durch sensorische Inputs.¹⁰

¹⁰vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 2-4

1.1.2. Binaurales Hören

Ton-Perzeption, die Reaktion auf einen schmalen (hörbaren) Bereich des Tonspektrums und binaurales Hören, entwickelte sich parallel mit dem Sehen und gab zusätzlich Richtungs-(directional)-information über Objekte in der Umwelt. Mit der Sensibilität für Töne aus allen Richtungen und unabhängig von einer klaren Sicht, lieferte das binaurale Hören die komplementierende Information für das Sehen als Mittel für Wissen.¹¹

¹¹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 4

1.1.3. Visuelle und Verbale Kommunikation

Binaurales Hören vergrößerte den Überlebenswert der Vokalisation als ein Mittel der Kommunikation, was letztendlich zu der viel späteren Evolution von Sprachvermögen und Sprache (speech and language) führte. Während der Jahrtausende vor der Entwicklung von artikulierter Sprache schien es plausibel, da das Sehen nicht nur die grundsätzlichen Mittel für Wissen stellte, sondern auch für die Kommunikation. Durch sichtbare Posen, Gesten, Gesichtsausdruck, Augenbewegung, sowie Handsignale und -zeichen. Nach der Entwicklung der für artikulierte Sprache erforderlichen vokalen Strukturen - ungefähr vor 100.000 Jahren - waren die Menschen dieser Zeit sehr schnell in der Lage, komplexe, vokale Muster zu produzieren. Sehr modulierte (inflected) Sprache wurde möglich. Mit der schnellen Vermehrung, der Wanderung und der relativen Isolation kleiner Gruppen über viele Jahrtausende, ist es erklärlich, daß Hunderte verschiedener Sprachen entstanden. Jede beinhaltet zumindest ein paar Worte, die ganz speziell auf den jeweiligen Kontext des Wissens und der Kommunikation, über die Objekte der lokalen Umwelt und deren Herausforderungen, abgestimmt waren.

Die Entwicklung und Ausarbeitung (elaboration) der gesprochenen Sprache erforderte keine Instrumente oder Werkzeuge und konnte daher ungehindert weiter verfolgt werden. Für die frühe Entwicklung der visuellen Mittel für Wissen und Kommunikation galt das Gegenteil, hier mußte die Entwicklung von Wissenschaft und Technologie abgewartet werden. Als Konsequenz wurden die visuellen und verbalen Mittel durch das unterschiedliche Tempo ihrer frühen Entwicklung separiert. Dabei verdrängten die verbalen Mittel die visuellen zunehmend und wurden zum wichtigsten Kommunikationsmittel, um Wissen und Glauben über die mündliche (oral) Tradition des Benennens und Beschreibens von Objektklasse und -verhalten, des Erklärens/Unterrichtens, des Anleitens (directing) und des Beratens (mentoring) zu vermitteln. Spuren der mündlichen (oral) Tradition existieren in allen Kulturen.¹²

¹²vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 4

1.2.

JÜNGERE ENTWICKLUNG DER VERBALEN UND VISUELLEN MITTEL

(vor ca. 20.000 bis ca. 500 Jahren)

1.2.1. Speicherung und manuelle Reproduktion/Replikation

Das Speichern von Informationen mit einfachen und bereits zur Verfügung stehenden Mitteln, in Form von Bildern, Piktogrammen, Zeichen und Symbolen als Repräsentation von Worten, sollte die orale Tradition verbessern und verstärken. Besonders im Zusammenhang mit kommerziellen Transaktionen und Handelsvereinbarungen, später in der Gesetzgebung und religiösen, sowie weltlichen Schriften. Diese Aufzeichnungen reduzierten die Notwendigkeit, sich auf die Erinnerung zu verlassen und erleichterten somit die Beschaffenheit (consistency) der Kommunikation. Diese Tatsache pflegte im Gegenzug die Kontinuität der Kultur durch einen systematischen Transfer von Information und Wissen von einer Generation zur nächsten und führte zu mehr formaler Ausbildung.

Das Speichern akkurater piktoraler Repräsentationen von Objekten und dynamischen Prozessen ist schwierig und erfordert die Entwicklung von künstlerischer Sensibilität und Fähigkeit. Außerdem mußten passende Medien, Werkzeuge und Techniken für feine, grafische Übersetzungen geschaffen werden. Vor ca. 20.000 Jahren entstanden die frühesten bisher entdeckten Bilder, die bestbekanntesten Höhlenmalereien in Spanien und Frankreich. Im Hinblick auf die Sorgfalt, mit der diese Bilder produziert wurden, nimmt man allgemein an, daß sie einem sehr ernsthaften Zweck dienten: wichtige Informationen zu kommunizieren. In dieser Zeit der absolut manuellen Methoden war es schwer und zeitaufwendig, feine und detaillierte Bilder wahrheitsgetreu und ästhetisch zu reproduzieren. Im Gegensatz dazu war es relativ einfach, zum Zwecke der Kommunikation, abstrakte, symbolische Repräsentationen, wie Piktogramme, Hieroglyphen und Buchstaben, zu vervielfältigen. Vor ca. 7.000 bis 2.000 Jahren entstanden aus der relativen Bequemlichkeit der Aufzeichnung von Worten, verglichen mit detaillierteren Bildern, unzählige Schreibstile.

Obwohl das Schreiben die Dominanz der verbalen über die visuelle Kommunikation verstärkte, sei, so Beck, der Erfolg der (geschriebenen) verbalen Mittel bis zu einem bestimmten Punkt auf die bemerkenswerte Fähigkeit des menschlichen visuellen Systems, Muster zu erkennen, zurückzuführen. In vielen Zusammenhängen und für viele Zwecke sind die symbolischen Repräsentationen (Worte benutzend), sowohl effizient, als auch angemessen, um wichtiges Wissen oder Anschauungen (beliefs) von materiellen Objekten zu kommunizieren. Trotz ihrer Unvollständigkeit und ihrer bis zu einem gewissen Grad reichenden Ungenauigkeit, z.B. wenn Worte Idealisierungen repräsentieren.¹³

¹³vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 4-5

1.2.2. Drucken

Die schnelle Verbreitung der geschriebenen Sprache wurde durch die Erfindung der Druckerpresse durch Gutenberg - vor nur 500 Jahren - beschleunigt. Dieser technologische Fortschritt hatte einen enormen Einfluß, vor allem auf die westliche Kultur und verstärkte zusätzlich die Dominanz der verbalen über die visuelle Kommunikation, wie aktuell noch in unserem "logozentrischen"¹⁴ Bildungssystem offensichtlich.¹⁵

Durch die Vervielfältigung von Text durch den Buchdruck wurde die Sprache wesentlich selbstreferenzieller. In dieser Tatsache begründet sich zum einen die fortschreitende Auflösung der Sprache in Zeichensysteme, die erfolgreichste Konzeption ist hier die moderne Mathematik, und zum anderen eine 'Entfremdung' von der 'Welt', also von der Möglichkeit, von Information zu sprechen.

¹⁴siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 5

¹⁵vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 5

1.3.

TECHNOLOGISCHE FORTSCHRITTE IN BEZUG ZU VISUELLEN UND VERBALEN MITTELN

(vor ca. 500 Jahren bis heute)

1.3.1. Fortschritte in mechanischen und elektrischen/elektronischen Mitteln der verbalen Kommunikation

Der Erfindung der Schreibmaschine, patentiert 1829 in den USA, folgte eine Vielzahl von technologischen Fortschritten für das Aufzeichnen und/oder die Kommunikation verbaler Information, wie der Telegraf, das Telefon, das Mikrofon, der Phonograph, die magnetische Aufzeichnung und das Radio. Alle diese Technologien basierten auf der auftauchenden (emerging) Wissenschaft des Elektromagnetismus. Die Revolution in der verbalen Kommunikation, via elektronische Mittel, setzt sich bis heute durch die jüngsten Entwicklungen der Computertechnologie und in ständiger Beschleunigung fort: Textverarbeitung, Textscanner mit Software für optische Buchstabenerkennung, Software für Spracherkennung und -synthetisierung, Multi-Media-Technologien, wie interaktives Fernsehen und Computerarbeitsplätze, die verbales und visuelles Material zusammenbringen.¹⁶

¹⁶vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 5-6

1.3.2. Fortschritte in optischen Bildgebungsverfahren

Auf der visuellen Seite erweiterte die Entwicklung des Mikroskops und des Teleskops die Möglichkeiten der visuellen Observation. Die Entdeckung der fotosensitiven Emulsion in der Mitte des 19. Jahrhunderts machte das Speichern von Bildern aller Art möglich und begründete die Entwicklung des bewegten Bildes, des Zeitraffers und der Hochgeschwindigkeitsfotografie. Die Entdeckung der elektronischen Bildaufzeichnung (Video) revolutionierte das Aufzeichnen von optischen Abbildern und deren Verbreitung, meist durch das Fernsehen. Obwohl diese Fortschritte bekannt sind, ist es wichtig festzuhalten, daß alle diese bildgebenden Verfahren der Nutzung von 'sichtbarem Licht' bedürfen und sich in den optischen Wissenschaften begründen. Diese Methoden basieren auf der Emission, Reflektion oder Transmission von sichtbarem Licht, von oder durch das abgebildete Objekt, die bilderzeugenden Geräte basieren auf dem 'Krümmen' oder der Refraktion von Licht durch Linsen.¹⁷

¹⁷vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 6

1.3.3. Non-optische Bildgebungsverfahren

Erst 1895, mit der Entdeckung der Röntgenstrahlen, wurde es möglich, Bilder bestimmter *interner* Objektstrukturen, die für das Licht unsichtbar sind, zu erstellen, basierend auf physikalischen Prinzipien, die nicht das sichtbare Licht betreffen.

Durch den Einsatz von Röntgenstrahlen wurde das Wissen über Objekteigenschaften erweitert, Wissen, das uns über rein optische Mittel nicht zugänglich ist. Wilhelm C. Röntgen's (1845-1923) Entdeckung löste eine Welle der Kreativität im Bereich der bildgebenden Verfahren aus, die seitdem exponential angestiegen ist.¹⁸

¹⁸vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 6

1.4.

IMAGING SCIENCE: KONZEPT UND HERAUSFORDERUNG

Folgende bildgebende Verfahren stehen uns heute zur Verfügung:

1. MIKROSKOPIE
2. RÖNTGENBILDER
3. MAGNETIC RESONANCE IMAGING (Kernresonanzspektroskopie)
4. RADIONUKLIDEN IMAGING (z.B. Positronemissionstomografie)
5. ULTRASCHALL
6. HOLOGRAFIE UND PSEUDO-HOLOGRAFIE
7. TELESKOPIE
8. COMPUTERGENERIERTE BILDER (z.B. Bildsimulation und -animation)
9. DESIGN (z.B. Fotografie, Film, Video)
10. COMPUTER-SEHKRAFT (z.B. Roboter)
11. MENSCHLICHE SEHKRAFT (vision)¹⁹

Laut Beck kann diese Auflistung die Möglichkeiten dieser Werkzeuge nur andeuten, weil jedes dieser bildgebenden Verfahren auf ganz unterschiedliche Arten benutzt werden kann, um ein vollständigeres Verständnis der strukturellen und funktionalen Eigenschaften von materiellen Objekten zu erhalten.

Physik und Chemie basieren auf der Beobachtung und Vermessung von statischen und dynamischen Objekteigenschaften. Computergestützte, quantitative Bildgebungssysteme erweitern den Bereich der Beobachtung und Vermessung um die strukturellen und funktionalen Eigenschaften von Objekten, die ansonsten unzugänglich wären.

Alle Objekte, einschließlich jener von biomedizinischem Interesse (z.B. Moleküle, Zellen, Organe und intakte Organismen), können prinzipiell durch ihre physikalische/chemische/isotopische Zusammensetzung an jedem Punkt in Raum und Zeit beschrieben werden. Mit der Zusammensetzung werden bestimmte feststellbare (detectable) Eigenschaften assoziiert, davon können

¹⁹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

einige in Raum und Zeit lokalisiert werden. Diese Eigenschaften können in einem *Bildraum* ("image space"²⁰) *karthografiert* ("mapped"²¹) werden, um ein Abbild zu formen, das die räumliche Verteilung der entdeckten Eigenschaft (Durchschnittswert des Beobachtungszeitraums) repräsentiert.

Diese *Karten*, oder Abbilder, sind immer unvollständige Repräsentationen des Objektes auf unterschiedliche Weise. Im besonderen sind sie:

- unvollständige Repräsentationen, weil jedes bestehende bildgebende Verfahren womöglich nur eine limitierte Anzahl von Objekteigenschaften erkennt und karthografiert;
- unpräzise Repräsentationen, weil Unschärfe, nicht-lineare Verzerrung, räumliche Deformation und Artefakte immer in Bildern präsent sind;
- nicht reproduzierbar, weil das Signal der Objekteigenschaft immer von zufälligen Schwankungen oder Rauschen begleitet wird.²²

In Konsequenz seien die durch Abbilder gewonnenen Maße der Objekteigenschaften entsprechend unvollständig. Diese Unvollkommenheiten sollen im Fachbereich *Imaging Science* angesprochen werden und führen zu den von Beck definierten Zielsetzungen, einschließlich:

1. die Anzahl der abbildbaren Eigenschaften zu erhöhen, so daß die Repräsentationen der Objekte vollständiger werden;
2. die Genauigkeit der gemessenen Werte der Objekteigenschaften zu erhöhen:
 - durch die Verbesserung der räumlichen Darstellung (um die Berechnungen des räumlichen Mittelwertes, oder Unschärfe zu reduzieren),
 - durch die Verbesserung der Empfindlichkeit der bildgebenden Systeme (um sowohl den Beobachtungszeitraum zu verkürzen, als auch die Berechnungen des temporalen Mittelwertes oder Bewegungsunschärfe zu reduzieren),

²⁰siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

²¹siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

²²vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

- durch die Verbesserung der temporalen Auflösung,
 - durch die Verbesserung der Energieauflösung (um den Effekt der Streustrahlung [scattered radiation] zu reduzieren)
 - und durch die Reduktion von Verzerrungen, Deformationen, Artefakten, etc.;
3. die Reproduzierbarkeit der gemessenen Werte der Objekteigenschaften zu erhöhen, durch die Reduktion des Rauschens, z.B. durch die Erhöhung der Empfindlichkeit des Systems; durch die Nutzung kontrasterhöhender Agenten (agents); oder als letztes Mittel, durch die Verlängerung des Beobachtungszeitraumes.²³

Die Disziplin *ImagingScience* soll ein besseres Verständnis der Gründe dieser Ungenauigkeiten liefern, so daß die Abbilder verbessert werden können. Dieses Verständnis verlangt Aufmerksamkeit auf allen Ebenen der bildgebenden Verfahren, von der Bilddatenakquisition (z.B. Entdecken eines Signals und dessen Lokalisierung) bis zur Bildanalyse. Denn alle Einzelschritte können die Genauigkeit und Reproduktionsfähigkeit der Meßdaten aus der Observation beeinflussen. Im Besonderen würde uns ein solches Verständnis prinzipiell ermöglichen, alternative Strategien zu entdecken und die Parameter der Einzelschritte zu optimieren, basierend auf angemessenen (zielorientierten) Kriterien für die Bewertung von Bildern. Bis heute wurden in diesem Sinne keine bildgebenden Verfahren vollständig optimiert. Dabei steht die Bildqualität im klaren Zusammenhang mit den Meßdaten, die im Prozeß gewonnen werden.²⁴

Die meisten der neuentwickelten bildgebenden Verfahren nutzen die digitale Computertechnologie. Dieses erleichtert nicht nur die Kalibrierung, die essentiell für quantitative Messungen ist, sondern, und das scheint von größerer Bedeutung, der Einsatz digitaler Computer ermöglicht es, jedes Bild in Form von Zahlenreihen zu beschreiben und zu speichern. Dabei repräsentiert jede Zahl

²³vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

²⁴vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

den lokalen numerischen Wert, der mit der abgebildeten, kartografierten Objekteigenschaft assoziiert wird. Diese Abbilder sind immer *unvollkommene* Repräsentationen des Objektes. So, daß sie immer unvollständig und bis zu einem gewissen Grad ungenau, und aus den genannten Gründen nicht reproduzierbar sind. Damit ist nicht gesagt, daß Bilder nicht von Wert sind. Vielmehr ist eines der weitreichenden Ziele von *ImagingScience*, die Ursprünge solcher Unvollkommenheiten zu identifizieren und Mittel zu ersinnen, um die Produktion und Wiedergabe von Bildern für spezifische Anwendungen zu verbessern.

Da die Bilder durch eine Zahlenreihe repräsentiert werden, ist es offensichtlich, daß sie in jedem erdenklichen Sinne geändert werden können, in dem Zahlen geändert werden. So kann z.B. bei dem Ersetzen jeder Zahl der Reihe, durch den lokalen Durchschnittswert, die zufällige Fluktuation (oder *Rauschen*) in einem Bild reduziert werden. Der erwünschte Grad des *Bildglättens* (oder anderer Manipulationen, wie das *Bildverschärfen*) ist von der jeweiligen Zielsetzung abhängig. Die Frage lautet dann: wieviel Schärfe ist optimal in einer bestimmten Applikation? Die Antwort ist abhängig von der jeweiligen Intention der Bildqualität. Dieses ist wiederum von zentraler Bedeutung für jeden, der an der Entwicklung bildgebender Verfahren beteiligt ist. Hierbei muß bedacht werden, daß die Option des *Bildglättens* durchaus eine irreführende Perspektive auf das Beobachtungsobjekt geben kann. So wurde bei Satellitenaufnahmen der Ozonschicht über der Antarktis jahrelang das Ozonloch herausgerechnet, weil die entsprechende Software die empfangenen Daten als unmögliche Werte interpretiert hatte.

Die Identifikation geeigneter Maßeinheiten der Bildqualität für unterschiedliche Zwecke (z.B. Wissenschaft, Medizin, Ausbildung, Nachrichten und Unterhaltung) und für unterschiedliche Ziele (z.B. Vermessung einer bestimmten Objekteigenschaft, der Ermittlung einer bestimmten Krankheit, Maximierung der Lernrate und Speicherung eines bestimmten Inhaltes, effektive Kommunikation) bleibt eine der wesentlichen Herausforderungen des entstehenden Fachgebietes *Imaging Science*.²⁵

²⁵vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 9

Die generelle Frage lautet nach Beck: was sind die optimalen Werte der Parameter in Zusammenhang mit *jedem* Einzelschritt eines bestimmten Visualisierungsprozesses, um ein spezifisches Ziel zu erreichen?

Er listet die bei *jedem* digitalen, bildgebenden Verfahren beteiligten Einzelschritte auf:

1. DARZUSTELLENDEN OBJEKTE

definiert durch die physikalische, chemische und isotopische Komposition an jedem Punkt in Raum und Zeit, die zu der Entdeckung von Eigenschaften führt, z.B. Emission, Reflektionsfähigkeit (reflectivity), Fluoreszenz, Durchsichtigkeit/ Undurchsichtigkeit (Opazität) und streuende (scattering) Eigenschaften, Entspannungszeiten, Leitfähigkeit (Konduktivität), Kraftfelder etc.;

2. BILDDATENAKQUISITION

Ermittlung und winkelige/räumliche/zeitliche Lokalisierung von Strahlung oder anderen Eigenschaften, die mit dem Objekt assoziiert werden;

3. BILDBERGUNG (recovery)

Rekonstruktion und Prozessierung mit analytischen, statistischen und Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung (probabilistic); linear und nicht linear; stationären (stationary) und nicht stationären Methoden;

4. BILDSPEICHERUNG UND -VERTEILUNG (distribution)

Kompression, Speicher, Zurückholen (retrieval), Netzwerke und Übertragung;

5. BILDDARSTELLUNG/VISUALISIERUNG

Monochrom/Farbe; 2-dimensional und 3-dimensional; statisch und dynamisch; Einzelbilder und Überblendungen;

6. BILDOBSERVATION

Beobachterleistung (performance): visuelle Perzeption, Kognition und Speicherung;

7. BILDANALYSE

Segmentation und Vermessung; morphologische Analyse; Mustererkennung; Merkmalherkunft (feature extraction); Expertensysteme und Schemata der Künstlichen Intelligenz;

8. BILDBEWERTUNG

physikalische Maße der Bildqualität (maximales Signal-zu-Rauschen-Verhältnis [signal-to-noise], Informationsinhalt und Bild/Objekt-Korrespondenz) Beobachterleistung; Wirksamkeit; soziale, kulturelle, ästhetische Kriterien.²⁶

Robert N. Beck definiert diese Einzelschritte als Oberbegriffe (generic issues), die angesprochen werden müßten, wenn das Ziel laute, optimale Bilder zu produzieren, die auf einigen, ausgewählten und zielspezifischen Kriterien der Bewertung von Bildqualität beruhen. Formal erfordere, so Beck, eine solche Optimierung erst einmal die Entwicklung eines mathematischen Modells des speziellen bildgebenden Prozesses, in welchem die ausgewählten Werte für Bildqualität als eine Funktion der Parameter jedes Einzelschrittes ausgedrückt werden könnten.

Bis heute konnte niemand die Werte aller Parameter aller (unabhängigen) Einzelschritte irgendeines bildgebenden Verfahrens, basierend auf irgendeiner Maßeinheit von Bildqualität, vollständig formen und optimieren. Dies stelle eine weitere Hauptaufgabe von *Imaging Science* in der Zukunft dar.²⁷

²⁶vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

²⁷vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 10

1.5.

DIE BEDEUTUNG VON MULTI-MODALITÄTEN-IMAGING

Nur, wenn eine Anzahl unterschiedlicher Herangehensweisen des Abbildens zur Erlangung von Wissen über Struktur und Funktion von materiellen Objekten zur Verfügung stehen würden, könnten wir beginnen, dieses Vorgehen zu vergleichen und gegenüberzustellen, schreibt Beck. Damit erhielten wir etwas Perspektive auf die Stärke (strength) und Limitierungen, oder Werte. (Dieses, so Beck, sei analog zu der Situation der Linguisten, da die Existenz vieler Sprachen die Studien der verbalen Mittel des Wissens und der Kommunikation bereichert und vertieft habe.)

Kein einzelnes bildgebendes Verfahren kann alle Eigenschaften eines Objektes aufdecken und kartographieren. Als Konsequenz seien Bilder einer singulären Modalität immer unvollständige Repräsentationen eines Objektes. In diesem wichtigen Sinne seien sie tatsächlich essentiell falsche Repräsentationen. Obwohl Bilder eventuell die verbale Analyse unterstützen und ihr widersprechen, kommunizieren sie nicht *über* sich selbst. Sie seien also nicht selbstanalytisch, wie Sprache es sei.

An der *University of Chicago* wurde in jüngster Zeit eine Methode der Bildverschmelzung ("image fusion"²⁸) oder Überlagerung ("superposition"²⁹) in der räumlichen Registrierung von Bildern, die durch verschiedene Imaging Modalitäten gewonnen wurden, entwickelt. Einem interdisziplinären Team von Wissenschaftlern gelang es, Magnetic-Resonance-Bilder (MRI) des Gehirns und Positron-Emission-Tomography (PET)-Bilder in einer dreidimensionalen Darstellung zu überblenden (super-imposing). Mit der Anwendung solcher Methoden wird sofort deutlich, daß das *verschmolzene* Bild, hier wichtige Aspekte von Gehirnstruktur *und* -funktion zeigend, ein vollständigeres Bild des Objektes darstellt, trotz der Tatsache, daß viele zusätzliche Eigenschaften fehlen.

Jedes bildgebende Verfahren liefert eine andere *Art* von *fragmentierter* Sicht

²⁸siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 10

²⁹siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 10

auf das Objekt, während die Bildverschmelzung die Fragmente zu einer vollständigeren und daher sinnvolleren und nützlicheren Integration zusammenbringt. Ein *bestimmtes* Objekt zu verstehen, erfordert sowohl die Analyse (Fragmentation), als auch die Synthese (Integration) aller seiner Eigenschaften - ein Prozeß, der nach Beck niemals vollendet werde, da wichtige Objekteigenschaften den bildgebenden Möglichkeiten unzugänglich bleiben werden. Trotzdem kompensiere die Synergie zwischen den verschiedenen bildgebenden Modalitäten die Grenzen des einzelnen Verfahrens. Zusammen bringe sie dem Studium komplexer Objekte, wie dem Hirn, noch nie dagewesene Leistungsfähigkeiten (Möglichkeiten). Diese Methoden werden inzwischen auch auf anderen Gebieten der Wissenschaft und Medizin angewendet.

Beck stellt fest, daß kein materielles Objekt, nicht einmal ein einzelnes Wasserstoffatom, vollständig in Worten erklärt werden könne, da es sich, auf Grundsystemimmanenter, dynamischer Eigenschaften und der Interaktionen mit seiner Umwelt, kontinuierlich in der Zeit verändere. Im besten Fall könnten adäquate Beschreibungen wichtiger Attribute bestimmter, sich ähnelnder Klassen von materiellen Objekten entwickelt werden, in Form von mathematischen Wahrscheinlichkeitsmodellen (quantenmechanisch oder statistisch-mechanisch), basierend auf sich ähnelnden, idealisierten Eigenschaften, begleitet von verbalen Definitionen der angewendeten Parameter und Symbole.³⁰

Alle Fortschritte im Bereich der Bildverschmelzung und die meisten Fortschritte im Bereich der *quantitativen* Visualisierungsmethoden entstanden nach der Entwicklung digitaler Computer. Da diese Computer eine sehr junge Entwicklung darstellen, wundert es nicht, daß *Imaging Science* als Fachbereich und Forschungsgebiet erst jetzt entsteht und das gegenwärtig nur sehr wenige Menschen - wenn überhaupt - sich als *Imaging Scientist* identifizieren. Trotzdem leisten viele Individuen, die sich mit den traditionellen Disziplinen assoziieren, vor allem Mathematiker, Statistiker, Physiker, Computerwissenschaftler, Ingenieure und Designer, ihren Beitrag zur Gründung und Entwicklung von *Imaging Science*.

³⁰vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 10-11

Visualisierungsmethoden für Objekte sind auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen von speziellem Interesse: in der Astronomie, Materials Science, Radiologie, Pathologie, etc.. Der Unterschied zwischen diesen Individuen und den zukünftigen *Imaging Scientists* wird vielleicht durch eine Analogie deutlich:

1.6.

LINGUISTEN UND VISUALISTIKER (SPRACH- UND BILDWISSENSCHAFTLER)

Als Mittel des Wissens und der Kommunikation über Strukturen und Funktionen von materiellen Objekten, ist die Situation der Bilder analog der der Wörter. Wir benutzen Worte, um Ideen zu generieren, um mit anderen über das zu kommunizieren, was wir wissen oder glauben, und/oder was wir sie glauben machen wollen. Unser Erfolg ist abhängig davon, daß wir die benötigten Worte finden, um die gewollten Unterscheidungen zu machen und davon, daß wir diese so überzeugend wie möglich (vollständig, klar, akkurat, wiederholbar und effektiv) darstellen.

Die Bezeichnung Sprachwissenschaftler oder Linguist ist für diejenigen reserviert, die sich mit Worten auf einem abstrakten, konzeptionellen Level beschäftigen. Dieses betrifft im gegenwärtigen Zusammenhang:

- 1.) die Kategorien, die wir brauchen, um Strukturen und Funktionen von Objekten zu benennen und zu beschreiben (Nomen, Pronome, Verben, Adjektive, Adverbe, etc.);
- 2.) die Repräsentation von Worten durch Zeichen und Symbole (Piktogramme, Hieroglyphen, Alphabete, etc.);
- 3.) die Beziehung unter den Kategorien der Worte, die in eine Reihenfolge gebracht wurden, um Bedeutung zu vermitteln;
- 4.) die Ähnlichkeiten in den verschiedenen Sprachen (sowohl in gesprochener, als auch in geschriebener Form);
- 5.) die einzigartigen Charakteristika jeder Sprache, welche weiterer (verbaler) Erklärung bedürfen.³¹

Der moderne Mensch beschäftigt sich

- seit ca. 50.000 Jahren, oder mehr, mit der Kreation und Nutzung von gesprochenen Worten;
- seit ca. 7.000 Jahren, oder mehr, mit der Repräsentation von Worten durch gespeicherte (aufgezeichnete) Zeichen und Symbole;

³¹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 10-13

- seit ca. 5.000 Jahren, oder mehr, mit der (räumlichen) Anordnung von gespeicherten Zeichen und Symbolen, um Bedeutung/Inhalt (meaning) zu vermitteln;
- seit ca. 2.000 Jahren, oder mehr, mit dem Studium der Ähnlichkeiten unter den Sprachen und deren Übersetzung;
- seit dem ersten Versuch bis heute, mit der Entdeckung von verbalen Ausdrücken, die sich der direkten Übersetzung widersetzen.³²

Im Verlauf dieser Entwicklung wurden Worte geschaffen, die nicht nur reale, materielle und sichtbare Objekte beschreiben, sondern auch unsichtbare, imaginäre und idealisierte Objekte (Atom, Winkel, Punkt, Linie, Ebene, Kreis, etc.). Ferner räumliche Beziehungen (größer, kleiner, draußen, drinnen, etc.), zeitliche Beziehungen (vorher, nachher, etc.) und temporäre Idealisierungen (gegenwärtig, Augenblick, simultan, etc.). Aber auch wichtige Konzepte (Ähnlichkeit, Kongruenz, Gleichheit, Masse, Energie, Impuls, Macht, Gerechtigkeit, Wahrheit, Schönheit, Wert, etc.) und Prinzipien (Konversation, Äquivalenz, etc.), welche sich beim Bilden von Denkmodellen und Begründungen, sowie bei der Kommunikation unserer Gedanken und Überzeugungen mit anderen durch Metaphern, Analogien, Vergleichen und Gegensätzen, als extrem nützlich erweisen.³³

³²vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 13

³³vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 13

1.7.

MATHEMATIK ALS SPRACHE DER NATURWISSENSCHAFTEN

Das Teilen von Wissen über die Grenzen der Kulturen hinweg war im Bereich der Naturwissenschaften am erfolgreichsten, besonders dort, wo Mathematik verwendet wird. Dieses ist dem Fakt zuzuschreiben, daß Mathematik die am weitesten idealisierte, unzweideutigste und logisch konsistente Sprache darstellt, die bisher entwickelt wurde. Trotz ihrer inhärenten Limitation, auf die Kurt Gödel (1906-1978) 1931³⁴ als erster hinwies. Beck übersetzt Gödels Theorem kurz mit: jeder folgerichtige Satz von Axiomen ist unvollständig und jeder vollständige Satz von Axiomen ist widersprüchlich. In der Mathematik basiert der Begriff Wahrheit auf *interner* Konsequenz (oder Tautologie) und hat wenig mit materiellen Objekten der *externen* Welt zu tun, mit der Ausnahme, daß die in der Mathematik benutzten Idealisierungen zu den Abstraktionen bestimmter Objekteigenschaften zurückverfolgt werden können.

Die Nutzung von mathematischen Modellen für die Beschreibung wichtiger Eigenschaften von materiellen Objekten und ihrer dynamischen Prozesse war in der Physik und im Ingenieurwesen sehr erfolgreich. Die *Gültigkeit* dieser Modelle bei der Beschreibung und Vorhersage des Verhaltens von materiellen Systemen, ist weitgehend abhängig von der Anzahl der Eigenschaften, den immanenten Wechselbeziehungen eines bestimmten Modell's und der Genauigkeit der im Modell vorausgesetzten *initialen Konditionen*. Ihre Nützlichkeit ist von dem jeweiligen Ziel und der dafür benötigten Genauigkeit abhängig.

In den letzten Jahren kam dem *chaotischen* Verhalten von materiellen Objekten und der alltäglichen Lebensprozesse viel Aufmerksamkeit durch die Nutzung mathematischer Modelle zu, die die allgegenwärtigen nichtlinearen und die verstreuten Eigenschaften solcher Systeme vereinigen. Zur Zeit wird die Komplexität von Systemen durch mathematische Modelle erforscht. Dazu gehören Systeme, wie *Neuronale Netzwerke*, die 'durch Erfahrung lernen'

³⁴siehe K. Gödel, 1931, "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme", Monatshefte für Mathematik und Physik, Vol. 38, Seite 173-198

können, Objekte zu erkennen (z.B. die Buchstaben des Alphabetes). Beck verweist in diesem Zusammenhang auf die Arbeiten von Waldrop (1992)³⁵ und Nicolis und Prigoginé (1989)³⁶. Zunehmend werden die Konzepte der 'fuzzy logic' in diese Modelle integriert. Hier verweist Beck auf die Arbeit von Kosko (1993)³⁷.

Obwohl die Formulierung solcher mathematischen Modelle eindeutig/ klar sein mag, die für die Erforschung erforderlichen numerischen Kalkulationen überfordern die menschliche Ausdauer und müssen von Computern durchgeführt werden. Diese Studien versprechen neue Einsichten in die Strukturen und Funktionen von Objekten, wie dem Gehirn, besonders in der Korrelation mit multimodalitäten Bildern des Gehirns.

Es ist allgemein anerkannt, daß die Mathematik eine sehr enge Beziehung zur Linguistik ('der Wissenschaft der Sprache') beinhaltet. Diese Beziehung wird seit Jahren diskutiert. Die Menschheit hat eine lange, reiche Geschichte der Beschäftigung mit der Entwicklung, der detaillierten Analyse und des Vergleichs einer Vielzahl von Sprachen, Mathematik eingeschlossen, und der diversen kulturellen Kontexte in denen sie sich entwickelten; als eine Konsequenz wurde der Fachbereich Linguistik schon lange als eigenständige Disziplin anerkannt, ausgeübt von Linguisten.³⁸

³⁵siehe M.M. Waldrop, 1992, "Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos", New York: Simon & Schuster

³⁶siehe G. Nicolis und I. Prigoginé, 1989, "Exploring Complexity", New York: W.H. Freeman

³⁷siehe B. Kosko, 1993, "Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic", New York: Hyperio

³⁸vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 13-14

1.8.

EMERGENZ VON IMAGING SCIENCE

Der gerade in seiner Entstehung befindliche Fachbereich *Imaging Science* und dessen Praktiker, die als *Image Scientists* identifiziert werden können, sind bisher weder allgemein anerkannt, noch wird *Imaging Science* als eigenständige Disziplin gewertet.

Nachdem heute eine Vielzahl von Möglichkeiten des Abbildens zahlreicher Objekteigenschaften zur Verfügung stehen, zudem diese Bilder weltweit via Telekommunikationssystemen und über Computernetzwerke übermittelt werden können, haben Wissenschaftler aus ganz unterschiedlichen Fachbereichen begonnen, effektive, multidisziplinäre und kollaborative Beziehungen aufzubauen. Sie wollen ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Schwerpunkte des Abbildens lenken. Im allgemeinen sind sie nicht nur durch die Notwendigkeiten verbesserter Bildgebung in ihrer eigenen Disziplin motiviert, sondern auch durch die wachsende Erkenntnis über die Ähnlichkeit von Prinzipien, Konzeptionen, Strategien und Methoden, denen alle digitalen, bildgebenden Verfahren unterliegen. Bildgebende Verfahren, die in den Sprachen und dem Vokabular der Mathematik/Statistik, Physik und Ingenieurwissenschaft, der Biopsychologie des Sehens (vision) und des Grafikdesigns kommuniziert werden können. Solche multidisziplinären Aktivitäten beschleunigen die Entwicklung des Fachbereiches *Imaging Science*, indem sie helfen, die wichtigsten Themen und Fragestellungen im Zusammenhang mit den Oberbegriffen (generic issues) zu identifizieren. Viele davon werden bis jetzt in ganz unterschiedlichen Fachbereichen der Universitäten angeboten. Beck hat in diesem Zusammenhang mehr als 70 solcher Kurse in 14 Fachbereichen der *University of Chicago* identifizieren können, welche einen Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Diplomstudienganges (Graduate Program) *Imaging Science* bieten könnten, und welche durch zusätzliche Kurse, die sich den spezifischen Topics von *Imaging Science* widmen, erweiterbar wären. Der erste und bisher einzige Diplomstudiengang (Graduate Program) in den USA, der auch einen Promotionsstudiengang im Bereich *Imaging Science* anbietet, ist das *Center for Imaging Science* des *Rochester Institute of Technology* im Bundesstaat New

York.³⁹

Zur Zeit arbeiten die *ImagingScientists* an Problemen, bzw. Lösungsansätzen in Zusammenhang mit der Produktion, Verwaltung und Verwendung von Bildern, um den Anforderungen der traditionellen Disziplinen der Wissenschaft und Medizin zu entsprechen. Speziell die Effektivität, mit der Bilder in pädagogische Software (Lernprogramme) integriert werden sollen, wird in der Zukunft durch die weitere Entwicklung des wissenschaftlichen und technischen Aspektes des Bildprozessierens und -komprimierens, Speicherns, Wiederauffindens und Übertragens erweitert, vor allem durch ein weiterführendes Verständnis von Strategien für die Bilddarstellung. Beck identifiziert in diesem Zusammenhang folgende Darstellungsbereiche für die Weiterentwicklung durch *Imaging Scientists*:

- dreidimensionale Darstellung von Objekten und dynamischen Prozessen,
- die Methoden für die Oberflächen- und Volumendarstellung,
- die Integration der Tiefencodierung, der Texturenmodellierung, der Schattierung, der Perspektive und der Bewegungsparallaxe,
- die Reaktionscharakteristika des menschlichen Sehvermögens (z.B. die räumlich-zeitliche Reaktion, die spektrale Sensibilität, die visuelle Aufmerksamkeit und Wahrnehmungstendenz, Kontrast-, Farb- und Tiefenwahrnehmung, die visuelle Kognition und Erinnerung, die visuelle Maskierung [visual masking] und visuelle Illusionen),
- die Weiterentwicklung der Methoden zur Beurteilung der Beobachterleistungen im Gebrauch von Bildern für pädagogische Zwecke.

Diese Themen werden für ein zukünftiges Curriculum für den Fachbereich *Imaging Science* von Beck vorgeschlagen.⁴⁰

³⁹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 14

⁴⁰vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 19

1.9.

CURRICULUM: IMAGING SCIENCE

Beck sieht in der Natur eines Curriculums für *Imaging Science* starke Ähnlichkeiten nicht nur mit der Linguistik, sondern auch mit dem in jüngerer Zeit entstandenen Fachbereich der Computerwissenschaften. Komputation basiere auf Mathematik und sei für alle traditionellen Disziplinen, auch für *Imaging Science*, von großer Bedeutung. Obwohl Komputation auf Hochtechnologie basiert, weitgehend in Form von digitalen Computern, beschäftigt sich die Ausbildung im Bereich Computerwissenschaften nicht ausschließlich, noch nicht einmal vorrangig, mit den technologischen Aspekten von Komputation. Sie will Computerwissenschaftler vorbereiten, ihren Beitrag zum Verständnis der tieferen, zugrundeliegenden Probleme (issues) zu leisten. Beispiele für diese Themen sind: alternative und optimale Computerarchitekturen und Algorithmen, computerisierte Komplexität und Lösbarkeit der unterschiedlichen Klassen von Problemen, das Potential von lernenden Maschinen, basierend auf Expertensystemen und Schemata der Künstlichen Intelligenz. Letztendlich auch Fragen: z. B. 'Zu welchem neuen Wissen gelangen wir durch Komputation?'

Auf ähnliche Weise basieren Bildgebungsverfahren auf Physik und Mathematik. Bilder sind essentiell für die traditionellen Wissenschaften, genauso wie für die Medizin, das Grafik- oder Kommunikationsdesign und das Bildungswesen. Die meisten modernen bildgebenden Methoden basieren auf mehreren Hochtechnologien, einschließlich digitalen Computern. Ein Ausbildungsprogramm in *Imaging Science* würde sich nicht ausschließlich, und nicht in erster Linie, mit den technologischen Aspekten des Visualisierens (imaging) beschäftigen, sondern mit der Vorbereitung der *Imaging Scientists*, ihren Teil zum Verständnis der tieferen, zugrundeliegenden Probleme (issues) beizutragen. Beispiele sind:

- alternative und optimale Wege der Akquisition, des Prozessierens und der Darstellung (display) von Eigenschaften der unterschiedlichen Klassen von Objekten,
- das Potential, um zusätzliche Objekteigenschaften zu visualisieren, die bisher unzugänglich sind,

- das Potential, um mehr Information von Bildern via der menschlichen Sicht und durch die Methoden der automatisierten Computersicht in der Bildanalyse zu bearbeiten,
- Fragen wie: zu welchem Wissen über Objekte gelangen wir durch deren Bilder? Wie können Bilder und Worte synergetisch besser genutzt werden, um Wissen im Bereich der Ausbildung und vielen anderen Gebieten zu kommunizieren? Welche Wirkung auf unsere Kultur wird das Zusammenbringen in einer intensiveren Konvergenz von den historisch divergenten Wegen des Wissens und der Kommunikation haben?⁴¹

⁴¹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 14-15

1.10.

TECHNOLOGIEN FÜR DIE KONVERGENZ DER VERBALEN UND VISUELLEN MITTEL

Jeder technologische Fortschritt, der es ermöglichte, Bilder und Worte in einem einzigen Kommunikationsmedium zu vereinen, hatte einen wesentlichen Einfluß auf unsere Kultur, z.B. Druck, Film, Fernsehen und Video. Auf diese Fähigkeit bezieht sich Beck, wenn er von der *Konvergenz* der visuellen und verbalen Mittel der Kommunikation schreibt. Der kulturelle Einfluss dieser Konvergenz konnte vorrangig durch die Nutzung dieser Medien für Nachrichten- und Unterhaltungszwecke empfunden werden, zunehmend im Bereich der Ausbildung. Für die Ausbildung unterliegen diese Medien entscheidenden Einschränkungen, vor allem da sie für den passiven Zuschauer gestaltet wurden, der wenig, oder keinen Einfluss auf den Inhalt, die Abfolge oder die Geschwindigkeit der Präsentation hat. Als Konsequenz ist es schwierig, das Interesse des Zuschauers/Hörers aufrecht zu erhalten, ohne auf die Präsentation von hochdramatischem und emotional geladenen Material zurückzugreifen, welches für das vertiefende Lernen, so Beck, jedweder Themen generell weder angemessen, noch effektiv sei. Das gilt besonders bei solchen, die signifikanten, intellektuellen Inhalt einschließen, der systematisch aufgebaut werden sollte.

Auf der anderen Seite haben Fernsehen und Video den Vorteil, daß das benötigte Equipment für eine Präsentation (ein Standard-Fernsehgerät, plus Videorekorder, oder ein CD-ROM-Laufwerk) bereits in Massen produziert wird und relativ günstig ist, daher weitverbreitet. In dem Maße, in dem Video- und CD-ROM-Technologie in der Ausbildung eingesetzt wurden, haben sie eine signifikante Bewegung weg von der Sprache, als dem dominanten Mittel der Kommunikation, hin zu einer ausgeglicheneren Nutzung von beiden, Bildern (um Einsicht zu fördern) und Worte (die diese Einsichten erklären und erweitern). Die optimale Mischung von Bildern und Worten zur Maximierung von Lerngeschwindigkeit und Speicherung ist von Mensch zu Mensch verschieden. Beck verweist in diesem Zusammenhang auf die Arbeiten von Gardner

(1983)⁴². Für die einzelnen Studenten brauche diese Mixtur flexible Mittel, um variabel zu bleiben. Das gelte auch für die Geschwindigkeit und Speicherung der Präsentation, mit dem Zweck, einen hohen Level an Aufmerksamkeit, Interesse und Lernmotivation zu etablieren und zu erhalten.⁴³

Die Bedeutung von Interaktion in der Lernsituation sei seit langem erkannt und Beck stimmt dem noch einmal mit Vehemenz zu. Bis vor kurzem war die Interaktion mit dem Computer auf die Tastatur beschränkt und setzte Schreibmaschinen-, sowie Programmierkenntnisse voraus, ursprünglich auf der Ebene der Maschinensprache. Inzwischen wurden Computersprachen auf einem höheren Niveau, symbolorientiert entwickelt, durch die der Benutzer in der Lage ist, Programme in einer Form, die natürlicher Sprache ähnelt, zu schreiben. Die Entwicklung grafischer Methaphern (Icons, Menues, Files and Folders) erleichtert die Organisation, Verwaltung und das schnelle Wiederfinden von digitalisierter Information in allen Formen, visuelles und verbales Material eingeschlossen. Inzwischen wurden Multimediasysteme entwickelt, die dem Benutzer ermöglichen, nicht nur über die Tastatur zu interagieren, sondern auch durch andere mechanische Geräte (z.B. die 'Maus', den Joy Stick, elektronische Stifte, die auch ohne Kabel die Bewegung auf dem Tablett übertragen), genauso wie Stimmerkennung und -befehle, Touchscreen-Oberflächen und ähnliche Mittel. Zusätzlich bieten diese Multimediasysteme Zugang zu Informationen, die auf Videokassetten und CompactDisks (CD) gespeichert wurden und die Möglichkeit des Outputs in inzwischen jeder erdenklichen Form (Video und Film, CD, Papier, Fotopapier etc.) in digitaler Qualität. Diese technologischen Fortschritte erleichtern nicht nur dem unerfahrenen Benutzer die Interaktion mit einem Computer, sondern bereichern den Prozeß des Erfahrung sammelns, indem der Spielraum, in dem visuelles und verbales Material präsentiert und produziert werden kann, erweitert und dessen Qualität verbessert wird. Diese benutzerfreundlichen Werkzeuge ermöglichen es, sich schneller anzupassen und

⁴²siehe H. Gardner, 1983, "Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences", New York: Basic Books, 1991, "The Unschooled Mind", New York: Basic Books 1993, "Multiple Intelligences", New York: Basic Books

⁴³vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 15

das Gewünschte effizienter und effektiver zu tun.

Computerisierte bildgebende Geräte, wie Mikroskope, biomedizinische bildgebende Geräte, Teleskope und Roboter mit Fernsteuerung, haben die Möglichkeiten der Visualisierung praktisch jedes materiellen Objektes des wissenschaftlichen, technologischen, industriellen, medizinischen, juristischen, kommerziellen oder pädagogischen Interesses extrem vergrößert. Zusätzlich ermöglichen die modernen Computer durch ihre große Speicherkapazität (Random Access Memory/RAM), Bilder von zunehmend realistischeren und komplexeren Objekten und dynamischeren Prozessen zu simulieren und zu studieren, von molekularen Interaktionen bis zu der Formation von Galaxien, basierend auf zunehmend realistischeren und komplexeren mathematischen Modellen. Dieser "Virtual Reality"⁴⁴-(künstlicheRealitäts)-Ansatzrevolutioniere, so Beck, die Art und Weise der Forschung. Nicht nur, indem die Anzahl der nötigen Experimente auf einige wenige reduziert werde, sondern auch, indem qualitative und quantitative Information geliefert werde, die das Verständnis über das Verhalten der Objekte des jeweiligen Interesses in den biologischen und physikalischen Wissenschaften, die sich durch ihre *chaotische* oder *komplexe* Natur auszeichnen, beschleunige. Der Einfluss der daraus resultierenden Explosion des neuen wissenschaftlichen Wissens sei jetzt schon groß und werde sich mit der weiteren Entwicklung der Computerhardware, basierend auf paralleler Architektur, kleineren, schnelleren und spezialisierteren Computerchips, die weniger Energie brauchen, hochentwickelter Software, basierend auf Expertensystemen und Schemata der Künstlichen Intelligenz, die entwickelt wurden, um dem Beobachter zu assistieren und/oder, um die Analyse der Bilder zu automatisieren, weiter vergrößern.⁴⁵

Zur Zeit liegt die Aufmerksamkeit auf der Realisierung von Hochgeschwindigkeits-Computernetzwerken, um parallel zu komputieren ("distributed computing"⁴⁶) und für die Übertragung von sowohl visueller, als auch verbaler Information - schnell, interaktiv, selektiv und kostengünstig, mit Zugang zu dieser

⁴⁴siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 16

⁴⁵vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 16

⁴⁶siehe R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 16

Information, gesteuert durch hochentwickelte Sicherheitssysteme. Als ein Resultat dieser technologischen Fortschritte werden ein substantieller Teil des Inhaltes der Büchereien und Museen dieser Welt, sowie riesige Datenbanken, die für Myriaden von menschlichen Interessen und Aktivitäten relevant sind, für einen ständig wachsenden Teil der menschlichen Bevölkerung abrufbereit sein, in Form von Bildern und Worten. Das heißt, es wird schnell möglich - zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit - kosteneffektiv in einem öffentlichen Medium und in beispiellosem Ausmaß diese vormals divergenten Wege des Lernens/Wissens und der Kommunikation zusammenzubringen.⁴⁷

⁴⁷vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 16

1.11.

IMAGING SCIENCE: SCHLUSSFOLGERUNG

Mit der technologischen Konvergenz der visuellen und verbalen Mittel des Lernens/Wissens und der Kommunikation, schiene es, so Beck, daß wir am Beginn einer kulturellen Revolution von noch nicht dagewesenen Proportionen stünden, die im wesentlichen umfangreicher sein werden, als jene, die die industrielle Revolution begleiteten. Wir müßten, als Individuen, als Spezies und als Teilnehmer in einem globalen Prozeß lernen, damit umzugehen und uns anzupassen. Es bestehe kein Zweifel, so Beck weiter, daß der Einfluß dieser Konvergenz zuerst in den Kulturen der Industrienationen zu spüren sein werde. Dies verlange nach einer Entwicklung von neuen organisatorischen Strukturen. Besonders in den Universitäten und deren Finanzkomitees, welche die neuen multidisziplinären Aktivitäten unterstützen, die den Transfer von neuem Wissen über die Grenzen der Disziplinen hinaus erleichtern. Dort müsse ebenfalls die Finanzierung koordiniert werden, so daß die Forschung durch Bilder und das Aufkommen des Fachbereiches *Imaging Science* als eine intellektuelle Disziplin, gleichwertig zu Computerwissenschaft und Linguistik, beschleunigt werde.

In dem breiten Feld der Ausbildung müßten wir, so Beck, einen wesentlichen Schub weg von Sprache, als dem dominanten Mittel der Kommunikation, hin zu einer mehr ausbalancierteren Nutzung von Wort und Bild erwarten, außerdem eine schnelle weitere Entwicklung von Multimedia-CAI-(Computer Aided Instruction)-Programmen für jedes Interessengebiet, präsentiert mit zunehmend weiterentwickelterer Software. Interaktiv, analytisch, diagnostisch und adaptiv gegenüber den Bedürfnissen der individuellen Studenten, in mancher Hinsicht dem privaten Tutor nacheifernd.

Für Beck würde der wichtigste Effekt aus der Nutzung solcher Werkzeuge darin bestehen, daß wir ein wahrhaft tiefes Verständnis unserer selbst entwickeln: wie wir entstanden sind, wie wir Teilnehmer in einem globalen Prozeß von größter Komplexität bleiben, wie unser eigenes Selbstinteresse, als Individuen und als Spezies, unerbittlich zu den globalen Interessen in Relation steht, wie unsere Körper und Gehirne in Gesundheit, wie Krankheit funktionieren und wie unsere

Gefühle, Werte und unser Verhalten in Zusammenhang mit genetischen, geschlechtsspezifischen und kulturellen Faktoren stehen. Außerdem, und das ist Beck am wichtigsten, ein Verständnis davon, wie wir bewußte und sorgfältige Gedanken und Gründe einsetzen können, um einige der schlechtangepaßten (maladaptive) Konsequenzen dieser Faktoren zu überwinden, und zur selben Zeit weise genug werden, um Elemente mit tatsächlich adaptiver Qualität zu bewahren.⁴⁸

Alle lebenden Organismen versuchen nicht nur zu überleben, sondern auch zu wachsen (thrive), die Qualität ihres Lebens zu verbessern. Dieses setzt die Fähigkeit der Adaption einer sich ständig ändernden Umwelt voraus. Um zu verstehen, wie dieses geschieht, fällt dem Konzept der Komplexität eine Schlüsselrolle zu. Komplexe Systeme haben Strukturen aus sehr unterschiedlichen Komponenten, welche auf einem hohen Niveau der Integration funktionieren. Es ist diese Komplexität, die es ihnen ermöglicht, Informationen zu prozessieren, zu lernen und adaptiv auf die kontinuierlichen Veränderungen in ihrer Umwelt zu reagieren. In diesem Sinne ist jeder lebende Organismus komplex, genau wie jede Spezies und jede menschliche Kultur, ansonsten würden sie nicht existieren. In diesem Zusammenhang unterstreicht Beck vor allem, daß die gesamte Biomasse unseres Planeten sich über Eonen als komplexes Ökosystem entwickelt habe, mit unzähligen komplexen Subsystemen, die bis vor kurzem in der Sicherheit der relativen Isolation funktionierten. Die moderne Technologie habe diese Isolation drastisch reduziert und gleichzeitig ein Potential für weitere komplexe Integration geschaffen. Jetzt müßten wir, so Beck weiter, das integrierte Funktionieren der diversen Subsysteme, mit denen unsere Technologie uns in Kontakt gebracht habe, herbeiführen und dieses verlange ein tieferes Verständnis.

Die unvermeidbare Konsequenz eines solchen Kontaktes sei Veränderung. Große oder/und rapide Veränderungen in der lokalen Umwelt könnten bestimmte Komponenten eines komplexen Systems herausfordern, über ihre Fähigkeit zur Adaption hinaus und damit könnte, auf lange Sicht, das Überleben anderer Komponenten gefährdet werden. Der Grund sei, daß solche

⁴⁸vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 23

Veränderungen die Vielfalt des Systems als Ganzes reduzieren könnten und dadurch würde wiederum die Fähigkeit zur Adaption reduziert.⁴⁹ Hier verweist Beck auf die Arbeit von Barbour (1993): "Die Vielfalt eines Ökosystemes trägt zu seiner Stabilität und Adaptionfähigkeit bei; Systeme mit einer sehr kleinen Anzahl von Pflanzen- oder Tierspezies sind anfälliger für Krankheiten, Raubtiere und veränderten Konditionen."⁵⁰

Die globale Umweltverschmutzung und Zerstörung natürlicher Lebensräume, als globale, durch den Menschen verursachte Veränderung, reduziert die Vielfalt, Komplexität und Adaptionfähigkeit auf eine Weise, die wir bis heute nicht verstehen. Erst in den letzten Jahren wurden komplexe Systeme modelliert und studiert. Bis jetzt versteht die Wissenschaft nicht adäquat, wie diese *chaotischen* Systeme funktionieren.

⁴⁹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 23-24

⁵⁰vgl. I.G. Barbour, 1993, "Ethics in an age of technology", San Francisco: Harper, Seite 60

1.12.

STUDIENGANG IMAGING SCIENCE (ÜBERSICHT)

Die Anzahl vergleichbarer Studiengänge ist weltweit noch sehr klein. Seit 1986 besteht der Fachbereich *Imaging Science* am *Rochester Institute of Technology* (RIT) in Rochester, New York. Die offizielle Bezeichnung lautet: *The Chester F. Carlson Center for Imaging Science* und versteht sich als Erweiterung des RIT. Im Wesentlichen orientiert sich hier das Curriculum für *Imaging Science* an den weiter oben ausführlich beschriebenen Einzelschritten des Bildgebungsverfahrens, definiert durch Prof. Robert N. Beck⁵¹:

1. DARZUSTELLENDEN OBJEKTE;
2. BILDDATENAKQUISITION;
3. BILDBERGUNG (recovery);
4. BILDSPEICHERUNG UND -VERTEILUNG (distribution);
5. BILDDARSTELLUNG / VISUALISIERUNG;
6. BILDOBSERVATION;
7. BILDANALYSE;
8. BILDBEWERTUNG.

Dieses Center für *Imaging Science* verfügt über 36 Labore, die den spezialisierten Bereichen von *Imaging Science*, einschließlich elektronischer Bildgebung (electronic imaging), digitaler Bildverarbeitung (digital image processing), Fernerkundung (remote sensing), medizinischer Bildgebung, Farbwissenschaft und chemischer Bildgebung, zur Verfügung stehen. Folgende Kurse werden im Hinblick auf die Basis dieser Definition von *Imaging Science* am RIT angeboten:

1. Undergraduate Courses (GRUNDSTUDIUM)

- Einführung: Imaging Science, **Pflichtfach (P)**
- Programmieren in 'C' (Programmiersprache), **P**
- Geometrische Optik, **P**

⁵¹vgl. R. N. Beck, 1994, "The Future of Imaging Science", Seite 7

- Physikalische Optik, **P**
- Interpretation von Licht und Materie, **P**
- Radiometrie, **P**
- Sehen (Vision), Farbe, Psychophysik, **P**
- Makro-Imaging: Systemanalyse, **P**
- Statistik I und II, **P**
- Digitales Bildprozessieren, **Wahlfach (W)**
- Praktikum im Bereich der kommerziellen technologischen Forschung, **P**
- Senior Projekt, **P**
- Bildgebende Systeme, **P**
- weiterführende Analyse: bildgebende Systeme, **P**
- Quantum Limits (Limitierung der Bildqualität): Bildgebende Prozesse, **P**
- Spezielle Themen, **W**
- Elektro-Optik I und II, **W**
- Unabhängige Studie, **W**.

2. Graduate Courses (HAUPTSTUDIUM)

- Einführung: Imaging Science, **P**
- Prinzipielle Techniken der bildgebenden Verfahren, **P**
- Weiterführende Visualistik I und II, **P**
- Visualistik Labor, **W**
- Programmieren, **W**
- Geometrische Optik, **P**
- Physikalische Optik, **P**
- Optische Bildformation, **P**
- Bildverteilung/-anordnung in stabilem Zustand, **W**
- Varianz Matrix Methoden, **P**
- Mathematik der linearen Systeme, **P**
- Mathematik der zufälligen Prozesse, **P**
- Mathematik der linearen und diskreten Systeme, **P**

- Mathematik und Zustands-(state)-Image-Systeme, **P**
- Spezielle Themen, **W**
- Elektrophysikalisches Material und dessen Prozesse, **W**
- Bildanalyse und Radiometrische Analyse von entfernten (remote) Sensoren, **W**
- Bildanalyse von entfernten (remote) Sensoren, **W**
- Spezielle Themen: entfernte (remote) Sensoren, **W**
- Silber/Halogenid Wissenschaft, **W**
- Sehen, **W**
- Angewandte Kolorimetrie, **W**
- Farbmodellierung, **W**
- Sehen: Psychophysikalisches Labor, **W**
- Einführung: Digitales Bildprozessieren, **W**
- Digitales Bildprozessieren: Mustererkennung, **W**
- Lithografie und Mikroelektronik, **W**
- Einführung: Computer-Sehen (vision), **W**
- Lineare Systeme mit entfernten (remote) Sensoren: angewandte Theorie des digitalen Bildprozessierens, **W**
- Computertomografie-Bilder (Imaging), **W**
- Forschung und Abschlußarbeit, **P**.

Diese Liste vermittelt einen ungefähren Einblick in den Studiengang *Imaging Science* und wurde bisher nicht offiziell veröffentlicht. Sie stammt aus einem Arbeitspapier des Fachbereiches *Imaging Science* am RIT vom 13.4.1995.

Auch am RIT ist *Imaging Science* keine separate Disziplin, sondern eine Sammlung von Technologien und Wissenschaften, einschließlich Chemie, Physik, Mathematik und anderen, die die Basis für Systeme darstellen, die räumliche Ausbreitung (distribution) von Strahlung für sinnvolle Zwecke einfangen, speichern, manipulieren, übertragen und rekonstruieren. Die aufgezeichnete räumliche Ausbreitung von Strahlung wird einem Bild zugeordnet (is referred to as an image). Es existieren keine wissenschaftlichen Prinzipien, die sich ausschließlich mit der Bildgebung befassen, wie in anderen Gebieten, z.B.

die Periodentafel in der Chemie, oder dem Gesetz der Gravitation in der Physik. Die unveröffentlichten Ansätze aus dem Arbeitspapier decken sich mit den beschriebenen Ideen von Beck. Das Studium der Bilder, ihre Anordnung, Speicherung, Manipulation, Übertragung, Rekonstruktion und Darstellung, als informationsreiche Strukturen mit dem Ziel, ihren Nutzen zu erweitern, wird hier als Basis von *Imaging Science* definiert. *Imaging Science* ist abhängig von den Basiswissenschaften Chemie, Mathematik, Physik und der Anwendung anderer wissenschaftlicher Gebiete, die Visualisierungen zu Forschungszwecken verwenden. In der Praxis unterstützt *Imaging Science* Anwendungen ästhetischer bis funktionaler Art im Arbeits- und Geschäftsleben, der Unterhaltung, Industrie, Regierung, Medizin und Wissenschaft. Das RIT deckt nicht alle möglichen Bereiche von *Imaging Science* ab, sondern nur eine Unter- menge. *Imaging Science* wird als Sammlung von Wissenschaften definiert, in der das Lernen der Prinzipien bei der Anwendung der bildgebenden Verfahren stattfindet. Jeder Student wählt ein Schwerpunktgebiet aus der Vielfalt der bildgebenden Verfahren.

Das RIT bietet neben einem speziellen 'Master of Science'-Programm in sogenannter *Color Science* drei Ausbildungsprogramme in *Imaging Science* ('Undergraduate', 'Master of Science' und 'PhD' [vergleichbar mit dem deutschen Dokortitel]). "Diese Studiengänge zeichnen sich vor allem dadurch aus, daß *alle* Verfahren - also nicht nur elektronische - zur Herstellung, Bearbeitung, Übertragung und Speicherung bildlicher Information berücksichtigt werden. Kurse in Pigmentchemie, Photochemie oder physikalischer Optik nehmen daher einen großen Stellenwert ein."⁵²

Am RIT geht man davon aus, daß für die Abgänger, ob sie aus einem Studiengang *Imaging Science*, oder einem traditionellen Studiengang mit Erfahrungen im Bereich *Imaging Science* kommen, Arbeitsplätze existieren. Zur Zeit bilden Unternehmen mit Bedarf an Experten in *Imaging Science*, diese

⁵²siehe "Der Studiengang Computervisualistik - Ankündigungen, Materialien und Ordnungen", dritte Auflage, März 1997, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Seite 7

noch intern aus (Kodak, IBM).

Am RIT sieht man genügend Beweise, daß ein substantieller Markt für Abgänger aus diesem Studiengang besteht und daß der Bedarf in der Zukunft wächst. Aus den Unterlagen des RIT zum Studiengang *Imaging Science* läßt sich die Unsicherheit in der Definition dieses Fachbereiches erkennen. Die Fragestellungen sind umfangreich, ebensodieorganisatorischenundstrukturellen Probleme dieses viele Disziplinen umfassenden Fachbereiches.

Die Recherche in den amerikanischen Universitäten und Instituten ergibt, daß bis jetzt weniger als 10 Fachbereiche mit der eindeutigen Bezeichnung *Imaging Science* und der entsprechenden, hier vorgestellten Definition existieren. Ausgangspunkt und Problem-, bzw. Fragestellungen, sind an allen Einrichtungen vergleichbar, sie unterscheiden sich nur unwesentlich in ihrer Gewichtung.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß das Unternehmen IBM in Yorktown Heights im Bundesstaat New York, USA, ein Forschungszentrum, das *IBM Watson Research Center*, errichtet hat, um Forschern, Wissenschaftlern und Ausbildern (Pädagogen) durch eine Reihe von Visualisierungsverfahren das Verständnis von Problemen bei Experimenten und Berechnungen zu erleichtern. Hauptpunkte hierbei sind folgende Bereiche:

- Visualisierung der Petroleumgeologie und -geophysik;
- computergestützte Chemie (computational chemistry);
- pharmazeutische Visualisierungen;
- Flüssigkeitsbewegung (fluid flow);
- Mineralogie;
- Visualisierungsräume (visualization spaces);
- und holografische und immersive Darstellungen.

Die *Washington University* in St. Louis an der amerikanischen Westküste hat 1995 das *Army Center for Imaging Science* gegründet. Ein Konsortium, welches neben der *Washington University*, der *Harvard University*, dem

Massachusetts Institute of Technology mit dem *Lincoln Laboratory*, die Universitäten von Texas in Austin und El Paso einschließt. Die Aktivitäten zentrierensich in Washington. Die Forschung dieser Center ist der Entwicklung von mathematischen und algorithmischen Fundamenten für die Repräsentation und das Verständnis von komplexen Szenarien gewidmet. Die Forschung ist hier ebenfalls multidisziplinär angelegt, sie umfaßt Physik, Mathematik, elektronisches Ingenieurwesen, Computersicht (vision), Computerwissenschaften und Kognitionswissenschaft. Das übergeordnete Ziel am *Army Center for Imaging Science* lautet, Algorithmen für computergenerierte Bildgebung zu entwickeln, die in der Lage sind, komplexe Objekte erkennen und beschreiben zu können.

In Deutschland wurde 1996 an der *Otto-von-Guericke Universität*, Magdeburg, der neue Studiengang *Computervisualistik* gegründet. Dort wird postuliert, daß wir uns gegenwärtig auf dem Wege zur Verbildlichung der Arbeitswelt befinden. Dieses solle uns befähigen, mit der immer schwerer zu erfassenden Komplexität dieser Welt umzugehen. Mit ihrer Hilfe könnten wir nicht nur neue Zugänge zur Wirklichkeit gewinnen, auch die traditionellen Zugänge würden faßlicher.⁵³ "Der Ausdruck *Computervisualistik* wurde dabei in bewußter Analogie zu *Computerlinguistik* gewählt. Unter dieser Bezeichnung (bzw. entsprechend in anderen Sprachen) läuft seit einigen Jahren an mehreren deutschen und ausländischen Universitäten ein eigenständiger Studiengang, der die informatische Untersuchung aller Aspekte der menschlichen Sprachverwendung lehrt. Ganz entsprechend zur Linguistik bezeichnet 'Visualistik', die interdisziplinäre Auseinandersetzung mit visuell dargebotener Information und ihrer Verwendung."⁵⁴

Die bisher definierten Ziele in Magdeburg lauten:

⁵³vgl. Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>, 1.

Kapitel, World Wide Web

⁵⁴siehe "Der Studiengang Computervisualistik - Ankündigungen, Materialien und Ordnungen", dritte Auflage, März 1997, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Seite 4

- Theorien zu entwerfen, die Natur, psychische Erfassung und wünschenswerte Verwendung von Bildern angemessen beschreiben,
- Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die zu einem gesteigerten Erkenntnisgewinn des Betrachters eines Bildes führen und zu einem vertieften Verständnis dieses Erkenntnisgewinns beitragen und
- Anwendungen der Theorien mit Hilfe der entwickelten Methoden und Werkzeuge auszubauen."⁵⁵

Der Studiengang ist entsprechend stark interdisziplinär angelegt. "Er enthält Informatik-Veranstaltungen zu objektorientierter graphischer Programmierung (Programmiersprachen *Smalltalk* und *C++*), Computergrafik, Bildverarbeitung und algorithmische Geometrie. Dazu kommen weitere Fächer der Informatik, wie z.B. Datenbanken, aber auch Veranstaltungen anderer Fakultäten, insbesondere aus den Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften (z.B. 'Lernen mit Multimedia-Systemen', 'Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern' oder 'Medienphilosophie'). Außerdem werden neben mathematischen und elektronischen Grundlagen auch in geringem Umfang Elemente des Industriedesign's betrachtet."⁵⁶

Langfristig erwartet man dort, ein Methodenrepertoire für Bilder aufbauen zu können, welches dem der Sprache in seinen Möglichkeiten gleichkommt.

Der Erkenntnisgewinn aus Bildern erfordert in vielen Fällen nicht nur eine Darstellung, sondern eine umfassende Verarbeitung der erfaßten Information (=Bildverarbeitung). Hier geht es sowohl um eine Bildaufbereitung, als auch um eine Interpretation (z.B. Mustererkennung) der mit verschiedenen Methoden bereitgestellten Abbilder zu untersuchender Objekte.

"Es werden bestimmte Eigenschaften eines Bildes hervorgehoben bzw. gezielt

⁵⁵siehe Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>, 1.

Kapitel, World Wide Web

⁵⁶siehe "Der Studiengang Computervisualistik - Ankündigungen, Materialien und Ordnungen", dritte Auflage, März 1997, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Seite 10-11

Merkmale extrahiert und für Fragen der Bildinterpretation und der Erkennung bestimmter Objekte genutzt. Wesentlich ist hier die Frage nach den für die Aufgabenstellung relevanten Bildinformationen, da meist eine außerordentliche Informationsreduktion erfolgt. Die Erkenntnisleistungen des Menschen sind bei komplexen Aufgabenstellungen bei weitem noch nicht erreicht und geben Ansporn für die Entwicklung neuer und 'intelligenterer' Systeme, in Zusammenarbeit mit der Neurobiologie und unter Nutzung von Erkenntnissen der Künstlichen Intelligenz. Lernfähigkeit und im Vorfeld der unmittelbaren Aufgabe erlerntes (=abgespeichertes) Wissen erlangt große Bedeutung. Die Informationsnutzungen erfolgen in vielen Fällen ohne Einschaltung des Menschen, bzw. nur unter dessen allgemeiner Kontrolle (z.B. Fertigungsüberwachung, Robotik, aber auch bei Aufgabenstellungen in der Medizin)."⁵⁷

Im Gegensatz zu den amerikanischen Ansätzen von *Imaging Science* sind in Magdeburg geisteswissenschaftliche Fakultäten Bestandteil des Studienganges *Computervisualistik*.

"Philosophisch-begriffliche und empirisch-experimentelle Fragestellungen sind prinzipiell verschieden, was aber keineswegs heißt, daß die Ergebnisse der einen Art nicht die Untersuchungen der anderen Art anregen können.

Neben einer angemessenen Bestimmung des Bildbegriffs ist es sicherlich wichtig, in der Analyse der Bildverarbeitung zwischen den Eigenschaften der Bilder (Syntax, Semantik, Funktion, etc.) und den besonderen Formen ihrer Verarbeitung zu unterscheiden. Die Verarbeitung von Bildern muß nicht notwendig selbst bildhaft sein, sie könnte ebenso in Form mathematischer Algorithmen erfolgen, oder aber durch eine Übersetzung in Beschreibungen. Zu unterscheiden ist ebenfalls zwischen den Problemen mentaler Bildverarbeitung und denjenigen maschineller Bildverarbeitung. Zuweilen besteht die Hoffnung, daß Erklärungen aus dem einen Bereich (z.B. dem Bereich der Psychologie bildlicher Vorstellungen) helfen, den anderen Bereich (z.B. KI) besser zu verstehen. In der Beantwortung der Frage, ob solche Hoffnungen mit Recht

⁵⁷siehe Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>, 2.

bestehen und worauf sie sich genau beziehen, liegt eine weitere sinnvolle Aufgabe der Philosophie. Philosophie besitzt hier wie in anderen Bereichen primär eine klärende Funktion. In welchem Maße damit der applikationsorientierten Bildforschung schon gedient ist, muß der Einzelfall erweisen."⁵⁸

⁵⁸siehe Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>, Klaus Sachs-Hombach, 3. Kapitel, World Wide Web

1.13.

BEWEGTE/ANIMIERTE BILDGEBUNGSVERFAHREN

Bisher werden nur selten computergenerierte Animationen (Bewegtbild) in den Anwendungen der bildgebenden Verfahren genutzt. Dieses begründet sich vor allem im großen Datenaufwand solcher Bildsequenzen. Durch der Entwicklung leistungsfähigerer Computer mit größerer Speicherkapazität wird die Produktion von Computeranimationen für wissenschaftliche Forschungszwecke jedoch immer wahrscheinlicher. Sie haben den Vorteil, daß Prozesse in Raum und Zeit dargestellt und nachvollzogen werden können.

Christine Strothotte von der Fakultät für Maschinenbau an der Otto-von-Guericke Universität in Magdeburg listete für die *Computervisualistik* die Einschränkungen der Animation simulierter Modelle auf:

- "Die Handlung der Animation, also die darzustellenden zeitlichen Ereignisse sind bereits in der Simulation ermittelt worden und durch die Animation nicht beeinflussbar.
- Graphisch orientierte Simulationswerkzeuge bestimmen die äußere Form fast aller Objekte der Animation.
- Wegen der geringen Priorität der Animation gegenüber der Simulation muß der Aufwand für die Animation deutlich unter dem der Simulation liegen.

Vielfach werden diese Einschränkungen als Vorteil gewertet, weil sie automatisch generierte Animationen mit geringem Aufwand erlauben. Doch zwischen diesen und handerstellten Animationen liegen Welten. Wo liegen diese Unterschiede begründet? Was fehlt den automatischen Animationen? Ist es ein typisch bildhafter Charakter, eine bestimmte Art von Information?

Offensichtlich ist, daß Benutzer beim Betrachten von Animationen wesentlich mehr Information entnehmen, als der Rechner selbst zur Verfügung hat, weil der Rechner aufgrund fehlender Interpretationsmöglichkeiten keinerlei Vorteil aus einer Animation ziehen kann. Dieses Informationsdefizit seitens des Rechners kann z.T. dadurch kompensiert werden, daß Benutzer Sichtbeschreibungen formulieren, die ein Rechner interpretieren kann. Folgende Fragen sind in diesem

Zusammenhang von Interesse:

- Was sieht ein Benutzer in Animationen?
- Welche begriffliche Klassifikation ist für Benutzerbeobachtungen adäquat? (...)

Eine zweite wichtige Fragestellung ist die Sinnfälligkeit der Unterscheidung zwischen Simulations- und Animationsmodell. Befürworter der Aufhebung einer solchen Trennung führen an, daß immer komplexere Modelle geschaffen werden müssen, die alle Aspekte der nachzubildenden Systeme umfassen - sowohl symbolische als auch graphische Informationen. Solange die Simulation selbst, also die Berechnung des dynamischen Verhaltens eines Systems, keinerlei bildhafte Information verarbeitet oder erzeugt, muß auch das Simulationsmodell keine solchen Informationen enthalten."⁵⁹

In den letzten 50 Jahren wurde das explosive Wachstum in der Wissenschaft und Computertechnologie synergetisch zum Wachstum in den Methoden des Visualisierens von vorher unzugänglichen Eigenschaften von materiellen Objekten jeder Art in Relation gesetzt. Digitale Visualisierungsmethoden haben die Produktion neuen Wissens beschleunigt und werden dies weiterhin, solange neue Methoden entwickelt werden. Der unvermeidliche nächste Schritt wurde bereits durch die Nutzung von Bildern für die Verbreitung dieses Wissens via Computer, die über Hochgeschwindigkeitsnetzwerke verbunden sind, eingeleitet.

"Komplexer werdende Systeme auf der einen Seite und immer leistungsfähigere Hardware- und Softwaresysteme auf der anderen haben dazu geführt, daß an den Detailliertheitsgrad und die Realitätstreue von Simulationen immer höhere Erwartungen gestellt werden. So sind die alten Paradigmen der Simulationstechnik, daß Modelle so einfach wie möglich und nur so kompliziert wie nötig zu gestalten seien, nicht mehr unumstritten. Vielmehr ist es sinnvoll, möglich und vielleicht sogar nötig geworden, Modelle mit einem hohen Detailliertheitsgrad und hoher Realitätstreue zu konstruieren, die nicht nur für einen

⁵⁹siehe Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>,

speziellen, engen Anwendungszweck bestimmt sind. Solche Mehrzweckmodelle sind bisher nur in wenigen Anwendungsbereichen, und dort mit spezieller Hardware und Software, mit hohem Zeit- und Kostenaufwand, entwickelt und genutzt worden. Als Beispiele seien Gefechtsfeldsimulatoren und Flugzeugsimulatoren genannt. Sie können als ein Versuch verstanden werden, alle über ein reales System erlangbaren Informationen zu vereinen und für die Ausbildung von Aufgabenstellungen mit verschiedenartigen Zielen (Training, Ersatz, Erkenntnisgewinn, Überprüfung von Fähigkeiten und Fertigkeiten) bereitzustellen."⁶⁰

Im folgenden Kapitel werden Visualisierungsverfahren exemplarisch an vier verschiedenen Disziplinen vorgestellt. Computeranimationen werden in der Regel, aus den oben genannten Gründen, nicht angewendet.

⁶⁰siehe Homepage, <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~joerg/bwkeng.html>, 3. Kapitel, World Wide Web