40 Jahre Konrad Zuses „Rechnender Raum“ Symposium in Leipzig 2009

Wolfgang Eisenberg, Uwe Renner, Leipzig

Statt einer Einleitung

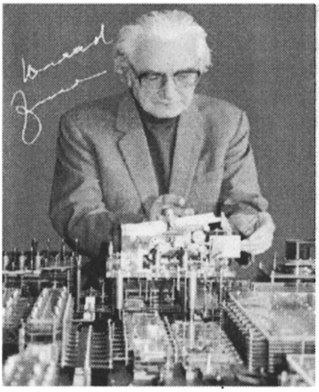

Abbildung 1: Konrad Zuse und seine Z1

S. Lloyd, einer der Architekten zukünftiger Quantencomputer würdigte die historische Leistung des Computerpioniers Konrad Zuse: *„The first simple electronic computer was built by Konrad Zuse in Germany in 1941, followed by large-scaled computers in the United States and Great Britain later on the 1940s.“* Und zur Publikation „Rechnender Raum" von Konrad Zuse bemerkte S. Lloyd anerkennend *„The idea that the universe might be a kind of computer was proposed in the 1960s by Fredkin and independently by Konrad Zuse, the first person to build a modern electronic computer. Fredkin and Zuse suggested that the universe might be a type of classical computer called a cellular automaton, ... More recently, Stephen Wolfram has extended and elaborated Fredkin's and Zuse's ideas.“[1]*

1. Zum Leipziger Zuse-Symposium 2009

Die Arnold-Sommerfeld-Gesellschaft e. V. (ASG) wurde 1998 in der Stadt Leipzig von einem Verbund von Naturwissenschaftlern, Mathematikern und Ingenieuren gegründet. Sie ist sowohl der Tradition des bedeutenden Physikers und Didaktikers Arnold Sommerfeld und seiner Schule als auch der Moderne in der Naturwissenschaft, der Mathematik, der Technik und insbesondere der Interdisziplinarität verpflichtet.

Arnold Sommerfeld selbst hat die interdisziplinäre Entwicklung von der (angewandten) Mathematik (Universität Königsberg, Universität Göttingen), über die technische Mechanik (TH Aachen, VDI Aachen) bis zur theoretischen Physik (Universität München) erfolgreich durchlaufen. Die Sommerfeldschule wurde durch sein didaktisch gelungenes Werk „Atombau und Spektrallinien“ (1919) geprägt. und weltbekannt. Es war die „Bibel“ der Atomphysik, das „Lehrbuch“ für die vielen Sommerfeldschüler und die Sommerfeldenkel weltweit. Darüber hinaus brachten sie die radikaleren Ideen der neueren Quantentheorie (W. Heisenberg, E. Schrödinger, M. Born, P. Jordan) in den zunehmend globalen Verständigungsprozess über die moderne Physik ein (Leipzig 1928: Quantentheorie der Festkörperelektronen; Wolfgang Pauli, Peter Debye, Felix Bloch, Rudolf Peierls usw.).

Die daran anknüpfende Profillinie der Arnold-Sommerfeld-Gesellschaft e. V. „Physik – Information – Informationssysteme“ umfasst neben den üblichen elektronisch getriebenen Informationssystemen auch die Ideen der neueren Arbeiten des „Sommerfeld-Enkelschülers“ Carl Friedrich von Weizsäckers zur Thematik „Physik und (Quanten)Informationstheorie“, die mit seiner Ur-Theorie einen wichtigen Baustein erhalten hat. In der ASG-Profillinie ist natürlich die Sommerfeld'sche interdisziplinäre Breite von der Physik bis zur Technikgestaltung tradiert worden, die seit 2002 zur inspirierenden und bewährten Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Physik – Informatik – Informationstechnik“ (PII) der DPG, GI und ITG führte.

Zudem hat sich die ASG schon seit 15 Jahren dem Forschungsthema „Zelluläre Automaten“ (ZA) gewidmet. 1997 wurde ein ZA-Patent eingereicht und die neueren Projektentwicklungen integrierten diese ZA-Thematik. Damit war der Übergang zur effektiven Behandlung komplexer Systeme in Physik, Biologie und Technik (Biomembrane, Biokunststoffe, Zuverlässigkeit) möglich. Höhepunkte dieser Projektentwicklungen waren die ASG-Vorträge auf der 1. Weltkonferenz für Mikro- und Nanozuverlässigkeit (Berlin, 2007) und auf der MicroCar (Leipzig, 2008).

Daher ist es folgerichtig, nach den wissenschaftlichen ASG-PII-Symposien (2002, 2003, 2005, 2006, 2008) im Jahre 2009 das wissenschaftliche ASG-PII-Symposium „Konrad Zuse (1910–1995) – Erfinder des Computers – 40 Jahre Rechnender Raum“ in Leipzig auszurichten.

Denn Konrad Zuse hat seine zukunftsorientierte Schrift „Rechnender Raum“ (1969) auf die Thematik „Zelluläre Automaten“ in seiner neuen automatentheoretischer Sicht fokussiert.

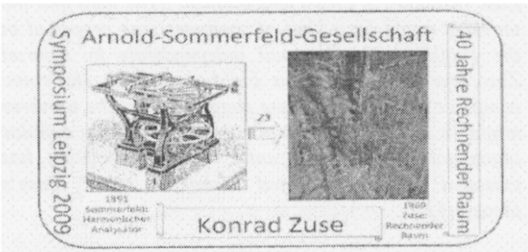

Abbildung 2: Symbolische Darstellung auf der Einladung zum Leipziger Zuse-Symposium 2009

Zum Ziel des Leipziger Konrad-Zuse-Symposiums gehört natürlich auch die Würdigung der außerordentlichen Persönlichkeit des Computerpioniers, der fast im Alleingang aus einer praktischen Problemstellung (baustatische Berechnungen) heraus entscheidende Ideen der zukünftigen Computerentwicklung generierte. Interessanterweise baute 1891 – 50 Jahre vor Konrad Zuse – der Namenspatron der ASG, der junge Arnold Sommerfeld gemeinsam mit dem Physiker Emil Wiechert in Königsberg den noch mechanisch funktionierenden analogen harmonischen Analysator zur Berechnung der Fourierkoeffizienten. Das Gerät der Königsberger Vertreter der Mathematischen Physik diente als Routinearbeitserleichterung. Diese Rationalisierung des Rechnens verfolgte 50 Jahre später auch der Computerpionier Konrad Zuse (Z3, 1941). Das wurde deshalb in der symbolischen Darstellung auf der Einladung zum Zuse-Symposium hervorgehoben.

Natürlich lag es für die ASG nahe, die Zuse-Würdigung in der Stadt Leipzig gemeinsam mit den anderen interessierten Institutionen zu gestalten. Denn in der HTWK Leipzig wurde 2002 der Zuse-Bau eingeweiht und in der Stadt Leipzig gibt es eine Zuse straße. Die ASG hat am Vorabend des Leipziger Symposiums – zusammen mit der Stadt Leipzig und im Beisein des Sohnes von Konrad Zuse, Professor Horst Zuse, die Zusestraße um ein erläuterndes Straßenschild bereichert. Zudem wird auch 2010 auf der Leipziger GI-Tagung der 100. Geburtstag Konrad Zuses gebührend gewürdigt. Diese Zuse-Publikation der ASG ist anlässlich dieses Jubiläums erschienen. Sie enthält insbesondere eine kompakte Analyse in einer problematisierenden und zum Weitermachen auffordernde Darstellung vom „Rechnender Raum“ des innovativen Computerpioniers Konrad Zuse.

1939 begann Konrad Zuse mit dem Bau der leistungsfähigen Rechenanlage in Relaistechnik, die in Fortsetzung der begonnenen Entwicklungen die Bezeichnung Z3 erhielt. Die Maschine Z3, am 12. Mai 1941 fertiggestellt, wird heutzutage fast einhellig als die erste betriebsfähige, frei programmierbare, in binärer Gleitkommarechnung, arbeitende

Rechenmaschine der Welt angesehen. Diese von Zuse gebaute Z3 kann als Prototyp des heutigen modernen Computers angesehen werden. Zu einem modernen Computer fehlte nur die logische Einheit zum Vergleichen von Zahlen bzw. Bits. Das Modell Z4, eine Erweiterung der Z3, konnte bei den Bombenangriffen am 21. Dezember 1943 und 30. Januar 1944 gerettet werden, an der ETH Zürich aufgestellt und von 1950 bis 1955 genutzt werden. Diese Z4 steht heute im Deutschen Museum München. Wegen der zerstörerischen Bombenangriffe in Berlin gibt es kein Originalfoto von der Z3, sondern die von Zuse selbst gezeichnete Rechenanlage.

Die erste in Serie gefertigte Maschine in Röhrentechnik in Deutschland war die Z22-1-Rechenanlage. Es ist die Maschine, mit der die EDV in die deutschen Universitäten und Hochschulen eingeführt wurde. Die erste Anlage Z22-1 wurde im Februar 1958 an die TU Berlin ausgeliefert. Sie steht heute im Konrad-Zuse-Museum in Hünfeld. Insgesamt wurden bis 1964 immerhin 56 Maschinen ausgeliefert.

In der 1955 gegründeten Zuse AG entstanden von 1959 bis 1964 außerdem die Z25, die Z31 als Transistorrechner und der Z64 als Graphomat. Nach der Ablehnung seines Patentantrages im Jahre 1965 schied Zuse als aktiver Teilhaber der Zuse AG aus. Diese wurde 1966 von der Siemens AG übernommen. Konrad Zuse wurde Berater und freier Mitarbeiter bei der Siemens AG und der „Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH Bonn (GMD)“. In dieser Zeit konnte er sich mit den theoretischen Grundlagen der Computertechnik und des wissenschaftlichen Arbeitens (wissenschaftlichem Rechnen) beschäftigen. Seine neuen Ideen veröffentlichte er in seinem Buch „Rechnender Raum“ (1969). Darin favorisierte Zuse 30 Jahre nach dem Bau seines Z3 die zellulären Automaten als eine zukünftige Variante der Computerentwicklung.

2. Zur Originalausgabe des Buches „Rechnender Raum“ von Konrad Zuse (1969)

Schon im notwendig gewordenen vorbereitenden Artikel zum Thema „Rechnender Raum“ (Elektronische Datenverarbeitung, Bd. 8, S. 136, 1967) ist im Literaturverzeichnis das Ziel der 1969 erschienenen Publikation „Rechnender Raum“ offenkundig. Es geht Konrad Zuse um die Gewinnung der Theoretischen Physik für die automatentheoretische Betrachtungsweise in Modell- und Theoriengestaltung. Er nennt mögliche Ansprech- und Diskussionspartner in der Theoretischen Physik.

Interessant für Zuse sind die Ideen des „Sommerfeld-Enkelschülers“ Carl Friedrich von Weizsäcker und des Nachfolgers Arnold Sommerfelds auf dem Münchner Lehrstuhl für Physik, Fritz Bopp. Insbesondere wies Konrad Zuse auf die unabhängig entwickelte Gitterraumidee des Physikers Fritz Bopp hin. Er hoffte auf gegenseitige Befruchtung der beiden „etwas verschiedenen“ Standpunkte und wertvolle Erkenntnisse. Konrad Zuses Sohn, Horst Zuse, wies außerdem auf das Interesse seines Vaters an den genialen Ideen von Richard Feynman hin [2].

Für einen historisch interessierten Wissenschaftler, der sich mit den ZA-Anwendungen beschäftigt, ist es selbstverständlich und interessant, die Originalarbeit „Rechnender Raum“ Konrad Zuses zu lesen und aufzuarbeiten. Auszüge aus der Analyse seien hier vorgestellt, wobei insbesondere die problematisierende und zum Weitermachen auffordernde Darstellung des Computerpioniers hervorgehoben wird.

Ein Ergebnis des Weitermachens in der ZA-Konzeption von Zuse ist auch der Artikel über Digitalteilchen. Es ist also nicht nur eine historiographische Aufarbeitung der publizierten Arbeiten Zuses zum Thema „Rechnender Raum“, sondern ein Anknüpfen an seine Ideen und deren heutige mögliche Weiterentwicklung. Auf eine andere Richtung der schon begonnenen aufgearbeiteten Ideen Zuses im Kontext der Ur-Theorie Carl Friedrich von Weizsäckers, die als ein wesentlicher Schritt in Richtung Quanteninformationstheorie gilt, wird in diesem Artikel auch hingewiesen.

Schon das Inhaltsverzeichnis (Einleitung; Einführende Betrachtungen: Automatentheorie – Differentialgleichungen – Physikalische Theorien; Beispiele für digitale Behandlungen von Teilchen und Feldern; Allgemeine Betrachtungen: Zelluläre Automaten; Schluss) offenbart das besondere Anliegen der Schrift von Konrad Zuse.

Es ging ihm insbesondere um die automatentheoretischen Betrachtungen zu den einzelnen physikalischen Differentialgleichungen (Maxwellgleichungen, Gravitation) und einzelnen physikalischen Theorien (Relativitätstheorie), um die digitale Behandlung von Teilchen und Feldern (Digitalteilchen) und um allgemeine Betrachtungen (Digitalteilchen und Zellulärer Automat, Kosmos, informationstheoretische Bezüge, Wahrscheinlichkeit, Intensität), die er mit Beispielen erläuterte, ohne die Probleme im Einzelnen und auch im Allgemeinen unerwähnt zu lassen. Er wählte eine problematisierende Darstellung, die er vor allem auf die zentrale Thematik in der Nutzung der Automatentheorie in der Theoretischen Physik fokussiert: „Differential- und Differenzengleichungen und Digitalisierung“.

Seine Beispiele digitaler Behandlung von Feldern und Teilchen basieren auf seinem zentralen Begriff des Digitalteilchens. Die Digitalteilchen (Basis-Teilchenvorstellung) sind charakterisiert durch Zustände bzw. Pfeile; sie bewegen sich sehr verschiedenartig als die komplexen Muster im Rechnenden Raum durch Fortschalten ihrer Wechselwirkung (Weiteres siehe auch den Artikel von U. Renner).

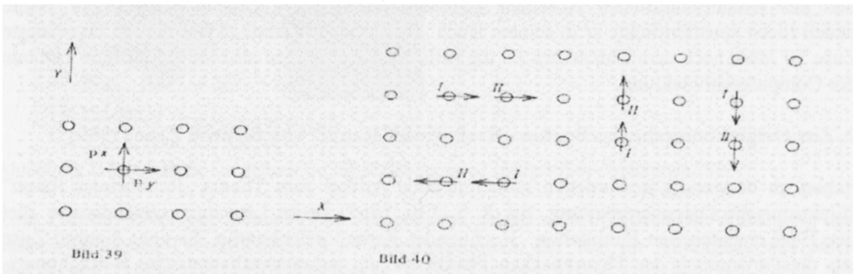

Abbildung 3: Digitalteilchen im zweidimensionalen Raum[1]

Diese Digitalteilchen verknüpft er in seinen allgemeinen Betrachtungen mit den zellulären Automaten. Als einen Startpunkt für die Anwendung seiner Idee hat Konrad Zuse die Relativitätstheorie gewählt. Erst seine daran anschließenden informationstheoretischen Betrachtungen führen ihn zu den bekannten Besonderheiten der quantentheoretischen Entwicklung. Im Schlusskapitel weist er auf die neuen Perspektiven des von ihm vorgeschlagenen Weges hin, „welche wert sind weiterverfolgt zu werden“ [3]. Denn auf dem Gebiet der Informationsverarbeitung war 1969 das Aufwandsverhältnis zwischen Software und Hardware von etwa 1:1 und in der Physik vielleicht etwa zwischen 1:20 und 1:100. Daher hoffte der Verfasser der o. g. Schrift, dass die Idee des Rechnenden Raumes nach einiger Zeit der Vorbereitung gute Hilfsdienste nicht nur in der Theoretischen Physik, sondern auch in der Theoretischen Chemie leisten kann.

In der Einleitung hat Konrad Zuse den Erfolg der numerischen Behandlung physikalischer Probleme auf die mehr oder weniger enge Verflechtung zwischen Mathematikern, Physikern und Fachleuten der Informationsverarbeitung zurückgeführt (siehe Bild 4 unten).

[1] Horst Zuse: Rechnender Raum 1969, S. 34

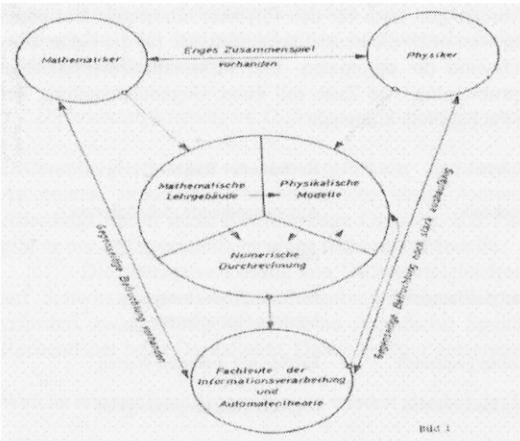

Abbildung 4: Wechselbeziehungen zwischen Physik, Mathematik und Informationsverarbeitung[2]

Die Mathematikentwicklung beeinflusst die physikalische Modellbildung, z. B. in der Quantentheorie. Die numerische Durchrechnung der Modelle erfolgt mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen. Den EDV-Fachleuten obliegt die Ermittlung der brauchbarsten numerischen Lösungen. Eine EDV-Beeinflussung der physikalischen Modellbildung besteht nur indirekt: bevorzugte Anwendung bestimmter numerischer Methoden.
Daher sind weitere neue Fragen durchaus berechtigt:

> Kann die Infoverarbeitung letztlich nur eine ausführende Rolle spielen?
> Gibt es auch befruchtende Ideen der Informationsverarbeitung, die rückwirkend selbst die physikalische Modell- und Theorienbildung beeinflussen?

Die Frage ist nach Konrad Zuse umso berechtigter, da sich in enger Zusammenarbeit mit der Infoverarbeitung ein neuer Zweig der Wissenschaft entwickelt hat, die Automatentheorie.

Eine solche Einflussnahme kann nach Konrad Zuse unter zwei Gesichtspunkten erfolgen:

1. Die Entwicklung und Bereitstellung von algorithmischen Verfahren, welche dem Physiker als neue Werkzeuge dienen können, seine theoretischen Erkenntnisse in praktische Ergebnisse umzusetzen. Hierher gehören alle numerischen Verfahren und die Probleme der numerischen Stabilität. Dazu gehören auch die symbolischen Rechnungen, wie die Anwendungen in der Quantentheorie zeigen.

2. Es kann auch an eine direkte Beeinflussung durch automatentheoretische Gedankengänge auf die physikalischen Theorien selbst gedacht werden. Diese Thematik ist schwierig und deshalb für Zuse interessanter und im Titel des Buches „Rechnender Raum“ als Ziel offenkundig gemacht. Die Schwierigkeit besteht in der zunehmenden Spezialisierung jeder der zu verknüpfenden Gebiete, der Physik, der Mathematik. und auch in der Datenverarbeitung selbst: der formalen Logik, der Informationstheorie, der Automatentheorie und der Theorie der Formalsprachen.
Eine gangbare Brücke zwischen diesen Wissenschaften könnte nach Zuse die Kybernetik sein. Das Ziel dieser Überlegungen des Fachmanns für Daten- und Infoverarbeitung sollte

[2] In: Rechnender Raum, S. 2

nach geeigneten Diskussionen und Anregungen auch für den Physiker akzeptable Lösungen darstellen. Hier – in dieser Publikation – ist noch die heuristische Methode für die Gedankenentwicklung vorherrschend. Natürlich sind die automaten- und informationstheoretischen Anwendungen in der Physik nicht problemlos, wie Zuse mit einer Gegenüberstellung der Charakteristika der unterschiedlichen Fachgebiete klarmacht.

Klassische Physik	**Quantenphysik**	**Rechnender Raum**
Punktmechanik	Wellenmechanik	Automatentheorie, Schaltalgebra
analog	hybrid	digital
Analysis	Differentialgleichungen	Differenzengleichungen logische Operationen
Größen kontinuierlich	einige Größen gequantelt	Größen mit diskreten Werten
unendlich genau	Unbestimmtheitsrelation	begrenzte Rechengenauigkeit

3. Probleme der neuen Interdisziplinarität

3.1 Zur automatentheoretischen Sichtweise der Differentialgleichungen in der Physik

In seiner Publikation „Rechnender Raum“ bemerkte Konrad Zuse im Kontext der automatentheoretischen Analyse, dass die Differentialgleichungen der Physik oft nur für die Kräfte im Gleichgewicht formuliert worden sind. Dem Endzustand gehen aber Nichtgleichgewichtszustände (als Zustandsfolge beschreibbar) voraus. Die Differentialgleichung beschreibt nur den Ruhezustand, aber nicht die reale Dynamik mit den Schwankungen, die durch natürliche Störungen in Gang gesetzt werden können. Diese reale Dynamik ist viel komplexer und mathematisch schwierig oder kaum zu beherrschen. Tatsache ist aber auch, dass oft für die Bestimmung des Endzustandes im Gleichgewicht die Prozessdetails nicht immer bekannt sein müssen.

Ähnliche Verhältnisse gibt es bei den partiellen Differentialgleichungen, z. B. bei ebenen und räumlichen Spannungszuständen. Die Relaxationsvorgänge hin zum Gleichgewicht sind viel komplexer. Das gleiche gilt für die ideale inkompressible Flüssigkeit. Der wirkliche Vorgang bis zum Erreichen des Endzustandes ist ohne Kompressibilität und die geeignete Dämpfung von Einschwingvorgängen wohl kaum darstellbar.
Es handelt sich bei diesen Differentialgleichungen nicht um dynamische Gesetze (oder Zuses Ergibtform im Sinne der Automatentheorie), welche dann automatentheoretisch als eine funktionale Abhängigkeit verschiedener aufeinanderfolgender Zustände beschrieben werden können. Diese Gesetzesform bezieht sich nur auf die Kontrolle des Endzustandes. Sie hat aber Einfluss auf die Numerik, die in diesem Fall oft mit Hilfe einfacher Relaxationsmethoden schrittweise – ohne Rücksicht auf den natürlichen und technischen Prozess – sinnvoll realisiert werden kann.

Bei Flüssigkeiten und Gasen führt erst die Einbeziehung der Kompression (und dazu der Dämpfung) auf Zuses Ergibtform. Bei kompressiblen Flüssigkeiten kann man diese durch Reformulierung erreichen. Die Differentialgleichung für inkompressible Flüssigkeiten hat wegen der Quellenfreiheit der Dichte ρ (Erhaltung der Masse) – mathematisch muss die Bedingung div $\rho = 0$ erfüllt sein – aber keinen algorithmischen Charakter; sie kann auch nicht auf die Ergibtform gebracht werden.

Dasselbe gilt auch für die Maxwellschen Gleichungen. Auch hier lassen die Divergenzgleichungen keine Ergibtform zu. Die nahe liegende Frage „Wäre daher eine Abänderung dieser Gleichungen ein sinnvoller Ausweg im automatentheoretischen Kontext?“ beantwortet Zuse selbst mit einem Nein. Denn die Maxwellgleichungen genügen zur

Beschreibung der elektromagnetischen Feldvorgänge, weil es nach Zuse in der Natur keine wachsenden oder neu entstehenden oder verschwindenden Quellen gibt. Es gibt nur die Ladungsverschiebungen.

3.2 Differentialgleichungen, Differenzengleichungen und Digitalisierung

Differentialgleichungen in der Ergibtform sind mit einem technischen Modell, einem Automaten, simulierbar und lösbar. Der ideale Automat ist eigentlich der Analogrechner. Allerdings haben diese Rechner enge Grenzen. Bei Partiellen Differentialgleichungen z. B. gibt es nur für Spezialfälle analoge technische Modelle.

Die alternative Lösung von Differentialgleichungen mit Digitalrechnern stößt sofort auf Schwierigkeiten: Auftreten kontinuierlicher Werte und unendlicher Felddichten. Das erfordert zwangsläufig sowohl eine unendliche Speicherdichte als auch eine unendliche Rechendauer beim Digitalgerät. Daher sind nur geeignete Kompromisse umsetzbar.

Welche notwendigen Kompromisse werden also bei der Digitalisierung gemacht?

Dazu muss man die Differentialmathematik analysieren. Auffällig ist dabei der doppelte Grenzübergang in der Differentialmathematik:

1. $\Delta x \rightarrow dx$;
2. Erhöhung der Stellenzahl.

Beim doppelten Grenzübergang in der Differentialmathematik ist insbesondere zu beachten, dass die Stufung der Werte wesentlich feiner als die gewählten Δx-Werte ist. Denn gleiche Größenordnungen erhalten den treppenförmigen Charakter der Kurve (Das ist insbesondere bei den Physikgleichungen zu beachten, denn auch die Ableitungen der Größen haben eine physikalische Bedeutung). Eine mögliche konsequente Digitalisierung nutzt diesen Umstand absichtlich aus.

Die systematische Verringerung der Stellenzahl bei der Darstellung der Größen führt zu den bekannten elementaren logischen Variablen „Ja/Nein" oder auch „Ja/Nein/Unentschieden" (Wertigkeiten 1, 0, -1 – entspricht den elektromagnetischen Ladungszuständen +e, 0, -e).
In der Numerik muss die stetige Größe in Einzelwerte aufgelöst werden. Das erfolgt am einfachsten durch die Annahme von Gitternetzen – orthogonal, dreieckig, sechseckig oder dichteste Kugelpackung.

3.3 Automatentheoretische Betrachtungen physikalischer Theorien

In diesem Kontext formuliert Konrad Zuse eine neue Frage: Sind die mit den neuen Rechenmaschinen gewonnenen Lösungen auf die physikalische Modellbildung selbst anwendbar?
Ihm geht es dabei aber nicht um die trivialen Fälle, in denen eine numerische Lösung begründete Vorentscheidungen für die nachfolgende Modellparameterwahl ermöglicht.

Seine Frage lautet: Ist die Natur digital, analog oder hybrid?

Die klassischen Physikmodelle sind analog ausgerichtet, ohne die atomistische „Körnung", ohne Schwellenwerte (Mindestwerte), Grenzwerte (Maximalwerte). Diskrete Werte der Größen bedeuten auch nicht die „digitale Naturauffassung". In der Quantentheorie gibt es diskrete Werte bestimmter Größen. Die Energieformel $E/\nu = h$ zeigt die Körnigkeit an. Aber das ist nicht dasselbe wie die Diskretisierung der Energie in der digitalen Rechenmaschine wegen der begrenzten Stellenzahl des Rechners.

In der Heisenberg-Schrödinger-Born-Jordanschen Quantentheorie wird die Vorstellung des Raumkontinuums der klassischen Physik nicht durch ein Gitter diskreter

Werte ersetzt, sondern es wird der Übergang zum höherdimensionalen Konfigurationsraum vollzogen, in dem Wahrscheinlichkeiten für den Teilchenaufenthalt definiert werden können.

Konrad Zuse kommt in der damaligen Zeit (1969) zu dem Schluss: Die moderne Physik besitzt erfolgreiche hybride Modelle. Ein Beispiel für ihn ist die Thermodynamik mit dem analogen Modell im Großen und der Körnigkeit im Kleinen. [4]

Ist daher die Natur hybrid? Vollständig digitale Modelle hat die Physik nicht. Was bedeutet eine vollständig gequantelte Physik? Die Fragen lässt Zuse offen.

Er geht zeitgemäß auf die Bedenken der Physiker gegen die Gitterstruktur des Raumes ein (Isotropie des Raumes; Darstellung gekrümmter Räume), weist selbst auf die kritischen Punkte der digitalen Simulation (Verrechnen des rechnenden Raumes bei hohen Energien; Relativitätstheorie) hin und erwähnt andere als seine Vorschläge (Sommerfeld-Nachfolger Fritz Bopp; informationstheoretischer Zugang von Carl Friedrich von Weizsäcker).

Zuses Fazit: Noch sind bei den automatentheoretischen Analogiebetrachtungen keine handgreifliche Lösungen in Sicht. Es bleibt die Frage offen: Wie sehen diese Perspektiven heute aus?

4. Späte Würdigung der heuristischen Ideen Konrad Zuses

Abbildung 5: Titelbild des Spektrum-Spezial 3/2007: Ist das Universum ein (ZA)-Computer?

Der letzte Schüler C. F. v. Weizsäckers, Thomas Görnitz, würdigte im Spektrum Spezial 3/2007 den Versuch einer grundlegenden Quanteninformationstheorie Konrad Zuses im Kontext der Ur-Theorie Weizsäckers. Nach ihm würde Konrad Zuse den Gedanken einer Digitalisierung räumlicher Beziehungen verfolgen. Damit verallgemeinere er die Idee der Quantisierung physikalischer Größen.

Zuse gehörte auch zu den ersten „Kosmologen“, die die prinzipielle Frage stellten: Ist das Universum ein Computer? Das war sogar die Titelzeile des Spektrum Spezial 3/2007.

5. ZA-Beiträge der ASG und die Ideen Konrad Zuses aus „Rechnender Raum“

Seit ca. 15 Jahren ist die ZA-Forschung im Hard- und Softwarebereich relevant für die Patenteinreicher des ZA-Patentes (siehe B., 1997) Uwe Renner, Clemens Kiefer und Wolfgang Eisenberg.

In diesem Patent wurde die automatentheoretische Darstellung des ZA von Konrad Zuse, insbesondere die Darstellung einfacher ZA-Algorithmen als Zustandstabelle benutzt. Denn für Zuse ist der ZA ein Spezialautomat mit periodischem Zellenaufbau und Zellverbindungen.

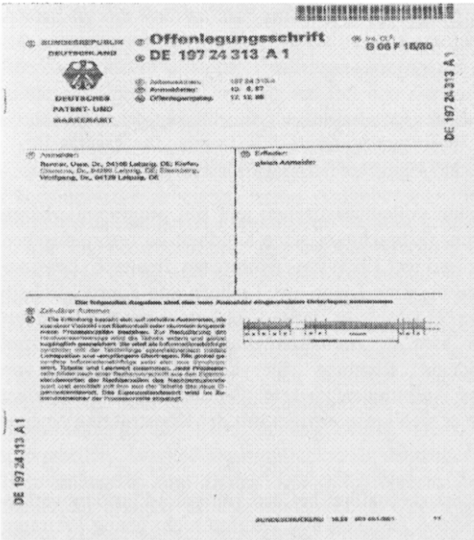

Abbildung 6: Offenlegungsschrift zum ZA-Patent von U. Renner, C. Kiefer, W. Eisenberg 1997

E \ A	CO	OL	LO	LL
CO	OOO	OOL	OLO	OLL
OL	OOL	OLO	OLL	LOO
LO	OLO	OLL	LOO	LOL

Abbildung 7: Zustandstabelle in „Rechnender Raum“, S. 5

Der hauptsächlichen ZA-Literatur in der ASG liegt die übliche ZA-Definition zugrunde (Gittergeometrie, diskrete räumliche und zeitliche Zustände, lokale Nachbarschaften, einfache ZA-Regeln). Die ZA-Regeln sind mit Hilfe der reduzierten Kombinatorik (Reduktion: Erhaltungssätze, Symmetrien usw.), der Erfahrung oder der bekannten Gleichungen aus der Physik ableitbar. Das ist z. B. nachzulesen im H.3 SoftComputing 2000 (ZA-Überblick S. 30–54; Verallgemeinerte Boltzmann-Gleichung und ZA: S. 55–65) in der von der ASG unterstützten Reihe Synergie-Syntropie-nichtlineare Systeme [5].

Literatur

[1] Lloyd, S.: Programming the universe – A quantum computer scientist takes on the cosmos. Vintage Books. New York, 2007, S. 156

[2] Private Mitteilung von Professor Horst Zuse, 2009

[3] Konrad Zuse: Rechnender Raum. In: Schriften zur Datenverarbeitung/hrsg. von Paul Schmitz und Christoph Heinrich. Bd.1, Friedrich + Sohn, Braunschweig, 1969, S. 68

[4] Ebenda, S. 16

[5] SoftComputing. In: Synergie, Syntropie, nichtlineare Systeme/hrsg. von Wolfgang Eisenberg u. a., Verlag im WZ Leipzig, 2000