

Einleitung

Anliegen und Besonderheiten des Buches

Seid fruchtbar und mehret euch und füllet die Erde und machet sie euch untertan.

1.Mose 1, 28

Denn das wissenschaftliche Denken verlangt nun einmal nach Kausalität, insofern ist wissenschaftliches Denken gleichbedeutend mit kausalem Denken, und das letzte Ziel einer jeden Wissenschaft besteht in der vollständigen Durchführung der kausalen Betrachtungsweise.

1

MAX PLANCK¹

Die Gesichter und Hände der Mitmenschen, ein Stück Himmel und vielleicht noch eine Zimmerpflanze oder ein Blumenstrauß - das ist so ziemlich das einzige, was ein Großstädter an Natürlichem in seiner Umwelt zu sehen bekommt. Aus der natürlichen Umwelt ist eine künstliche geworden. Das bedeutet nicht, dass die heutigen Menschen die Welt besser beherrschen und die Zukunft besser gestalten als die Menschen vor 1000 oder 10000 Jahren, denn sie können die Wirkungen ihrer eigenen Ideen und Errungenschaften nicht voraussehen. So wie man die Auswirkungen der Dampfmaschine auf die menschliche Gesellschaft nicht voraussehen konnte, so können wir Heutigen die Auswirkungen des Computers nicht voraussehen.

Die Hilflosigkeit vor der eigenen technischen Machtfülle kennzeichnet die gegenwärtige Situation der Menschheit. Sie ist die Fortsetzung der Hilflosigkeit des primitiven Menschen der Natur gegenüber, und in ihrer Hilflosigkeit brauchen die Menschen von heute genauso wie ihre Vorfahren einen Hoffnungsträger, einen Glauben, einen Gott, eine Religion. Das gilt sicher nicht für jeden einzelnen Zeitgenossen, wohl aber für die Menschheit insgesamt, die sich bedroht und ohnmächtig fühlt. Denn die Beherrschung der Welt liegt immer jenseits des Horizontes, dem die Menschheit seit Adam zustrebt gemäß dem eingangs zitierten biblischen Befehl. Es ist jedoch nicht der Befehl einer höheren Instanz, sondern ein innerer Befehl, es ist das Produkt der genetischen und der Motor der kulturellen Evolution.

Im Spannungsfeld zwischen Technik und Psyche läuft eine atemberaubende Entwicklung ab, in der die Informatik ständig an Bedeutung gewinnt. Die Welt wird

¹ Zitat aus dem Vortrag "Kausalgesetz und Willensfreiheit", abgedruckt in [Planck 90]

immer künstlicher, und das betrifft in zunehmendem Maße auch die sprachliche Kommunikation. Immer mehr Informationen, die auf den Menschen einströmen, werden von Maschinen “hergestellt”, und zwar werden sie nicht nur maschinell codiert, sondern auch artikuliert, d.h. gedruckt oder gesprochen, sodass der Eindruck entstehen kann, nicht nur die Zeichen, sondern auch ihre Bedeutung, die der Mensch in die Zeichen hineinlegt, seien vom Computer produziert.

Der Computer, das Produkt menschlicher Erfindungsgabe, verändert die Welt und verändert unser Weltbild, ohne dass wir wissen, wohin die Reise geht und ohne dass wir die Entwicklung nach eigenem Gutdünken, nach eigenem Wissen und Gewissen steuern könnten. Die Folge ist ein zunehmender Druck in Richtung einer organisatorischen und sittlichen Erneuerung der Gesellschaft und speziell in Richtung einer notwendigen Anpassung an das eigene Kind, den Computer, und umgekehrt der Computertechnik an den Menschen, womit den Informatikern eine besondere Verantwortung auferlegt ist.

Die Informatik befindet sich ihrer Jugend gemäß gegenwärtig noch in der expansiven Phase des Erkundens, Erfindens und Sammelns. Die Entwicklung schreitet divergent in zahllosen Richtungen voran, wobei es nicht ausbleiben kann, dass die rechte Hand oft nicht weiß, was die linke tut. Der Evolutionsdruck in Richtung nachträglicher Konvergenz der divergierenden Zweige kommt erst in Ansätzen zur Wirkung, und der Übergang von der differenzierenden zur generalisierenden Phase, den jede Wissenschaft im Großen ebenso wie jede Abstraktion im Kleinen durchläuft, ist Aufgabe der Zukunft. Es ist also noch ein weiter Weg zurückzulegen, ehe die Informatik die Geschlossenheit beispielsweise der Physik erreicht haben und zu einer fundamentalen Wissenschaft geworden sein wird. Im Gegensatz zu manchen meiner Fachkollegen glaube ich, dass am Ende des Weges eine “*exakte Natur-Wissenschaft Informatik*” stehen wird, wobei unter “Natur” alles zu verstehen ist, was uns umgibt und was wir wahrnehmen bzw. direkt oder indirekt beobachten können. Angesichts der immer durchgreifenderen Beeinflussung der Natur durch den Menschen erweitert sich der Gegenstand der “Naturwissenschaften” zunehmend vom Natürlichen zum Wahrnehmbaren oder Beobachtbaren, das Künstliche eingeschlossen. Man denke nur an die “Naturwissenschaft Chemie”, die sich mit Stoffen beschäftigt, die in der unberührten Natur nicht vorkommen. Die *Naturwissenschaft* als Wissenschaft vom Naturgegebenen hat sich fast unbemerkt zur *Wissenschaft des Beobachtbaren* erweitert.

Den Weg der Informatik zu einer exakten “Naturwissenschaft” (in dem genannten erweiterten Sinne) ebnen zu helfen, ist ein Anliegen des Buches. Es bemüht sich um eine einheitliche Sicht auf die verschiedenen Teilgebiete der Informatik und will das “Verständnis im Überblick” mit dem “Verständnis des Details” verbinden. Die Einheitlichkeit der Sicht spiegelt sich in der Einheitlichkeit des begrifflichen Apparates wider, mit dessen Hilfe sich sowohl die Hardware (die gerätetechnische Basis) als auch die Software (der programmtechnische Überbau) informationeller Systeme, darüber hinaus aber auch die Strukturen von Fertigungssystemen und der Ablauf von

Fertigungsprozessen, beispielsweise der Automobilherstellung, in einheitlicher Weise beschreiben lassen.

Angesichts der thematischen Breite des Buches verbietet sich das Eingehen auf tiefere Details. Einige speziellere rechentechnische Probleme sind aus dem Gedankengang vom Bit zur künstlichen Intelligenz, der sich durch die Teile 2 und 3 zieht, herausgelöst und in Teil 4 zusammengefasst. Das weite Feld der Anwendung der Rechentechnik wird nur hier und da in Form von Beispielen berührt. Ausführliche Darstellungen der verschiedenen Gebiete der Informatik findet der Leser in der angegebenen Literatur. Die Literaturlauswahl ist bewusst klein gehalten. Sie beschränkt sich im Wesentlichen auf deutschsprachige Monographien mit umfangreichen Literaturangaben sowie auf einige moderne Lehrbücher und Lexika.

Die Begriffe, in denen ich meine Gedanken zur Informatik in diesem Buch niedergelegt habe, und speziell die in Kap.8 eingeführte Methode der *uniformen Systembeschreibung* (USB) sind das Ergebnis einer kritischen Betrachtung der Phänomene der Informationsverarbeitung mit den Augen eines Naturwissenschaftlers, dessen Denken ursprünglich nicht durch die Informatik, sondern durch die Physik geprägt worden ist. Angestrebt wird ein System von Begriffen, das zunächst auf Sinnfälligkeit ausgerichtet ist, das aber eine Schärfung der Begriffe bis zu mathematischer Strenge erlaubt, die allerdings in dem Buch nicht erreicht wird. Das Ziel des Buches besteht also nicht darin, eine einheitliche *formale Theorie* der Informatik vorzulegen, sondern eher darin, die gedanklichen und begrifflichen Grundlagen für eine solche Theorie zu erarbeiten.

Der in Teil 1 eingeführte Begriffsapparat wird in den nachfolgenden Teilen auf die *Prozessorinformatik* angewendet, d.h. auf die Lehre von der traditionellen Informationsverarbeitung, die sich des klassischen Prozessors bedient. Die Anwendung auf die *technische Neuroinformatik*, d.h. auf die Lehre von der Informationsverarbeitung durch künstliche neuronale Netze, wird lediglich angedeutet. Das moderne Gebiet der *Quanteninformatik* wird nicht behandelt².

Die Bemühungen um einen einheitlichen Begriffsapparat führen hier und da zur Einführung unkonventioneller Begriffe, zur Verwendung unkonventioneller Bezeichnungen für gängige Begriffe oder zur Verwendung gängiger Wörter in unüblichem Sinne. Letzteres trifft z.B. für den Intelligenzbegriff zu (s.u.). Das wohl auffallendste Beispiel unkonventioneller Begriffe ist das Begriffspaar **Realem - Idem** (Betonung jeweils auf der letzten Silbe, wie bei Morphem). Grob gesagt bezeichnet ein Realem-Idem-Paar ein reales Objekt und seine Widerspiegelung im Bewusstsein.

Der Grund für die Einführung dieses Begriffspaares ist der Wunsch, den wohl schwierigsten Begriff, mit dem die Informatiker zu tun haben, den Begriff der

² Eine kompakte Darstellung der physikalischen Grundlagen des Quantencomputers und des gegenwärtigen Entwicklungsstandes findet der Leser in [Briegel 99].

Bedeutung, wie er im täglichen Umgang verwendet wird, von vornherein aus allen technischen und logischen Gedankengängen auszuklammern und ihm eine Sonderstellung zuzuweisen. Das dient der Klarheit der Darstellung. Denn der Sinn des Wortes “Bedeutung” ist in seinem vollen umgangssprachlichen Gehalt kaum zu erfassen. Das Buch akzentuiert die Schwierigkeit mit der Feststellung, dass Bedeutung (im umgangssprachlichen Sinne des Wortes) an *Bewusstsein* gekoppelt ist. Anders wird man dem Wort “Bedeutung” nicht gerecht. Genau genommen ist “Bedeutung” nämlich etwas zutiefst Individuelles. Ein reales Objekt, sei es ein Gegenstand oder ein gesprochenes oder gedrucktes Wort, hat für jeden, der es wahrnimmt bzw. interpretiert, *seine eigene*, d.h. seine personenspezifische *Bedeutung*. Diese personenspezifische und niemals vollständig mitteilbare Bedeutung wird vom Begriff *Idem* erfasst.

Darüber, was Bedeutung und was Bewusstsein “wirklich” sind, fällt in dem Buch kein Wort. Es handelt sich um unmittelbare Erfahrungen, denen jeder Menschen “sprachlos” gegenübersteht, die keine sprachliche Erklärung zulassen. Auf sie trifft der wittgensteinsche Imperativ zu: “Wovon man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen.” An ihn halten wir uns. Dennoch muss der Begriff der *Bedeutung als persönlicher, in Worte nicht fassbarer Erfahrung* benannt werden, denn ohne ihn ist es nicht möglich über Sprache und Informatik nachzudenken und sich mitzuteilen.

Als Autor wusste ich mir keinen besseren Rat als die Erfindung eines neuen Wortes für diesen Begriff und eines zweiten Wortes für sein Pendant in der Realität, falls ein solches existiert. Nur so lassen sich Missverständnisse vermeiden, die allzu leicht dadurch entstehen, dass man meint, jeder verstünde unter einem bestimmten Wort genau dass Gleiche wie man selber. Die Gefahr, falsch verstanden zu werden ist besonders groß im Falle von Wörtern, die nicht einheitlich verwendet werden oder die bedeutungsmäßig überladen sind wie z.B die Wörter *Information* und *Semantik*.

Die Einführung neuer Wörter führt zuweilen zu einem unkonventionellen Sprachgebrauch, der für den Fachmann ohne Frage eine Unannehmlichkeit darstellt und wohlwollende Nachsicht und die Bereitschaft voraussetzt, ungewohnte Wörter in gewohnte zu übersetzen. Das Glossar am Ende des Buches soll das Übersetzen erleichtern.

Die Einführung des Begriffspaares *Realem - Idem* erfolgt gleich zu Beginn des Buches. Das *Idem* wird unter Verwendung des Wortes *Bewusstsein* eingeführt, also eines Begriffs, der außerhalb der konventionellen Informatik liegt und der für eine rein technische Darstellung nicht erforderlich ist. Denn es gibt keinen vernünftigen Grund, dem Computer Bewusstsein zuzubilligen. Dieser Sachverhalt hat zusammen mit der genannten Kopplung zwischen Bedeutung und Bewusstsein folgende Konsequenz: *Computer verstehen und verarbeiten keine “Bedeutung”*. Diesen Schluss nenne ich das **Prinzip der Bedeutungsfreiheit der Informationsverarbeitung durch den Computer**. Das Wort “Prinzip” soll die “prinzipielle” Wichtigkeit des Schlusses unterstreichen. Das Prinzip der Bedeutungsfreiheit hat in der klassischen Logik sein Pendant im sog. *Extensionalitätsprinzip*.

Die Herangehensweise des Buches an die Probleme der Informatik zeichnet sich durch eine weitere konzeptionelle Besonderheit aus. Sie besteht darin, dass die Stellung jeder Frage und die Suche nach Antworten stets vom materiellen *Träger* der informationellen Prozesse ausgeht. Das gilt insbesondere für die Frage: *Zu welchen Leistungen ist ein Information verarbeitendes System fähig?* Im Falle der Informationsverarbeitung durch den Computer, kurz der *Computer-IV*, ist der Träger das als Computer bezeichnete *technische Gerät*. Im Falle der Informationsverarbeitung durch den Menschen, kurz der *Human-IV*, ist der Träger das *Gehirn*. Die genannte konzeptionelle Besonderheit nenne ich das **Trägerprinzip**. Nach diesem Prinzip sind die Probleme der Informatik vom Träger her und nicht von der Mathematik, von der Logik oder von irgend einem anderen abstrakten Denksystem her anzugehen. Da das Trägerprinzip grundlegend für die Herangehensweise des Buches ist, sollte der Leser schon jetzt klar erkennen, worin das Prinzip genau besteht und welche Konsequenzen es hat. In einem ähnlichen, aber auf die Computer-IV beschränkten Sinne wird zuweilen vom *Prozessorprinzip* gesprochen.

3

Es würde naheliegen, unter dem Träger technischer informationeller Prozesse den Computer als Einheit von Hardware (gerätetechnischer Basis) und Software (programmtechnischem Überbau) zu verstehen. Die obige Frage lautet dann: *Zu welchen Leistungen kann eine gegebene Software eine gegebene Hardware befähigen?* In konkreten Fällen kann diese Frage von großer Wichtigkeit sein. Es ist aber nicht diejenige Frage, der unser Interesse gilt. Unsere Frage lautet: *Zu welchen Leistungen kann eine gegebene Hardware "im Prinzip" befähigt werden?* Hier bedeutet "im Prinzip" soviel wie "durch beliebige Software" oder genauer "durch die Gesamtheit aller denkbaren Softwaresysteme", was im Grunde gleichbedeutend ist mit "ohne Berücksichtigung der Software".

Die Frage ist scheinbar sinnlos, denn ohne Software ist die Hardware zu nichts in der Lage, sie ist "tot". Dass die Frage trotzdem nicht sinnlos ist, zeigt folgender Vergleich. Wir ersetzen die Hardware durch ein Auto und die Software, die das Verhalten der Hardware *steuert*, durch einen Fahrer, der das Verhalten des Autos *steuert*. Obwohl ein Auto ohne Fahrer "tot" ist, hat die Frage Sinn, was ein Auto "im Prinzip", d.h. ohne Berücksichtigung der Fähigkeiten des Fahrers, zu leisten vermag. Man kann z.B. nach der Höchstgeschwindigkeit oder nach dem Kraftstoffverbrauch fragen. Genauso kann hinsichtlich der Rechnerhardware fragen, welche Funktionen sie "im Prinzip" berechnen kann.

Die Forderung des Trägerprinzips stellt keine Notwendigkeit dar. Das Nachdenken der theoretischen Informatiker geht in der Regel nicht vom Trägerprinzip, sondern vom "*Denkprinzip*" aus, d.h. davon, *wie und was* der Mensch denkt. Das führt zwangsläufig zu der Frage, ob ein Computer "dasselbe und ebenso *denkt*" wie der Mensch, und zu der speziellen Frage, ob er dasselbe (dieselben Funktionen) *berechnen* kann wie der Mensch. Das Trägerprinzip stellt diese Frage *nicht*, sondern fragt, welche Hardware *wie und was* "denken" bzw. berechnen kann. Wir werden die Frage hinsichtlich einer Hardware stellen, die wir in Kap.13 entwickeln (nacher-

finden) werden. Es handelt sich um den sog. *Prozessorrechner*. Um Aussagen über seine “prinzipielle” Leistungsfähigkeit machen zu können, benötigen wir eine Methode, nach der sich sämtliche denkbaren Steuervorschriften für die Hardware (sog. Maschinenprogramme) erzeugen (“komponieren”) lassen. Eine solche Methode wird in Kap.8 entwickelt und USB-Methode genannt (USB von Uniforme System-Beschreibung). Auf diesem Wege werden wir zu der bekannten Aussage gelangen, dass der Computer “nur” sog. *rekursive Funktionen* berechnen kann.

In enger Beziehung zum Trägerprinzip steht das **Realisierbarkeitsprinzip** der Computer-IV. Es schränkt den Bereich, über den nachgedacht wird, auf das *effektiv Machbare*, das *praktisch Realisierbare* ein. Das betrifft nicht nur den Träger, z.B. den Computer, sondern auch das, was der Träger “macht” (denkt, berechnet) bzw. machen soll. Gemäß diesem Prinzip werden nur solche informationellen Systeme betrachtet, die mit *endlichem* Aufwand gebaut werden können, und nur solche Verarbeitungsprozesse, die in *endlicher* Zeit “terminieren”, d.h. ihr Ende erreichen.

Die drei genannten Prinzipien,

- das Prinzip der Bedeutungsfreiheit,
- das Trägerprinzip,
- das Realisierbarkeitsprinzip,

bestimmen die Herangehensweise des Buches an die Probleme nicht nur der Computertechnik, sondern der Informatik überhaupt.

Die Prinzipien ergeben sich aus dem Begriff der Informatik, wie er in Kap.3.1 definiert wird und im Untertitel des Buches verwendet ist. In Kap.3.1 wird die **Informatik** als *Lehre vom aktiven sprachlichen Modellieren* definiert. Ein Modell heißt *sprachlich*, wenn es das Original in codierter Form wiedergibt (“beschreibt”). Es heißt *aktiv*, wenn der Träger (z.B. der Computer) als zum Modell gehörig betrachtet wird. Dies ist ein Beispiel für die Verwendung eines gängigen Wortes in einer unüblichen Bedeutung. Die so definierte *Wissenschaft Informatik* besitzt viele Bezüge zur *Kognitionswissenschaft*, der Lehre von den menschlichen Methoden der Organisation und Verarbeitung von Wissen. Die Verwandtschaft beider Wissenschaften tritt besonders deutlich in den Kapiteln 2, 5, 7, im gesamten Teil 3 sowie in Kap.21 zutage. Der Gegenstand der Kognitionswissenschaft überdeckt sich weitgehend mit dem der Human-IV (s.o).

Ein anderes Beispiel für die Verwendung eines gängigen Wortes in einer unüblichen Bedeutung ist das Wort “Intelligenz”. In diesem Buch wird mit **Intelligenz** die *Fähigkeit zum sprachlichen Modellieren* bezeichnet, und das Computermodell dieser menschlichen Fähigkeit, m.a.W. die simulierte natürliche Intelligenz, wird **künstliche Intelligenz** genannt.

Als Originale, also als Objekte des sprachlichen Modellierens, werden i.d.R. nur Ausschnitte der Realität, des “Wirklichen” betrachtet. Das stellt insofern eine Beschränkung dar, als der Mensch auch das “Unwirkliche” denken kann. Er kann beispielsweise bewusst oder unbewusst etwas Sinnloses denken und auch artikulieren. Ferner kann er sein eigenes Denken modellieren. Sein Denken kann zu endlosen

Schlussfolgerungsketten oder zu Antinomien führen. All diese Möglichkeiten sind nicht der eigentliche Gegenstand des Buches und werden nur am Rande erwähnt.

Diese Beschränkung bedeutet einen Verzicht auf viele tiefgründige und faszinierende Fragen, auf die man stößt, wenn man über das *Denken* nachdenkt. Doch kann man auf die Behandlung dieser Fragen verzichten, wenn man verstehen will, wie ein Computer funktioniert und was er kann. Wer sich für die hier ausgegrenzten Probleme interessiert, findet eine ausführliche und gleichzeitig kurzweilige Darstellung mit vielen Beispielen in [Hofstadter 85].

Auf ein anderes Buch möchte ich besonders hinweisen, weil es gewissermaßen ein Pendant zu diesem Buch darstellt. Es handelt sich um das Buch "Nichtphysikalische Grundlagen der Informationstechnik" von Siegfried Wendt [Wendt 89]. Dort wird - ebenso wie in diesem Buch - versucht, ein einheitliches Gebäude der Informatik zu "konstruieren". Ausgangspunkt ist jedoch nicht das Trägerprinzip; das Fundament der Konstruktion ist nicht das Stofflich-physikalische, nicht das *Naturnotwendige*, sondern das *Logische*, das *Denknotwendige*. Im Titel des vorliegenden Buches kennzeichnet das Wort "kausal" die Herangehensweise im Sinne des Trägerprinzips. Das bedeutet, dass die Informatik nicht als Gebäude logischer, sondern kausaler Beziehungen entwickelt wird und dass die elementaren Bausteine des Gebäudes nicht Zeichen oder Code, sondern codierende Zustände des Trägers sind. "Kausale Informatik" ist als Pendant zu einer "nichtkausalen", d.h. zu einer rein logischen Informatik zu verstehen, keinesfalls als Gegenentwurf zu einer "akausalen" Informatik, was keinen Sinn ergäbe. In dem Wort "kausal" findet folgender Sachverhalt seinen kurzen und treffenden Ausdruck. Sprachliches Modellieren beruht letzten Endes auf Abbildungen kausaler Ereignisketten im Original in kausale Ereignisketten im Modellträger (Computer oder Gehirn) sowie in Abbildungen zwischen logischen Schlussketten über das Original und kausalen Ereignisketten im Modellträger.

Die kausale Herangehensweise liegt dem Gedankengang zugrunde, der das gesamte Buch durchzieht. Sein Ziel ist die kausale Beschreibung des sprachlichen Modellierens. Am Anfang und am Ende des Buches steht jeweils ein Zitat von MAX PLANCK; das eine ist diesem Abschnitt, das andere dem Kapitel 22 als Motto vorangestellt. Im Sinne dieser Zitate artikuliert der Titel des Buches das *notwendige*, aber *unerreichbare* Ziel der "Wissenschaft Informatik". Das Adjektiv "kausal" im Buchtitel ist im Sinne des Planck-Zitats als Forderung nach "*der vollständigen Durchführung der kausalen Betrachtungsweise*" vom physikalischen Modellträger bis zum sprachlichen Modell zu verstehen. Freilich können wir die Forderung nur hinsichtlich der maschinellen Informationsverarbeitung und der künstlichen Intelligenz, nicht aber hinsichtlich der natürlichen Intelligenz erfüllen.

Die Beschränkung auf das *Machbare* bedeutet nicht, dass ich ein reiner Pragmatiker bin. Vielmehr sind es gerade die tieferen menschlichen, gesellschaftlichen und philosophischen Probleme, in welche die Informatik involviert ist, die mich veranlassen haben, meinen Weg zur Informatik und zur künstlichen Intelligenz allgemein-

verständlich und dennoch detailliert darzustellen. Doch bilden diese Probleme nicht den Inhalt des Buches. Auf sie gehe ich sehr kurz im Schlusswort ein.

Ich habe das Buch im Vertrauen auf die Vernunft des Menschen geschrieben, die ihn befähigt, seiner Hilflosigkeit vor der eigenen technischen Machtfülle Herr zu werden.

Hinweise zum Lesen des Buches

Das Lesen, sowohl das Überfliegen als auch das Arbeiten mit dem Buch, wird durch Zusammenfassungen vor den Kapiteln, durch ein Glossar am Ende des Buches und durch unterschiedlichen Druck unterstützt. Neu eingeführte Begriffe und nicht-nummerierte Abschnittsüberschriften sind fett gedruckt. Zitate, wichtige Textstellen und gedanklich zu betonende Wörter sind kursiv gedruckt. Kursiv gedruckte Textstellen von besonderer Bedeutung enthalten fettgedruckte Wörter. Programme sind in Schreibmaschinenschrift gedruckt. Sogenannte objektsprachliche Wörter (Wörter, *über* die etwas ausgesagt wird) werden durch Anführungsstriche oder durch Kursivdruck gekennzeichnet.

Das Buch enthält viele Querverweise. Das Verweisen erfolgt nicht über Seitenzahlen, sondern über spezielle *Verweiszahlen*. Textstellen, *auf* die verwiesen wird, sind kapitelweise durchnummeriert. An derjenigen Textstelle, *von* der aus verwiesen wird, ist die Verweiszahl in eckigen Klammern angegeben. Falls auf ein anderes Kapitel verwiesen wird, ist auch die Kapitelnummer angegeben, z.B. [8.12]. Die Textstelle, *auf* die verwiesen wird, findet der Leser über die betreffende Verweiszahl auf dem Rand neben der betreffenden Stelle.

Ich habe mich um eine Darstellung bemüht, die ein *durchgängiges* Lesen ohne Vor- und Zurückblättern ermöglicht, sodass die Verweise i.Allg. außer Acht gelassen werden können. Die Verweise sollen denjenigen helfen, die ein Kapitel ohne Kenntnis der vorangehenden Kapitel lesen möchten, aber auch denjenigen die das Buch nicht nur durchlesen, sondern als in sich geschlossenes Gedankengebäude erfassen wollen. Wenn es jedoch nur darum geht, sich an Definitionen zu erinnern, wird es oft einfacher sein, nicht die Verweise, sondern das Glossar zu benutzen.

Um sich ein Bild vom Inhalt des Buches zu machen, kann es ausreichen, die Zusammenfassungen vor den einzelnen Kapiteln zu lesen. Diejenigen Leser, welche sich für die mathematischen Grundlagen der Informatik weniger interessieren, können die Kapitel, die im Inhaltsverzeichnis mit einem Stern gekennzeichnet sind, ohne wesentlichen Verlust überspringen. Das Entsprechende gilt hinsichtlich der Kapitel 19 und 20 für Leser, die auf Ergänzungen zur Rechnerarchitektur, zu Betriebssystemen und zu Programmiersprachen verzichten wollen. Bei nichtdurchgängiger Lektüre des Buches kann das Glossar gute Dienste leisten.