

# ANALOG/DIGITAL

## Eine Diskussion

VON JOHANNES SIEVERT, ERHARD SCHÜTTPELZ,  
OTMAR LOFFELD, JENS SCHRÖTER

VORBEMERKUNG (ERHARD SCHÜTTPELZ, UNIVERSITÄT SIEGEN)

*Der nachstehende Diskussionsbeitrag wurde mir von meinem Schwiegervater zur Verfügung gestellt, der fast sein gesamtes Berufsleben als Laborleiter und Spezialist für Messverfahren an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig tätig war (Danke, Janz!). Das Diskussionspapier zirkulierte in der PTB und wurde mir mit der Frage überreicht, ob das Argument medienwissenschaftlich oder medientheoretisch relevant sei. Nach einer Prüfung des Manuskripts konnte ich die Frage bejahen, allerdings gelang es mir trotz hartnäckiger Adressierung nicht, dem Autor – der laut eigenem Bekunden in den 1960ern einen Ruf an die spätere Gesamthochschule und Universität Siegen abgelehnt hatte, und später jahrelang in China als Gastprofessor tätig war – eine längere Fassung zu entlocken. Dafür war Otmar Loffeld vom Zentrum für Sensorsysteme der Universität Siegen (ZESS) so freundlich, den Text zu kommentieren und auf diesem Wege auch zu differenzieren. Damit war die Ausgangsbasis für eine Diskussion geschaffen worden, die interessante und kontroverse Fragen aufwirft, von denen ich nur eine anschließend skizziert habe. Jens Schröter hat diese Diskussion seinerseits kommentiert.*

---

DIE WELT DER NATUR UND DIE DIGITALE MEDIENWELT  
(Johannes Sievert, PTB Braunschweig)

I.

Zuvorderst ist »digital« das Antonym zu »analog«. Wenn »analog« den kontinuierlichen Charakter physikalischer variabler Größen und ihrer Messungen und Berechnungen kennzeichnet, beschreibt der Begriff »digital« den diskontinuierlichen, diskretisierten Charakter eines Wertesatzes solcher Größen. Die Vorgänge in der unbelebten Natur sowie alle Prozesse in der Biosphäre laufen augenscheinlich in analogen Skalen ab. Allerdings sieht es anders aus, wenn wir uns in den Bereich der Mikrobiologie, des Agierens der Nerven und Gene, und in das Feld der Quantenphysik begeben. Alle Sinne der Lebewesen jedoch sprechen ausschließlich auf analoge Signale an, oder genauer, sie wirken analog auch dann, wenn sie Digitales dank

ihrer Auflösungsträgeit nicht mehr als solches erkennen können, beispielweise bei der Kinematografie. Und auch in der Technik steht das analoge Signal als zu messende Größe am Ursprung, oder kennt jemand einen primär digitalen Sensor?

2.

In den frühen Jahren der Automatisierung der Messtechnik, d.h. in den Jahren vor etwa 1970, wurden ausschließlich analoge Übertragungsverfahren angewandt. Der sprunghafte Wandel in den technischen Möglichkeiten verschiedener Prozesse, der Datenübertragungen, der statistischen Auswertungen, der Modellberechnungen komplizierter elektro-mechanischer Maschinen, der Berechnungen elektromagnetischer, thermischer und mechanischer Felder, der Wettervorhersagen, der Bildgebung in der Medizin, der Optimierungen von parameterabhängigen Prozessen, kurz gesagt der abrupte Fortschritt nahezu sämtlicher physikalischen, chemischen und technischen Artefakte ist allein auf die Einführung digitaler Techniken zurückzuführen, und er war immens. Dies mag eine Erklärung dafür sein, dass das menschliche Sprachverhalten in dieser Beziehung in den inflationären und vielfach unscharfen Gebrauch des Begriffs »digital« verfiel.

3.

Allerdings mit der bereits erwähnten Ausnahme, die für Messungen von Naturgrößen die Regel geblieben ist. Am Anfang stehen keine digitalen Sensoren, sondern Analog-Geräte. Wenn es also keine digitalen Sensoren gibt, wie erhält dann das primär analog zu messende Signal seine digitale Kodierung? Da sich das Digitale ausschließlich im Elektrischen abspielt, benötigen wir für alle Umwandlungen zunächst Wandler (*transducer*), mit deren Hilfe die nicht-elektrischen Messgrößen ins Elektrische überführt werden. Dies eröffnet ein weites und enorm wichtiges Feld der Sensorentwicklung, mit den Parametern Empfindlichkeit, Linearität und Miniaturisierung als Zielgrößen. Dabei geht es um die Wandlung von Länge, Volumen, Masse, Licht, Strömungsgeschwindigkeit von Gas und Flüssigkeit, Temperatur, Wärmemengen, Druck, Kraft, Drehmoment und Anderem in elektrische Größen. Erst danach agiert der Analog-Digital-Wandler (*A/D-Converter*, *ADC*) und wird gefolgt von Übertragung und Auswertung mit Algorithmen. Und am Ende erfolgt größtenteils die Rückführung und Anpassung an die Fähigkeiten der menschlichen Sinne durch digital/analoge Wandlung in analoge oder scheinbar analoge Signale wie beim digitalen Fernsehen.

4.

Das digitale Regime ist also kein »Medium der Natur«, sondern ein Medium zwischen der bereits in Analogsignale umgewandelten natürlichen Welt und der Welt der menschlich-animalischen Sinne. Digitalisierung ist nicht alles, und sie ist allem Anschein nach nicht unsere Brücke zur »Natur« der naturwissenschaftlichen Größen.

---

*Um die Relevanz dieses Kommentars für die Sensortechnik einzuschätzen, habe ich Otmar Löffeld (Siegen) um einen Kommentar gebeten. Er kommentierte den Text von Johannes Sievert in einer Mail vom 27. Januar 2020 an den Verfasser dieser Zeilen wie folgt:*

## KOMMENTAR VON OTMAR LOFFELD

AD 1.

Die letztgestellte Frage (kennt jemand einen primär digitalen Sensor) ist nicht eindeutig zu beantworten: Die Antwort hängt davon ab, in welcher Kleinteiligkeit der Sensor betrachtet wird: Zum einen gibt es viele Sensoren, die als Ausgangswerte nur diskrete Werte (binär: ja/nein, 1/0) liefern. Dies tun sie zwar basierend auf einer scheinbar analogen Messung, aber selbst ein einfacher durch Licht induzierter Photostrom zeigt bei schwachem Licht in Form des »Shotnoise« oder Photonenrauschen, die quantisierten Eigenschaften des Lichts als Photonen: die Photonen fallen quasi als stochastischer Ankunftsprozess auf den Sensor ein, nicht alle gleichzeitig, sondern als Poisson'scher Zählprozess. Ein Vergleichsbild ist der beginnende Regen, bei dem jeder Regentropfen eine Ladung darstellt, erst bei großen Niederschlagsmengen ergibt sich das Bild eines zeit- und wertkontinuierlichen Flusses. In diesem Sinne ist die Aussage oben problematisch. Jeder zählende Sensor wäre ein primär diskreter Sensor...

AD 2.

Man müsste hier vielleicht unterscheiden zwischen der mathematischen Beschreibung von physikalischen Problemen und der technischen Berechnung, bzw. simulativen Beschreibung.

Zur Definition von »analog« und »digital« nur soviel:

»Analog« stellt die sprachlich unscharfe Beschreibung eines Phänomens dar, welches in kontinuierlicher (nicht abzählbarer) Zeit geschieht und Werte aus einem kontinuierlichen (nicht abzählbaren) Wertevorrat annimmt.

»Digital« als ebenso unscharf bezeichnet Beschreibungen mit zeitdiskreter (abzählbarer) Zeitachse und einem wertdiskreten (abzählbaren) Wertevorrat.

Hierzu allerdings eine Differenzierung:

1. Unzweifelhaft ist sicherlich, dass die Beschreibung zeit- und wertkontinuierlicher physikalischer Phänomene (analoge Welt) durch Differentialgleichungen und deren Lösungsinstrumentarium deutlich arrivierter und geschlossener ist, als die Beschreibung durch Summen. Im Sinne des modellhaften Verständnisses der Welt ist dies ein unschätzbare Vorteil.
2. Dennoch stimmt die obige Aussage im Sinne der numerischen Berechenbarkeit und der numerisch simulativen Modellbildung. Integrale löst jeder Rechner durch Summenapproximation, die unter gewissen Randbedingungen sogar exakt ist, so dass wert- und zeitdiskrete Verfahren (digitale Verfahren, digitus: der Finger als Begriff für die Abzählbarkeit von Werten und Zeiten) der analogen Beschreibung und der beobachtbaren Welt exakt entsprechen.

AD 3.

Wichtig ist hier zu verstehen, dass diese Umsetzung eigentlich zweischrittig erfolgt:

1. Erster Schritt ist die Zeitdiskretisierung durch Abtastung. Dieser Vorgang kann unter Beachtung des Shannonschen Abtasttheorems fehlerfrei und eindeutig umkehrbar erfolgen. Es handelt sich um eine lineare Operation. Ausgang ist ein zeitdiskretes aber wertkontinuierliches Signal.
2. Zweiter Schritt ist die Amplituden- oder Wertquantisierung: der wertkontinuierliche Abtastwert wird in einen diskreten Wert umgewandelt. Dieser Vorgang ist prinzipiell nicht linear und fehlerbehaftet, es entstehen sogenannte Quantisierungsfehler.

Es wäre noch hinzuzufügen, dass der »scheinbar analoge« Primärsensor eigentlich schon aufgrund der physikalischen Quantisierung ein wertdiskreter und zeitdiskreter Sensor ist, dessen analoge Ausgangsgrößen nur aufgrund gewisser integrierender Eigenschaften und der Trägheit beobachtet werden. Eigentlich stellt ein analoger Primärsensor damit bereits einen ersten diskret/kontinuierlichen Wandler dar. Ich vermeide das Wort Digital/Analog-Umwandlung.

AD 4.

Dies hängt schlussendlich davon ab, wie wir die Brücke interpretieren:

Interpretieren wir die Brücke im Sinne eines methodischen Verständnisses der Natur, so bleibt die analoge Beschreibung der Schlüssel.

Interpretieren wir die Brücke im Sinne einer quantitativen Beschreibung, Modellierung und simulativen Prädiktion, benötigen wir die »digitale« Welt.

Folgen wir allerdings der physikalisch elementaren Beschreibung durch Quanten und Teilchen, sind die ersten beiden Aussagen falsch und richtig zugleich. Dies liegt m.E. daran, dass jedes diskrete Ereignis aufgrund einer gewissen Unschärfe immer mit einer Auftrittswahrscheinlichkeit versehen ist, dies gilt sowohl für Zeit als auch Wert. Damit sind selbst wahrscheinlich sichere Ereignisse empirisch schwer zu interpretieren und nur im Sinne von Erwartungswerten nützlich.

---

#### KOMMENTAR VON ERHARD SCHÜTTPELZ:

Alles in allem scheint mir Otmar Loffelds Stellungnahme die Ausgangsthesen von Johannes Sievert zwar zu differenzieren, aber auch zu bestätigen. Meine erste medientheoretische Reaktion auf das Argument von Johannes Sievert war etwas anders gelagert, denn mir schien der Text als Positionsbestimmung der Gegenwart zugleich eine Aussage über die Vergangenheit der Mediengeschichte zu beinhalten. Wenn Johannes Sievert recht hat, dann bilden die digitalen Medien keinen Bruch mit der sozialen und der soziotechnischen Welt, die sie ins Leben gerufen hat, aber sie bilden einen auffälligen Kontrast zur Welt der Medienerfindungen im späten 19. Jahrhundert. Der Unterschied zwischen den vielen analogen Medienerfindungen des 19. Jahrhunderts und den digitalen Medienerfindungen des 21. Jahrhunderts zeigt sich vor allem im Umgang mit Störungen. In analogen Medien hatten die Ingenieure und Nutzer mit all den elektromagnetischen Größen zu tun, die z.T. noch direkt aus der alten Welt der »Imponderabilien« stammten, die sich erst nach und nach in die Technik und Naturwissenschaft des 19. und 20. Jahrhunderts transformieren liessen (Schwerkraft, Elektrizität, Magnetismus, Lichtbrechungen, Äther). In den Unglücksfällen der Belichtung von Fotografien, im Rauschen und Knacken der Telephonleitungen, in den atmosphärischen Störungen des Radios und der Fernsehübertragungen manifestierten sich technische Störungen nicht nur als naturwissenschaftliche Größen, sondern auch als kosmische Kräfte »von außerhalb«, zumindest aus einem Außenraum der Gesellschaft. Alle diese Störungen können sich auch in digitaler Form manifestieren, sollte man meinen. Aber die digitalen Medien spielen sich in einem Innenraum der elektronischen Datenverarbeitung ab, sie bestehen aus EDV. »Daten« sind zur Verarbeitung vorbereitete Zeichen; und die digitalen »Glitches« sind vor allem Stockungen und Verzerrungen der Datenverarbeitung und werden auch als solche behandelt und hingenommen, nicht als Manifestationen kosmischer Kräfte. In diesem Sinne verweisen sie auf keine externe »Natur« mehr, und entsprechen auch keiner naturwissenschaftlichen Natur, son-

dern sind soziosemiotische Aushandlungen, die beim Manifestwerden von »Glitches« auch als solche empfunden werden, zumindest von den Profis oder den »digital natives«. Es kann sein, dass man das alte Bewusstsein der medialen Peripherie gegenüber Naturkräften erst einmal lernen muss, um sie zu verstehen, und dass dieses historische Bewusstsein irgendwann fehlt. Die digitale Datenverarbeitung kennt kein Außen mehr. Zugespitzt formuliert, stellt sich die Frage, ob ein Lied wie »Radioland« von Kraftwerk in der digitalen Welt noch möglich ist, und ob es von den Generationen unserer Studierenden überhaupt noch verstanden werden kann. »Radioland« (von der Langspielplatte »Radio-Aktivität«, 1976) dient als emblematische musikalische Verdichtung für einen Weltzustand, in dem die Signale der Telekommunikation noch selbst als ein Durchschlagen kosmischer Kräfte (in Form von Schatten, Strahlungen, Rauschen, Flimmern, Knistern, Geräuschsalven u.v.a.m.) erscheinen konnten und diagnostiziert wurden.

Die analogen Medieneuerfindungen der 1880er bis 1920er spielten in der Erwartung eines Außenraums, der auf den Innenraum durchschlug. Die digitalen Medieneuerfindungen spielen in einem Innenraum der Kompressionsverfahren und der Datenverarbeitung, der bei Störungen vor allen anderen Bewältigungsversuchen die Frage aufwirft, warum die richtige Datenverarbeitung nicht gelingt oder wann sie sich wieder zurückmeldet. In gewissem Sinne wird in den digitalen Medien die Karte tatsächlich zum Territorium, und das nicht nur für Drohnenpiloten, die niemals ein Flugzeug besteigen, sondern auch bei Auto-Insassen, die zwei Navigationsgeräte gleichzeitig laufen lassen, um dann ad hoc abzuwägen, welchem Ratschlag sie bei der jeweils nächsten Entscheidung den Vorzug geben. Die analogen Medieneuerfindungen versetzten ihre Bewohner in einem Raum der technischen Erfahrung naturwissenschaftlicher Größen; die digitalen Medien schirmen uns von dieser Erfahrung ab und hinterlassen uns abwechselnd irritiert und »comfortably numb«, immer aber geduldig genug, der Datenverarbeitung den ersten Stellenwert bei der Entscheidungsfindung einzuräumen. Johannes Sievert erklärt warum. Der Kommentar von Otmar Loffeld deutet allerdings darauf hin, dass sich diese Beziehung auch wieder ändern kann. Die technische Entwicklung der Beziehung zwischen Sensorsystemen und digitalen Medien ist nicht abgeschlossen und kann den vorübergehenden historischen Kontrast eines Tages grundlegend relativieren. Wie Friedrich-Wilhelm Hagemeyer vor vielen Jahren aphoristisch zusammenfasste:

Ein Spezifikum der Technik jedoch ist es, daß theoretische Probleme auch auf andere Weise, als durch die theoretische Lösung verschwinden können.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Hagemeyer: Die Entstehung von Informationskonzepten, S. 86.

## KOMMENTAR VON JENS SCHRÖTER

1. A/D ist historisch I: Zunächst ist es interessant, dass die Diskussion um den Unterschied von analog und digital, die schon einmal um 2004 und 2005 eine gewisse Konjunktur hatte<sup>2</sup>, nun erneut aufflammt. Armin Nassehi diskutiert etwa 2019 öffentlichkeitswirksam die ›digitale Gesellschaft.«<sup>3</sup> Das mag man als unscharfe Begriffsverwendung kritisieren, es weist aber auch daraufhin, dass das Begriffspaar zu bestimmten Zeitpunkten offenbar als besonders relevant empfunden wird. Man kann jedenfalls zeigen, dass es erst kurz nach 1945, v.a. im Feld der so genannten Kybernetik, auftaucht und plötzlich als wichtig erscheint.<sup>4</sup> Dass es jetzt wieder in aller Munde ist, mag an der allseits beschworenen Digitalisierung liegen. Es scheint irgendeinen Wandel zu geben, der viele Menschen betrifft – und nun möchte man wissen, was es mit dem Digitalen auf sich hat. Doch Nassehi versucht zu zeigen, dass diese Digitalisierung nicht einfach vom Himmel fällt, sondern Wurzeln in außertechnischen, sozialen Gegebenheiten hat – oder doch zumindest, dass die digitalen technologischen Verfahren so erfolgreich sind, weil sie zu gegebenen sozialen Mustern gut passen.<sup>5</sup> So bemerkt auch Schüttpelz, dass »die digitalen Medien keinen Bruch mit der sozialen und der soziotechnischen Welt, die sie ins Leben gerufen hat [bilden], aber sie bilden einen auffälligen Kontrast zur Welt der Medienerfindungen im späten 19. Jahrhundert.« D.h. eigentlich sind die analogen Technologien, wie etwa die Schallplatte und das Tonband die seltsame historische Ausnahme – was aber impliziert, dass Gesellschaft dem Digitalen schon immer näherstand. War das diskret abzählbare Geld nicht immer schon ein zentraler Code? War das Zählen nicht immer schon eine fundamentale Operation des Digitalisierens? Und das Messen seine analoge Vorbereitung? Die Säule eines Quecksilberthermometers ändert kontinuierlich seine Höhe, an der Skala kann dann ein gerundeter diskreter Wert abgelesen werden.
2. A/D ist nicht nur eine technische Unterscheidung: Es sieht so aus, dass diese Unterscheidung ursächlich aus computer-technischen Zusammenhängen hervorgegangen ist, aber dann eine Nützlichkeit in vielen anderen Zusammenhängen entfaltet hat, eben weil sie zu gegebenen sozialen und auch epistemischen Vorkommnissen passt. Diese anderen Verwendungen des Begriffspaares sind nicht unbedingt unschärfer als die technische Verwendung. So hat etwa Nelson Goodman 1968 in seinem Buch *Languages of Art* Bild und Text so unterschied-

---

2 Vgl. Schröter/Böhnke: Analog/Digital; Pflüger: Wo die Quantität in Qualität umschlägt.

3 Vgl. Nassehi: Theorie der digitalen Gesellschaft.

4 Vgl. mein Vorwort in Schröter/Böhnke: Analog/Digital.

5 Ähnlich wie Beniger: Control Revolution, den Nassehi aber problematischerweise mit keinem Wort erwähnt.

den: Das Bild besitzt ein ›analoges syntaktisches Symbolschema‹ im Unterschied zum Text, der ein ›digitales syntaktisches Symbolschema‹ aufweise.<sup>6</sup> Bilder verfügen über kein klar definiertes Repertoire diskreter Basischaraktere – anders als der Text, nämlich das Alphabet. Dies ist, bei allen Schwierigkeiten, immer noch die beste mir bekannte Unterscheidung von Bild und Text. In der Soziologie hat u. a. Niklas Luhmann mit der Unterscheidung operiert: »Strukturelle Kopplungen übersetzen analoge Verhältnisse in digitale.«<sup>7</sup> Weitere z. T. sehr elaborierte Auseinandersetzungen, etwa in der Philosophie, liegen vor.<sup>8</sup> Allerdings kann man fragen: Was hat man davon, Sachverhalte so aufzugliedern? Was wird dadurch sichtbar? Warum macht man das überhaupt?

3. A/D tritt immer in Konstellationen auf: Johannes Sievert führt bemerkenswerterweise die »Kinematografie« als Beispiel für Digitalität auf, eine Einordnung, die vielen Medien- und Filmtheoretiker:innen zunächst befremdlich vorkommen mag. Aber er hat insofern recht, als die Reproduktion der Bewegung in der Kinematografie auf ihrer Zergliederung in 24 Schnitte pro Sekunde beruht. Das ist umso bemerkenswerter, weil sich erstens hierbei selbst um ein Beispiel handelt, welches nicht auf einer Quantisierung und dann Umwandlung in binären Code beruht. Das reine Prinzip der Zergliederung in Basiseinheiten genügt – ebenso wie beim Text nach Goodman. Kinematografie ist also ein Beispiel, welches darauf verweist, dass es digitale Operationen auch außerhalb von computernahen, technischen (Meß-)verfahren gibt. Zweitens ist jeder einzelne Kader – wenn man von der irregulären und nicht gerasterten Körnung des fotografischen Filmmaterials absieht – selbst ein analoges Foto. Ist die Kinematografie nicht also ein hybrides System? Und wie Sievert richtig bemerkt, wird jedes digitale Signal am Ende wieder in einen analogen Fluss übersetzt, um wahrnehmbar zu sein. Ist also dann nicht mindestens jede digitale Technologie auch analog (wenn auch nicht jede analoge auch digital – wie z. B. der Schallplattenspieler)? Treten nicht immer nur Konstellationen des Analoges und des Digitalen, des Messens und Zählens in verschiedenen Formen auf? Müsste man also nicht, statt immer analog und digital einander gegenüberzustellen oder gar – völlig unsinnig – historisch klar aufeinanderfolgen zu lassen, einerseits von der Koexistenz verschiedener analog/digital-Konstellationen und andererseits deren ungleichzeitigen, parallelen, sich evtl. gegenseitig verschiebenden historischen Wandlungen ausgehen? Wäre die Beschreibung dieser Konstellationen nicht die eigentlich interessante und noch zu leistende Forschungsaufgabe? Dabei sind diese Konstellationen sind nie nur technisch – sie umfassen auch die soziologischen, philosophischen, populären, künstlerischen Praktiken und Diskurse der Diskretisierung und Kontinuierung.

---

6 Vgl. Goodman: Languages of Art, S. 159-164.

7 Luhmann: Wissenschaft der Gesellschaft, S. 39. Siehe auch ebd., S. 53: »Das Medium muß (digital) eine gewisse Körnigkeit und (analog) eine gewisse Viskosität aufweisen.«

8 Vgl. Galloway: Laruelle, S. 51-72.

4. A/D und die Natur. A/D ist historisch II. Sievert bemerkt: »Das digitale Regime ist also kein ›Medium der Natur‹, sondern ein Medium zwischen der bereits in Analogsignale umgewandelten natürlichen Welt und der Welt der menschlich-animalischen Sinne. Digitalisierung ist nicht alles, und sie ist allem Anschein nach nicht unsere Brücke zur ›Natur‹ der naturwissenschaftlichen Größen.« Die »Natur«, was immer diese auch genau sei, scheint nicht digital zu sein, insofern, wie Sievert betont (kritisiert von Loffeld), da die Eingangsgrößen analog gemessen und dann digitalisiert werden. Aber was ist mit ihrer Quantelung auf fundamentaler Ebene (sicher, für die Raumzeit und die Gravitation steht ein solcher Nachweis weiterhin aus)? Und bedeutet der Welle/Teilchen-Dualismus nicht erneut, dass man es eher mit einer analog/digital-Konstellation zu tun hat?

Wie dem auch sein. Wie von Sieverts Aussage, dass »das digitale Regime kein ›Medium der Natur‹« zu jener von Schüttpelz - »Die digitale Datenverarbeitung kennt kein Außen mehr« – übergeleitet werden kann, ist mir allerdings schleierhaft. Die digitale Datenverarbeitung kennt ein ökologisches Außen, ihren Rohstoff- und Stromverbrauch. Die von Loffeld zu Recht erwähnte digitale Simulation muss mit empirischen Daten abgeglichen und an ihnen geprüft werden. Digitale Störungen können auf grundlegende physikalische Störungen der Apparaturen hinweisen (und ganz wie in der ›analogen‹ Popmusik zu eigenen Ästhetiken führen, z. B dem ›Glitch‹). Schließlich – Sievert betont: »Digitalisierung ist nicht alles« – gibt es Grenzen des Berechenbaren, entweder weil es prinzipiell nicht berechnet werden kann oder weil Berechnungen viel zu lange dauern (Verschlüsselungen, z. B. RSA, können darauf basieren).<sup>9</sup> Wo es aber Grenzen gibt, ist ein Außen. Die digitale Datenverarbeitung hat Grenzen – und genau an diesen Grenzen setzen die Bemühungen um Quantencomputer an.<sup>10</sup> Diese könnten Probleme lösen, die für klassische Computer nicht lösbar sind, wie etwa die Simulation von Quantensystemen. Sie könnten die genannten Verschlüsselungen brechen.

Wie verhält sich nun das Quantencomputing zu der Unterscheidung zwischen analog und digital? Diese Frage spielt in Einführungen zum Quantencomputer zunächst wenig bis gar keine Rolle.<sup>11</sup> Quantencomputing hält sich nicht an das zentrale Prinzip der so genannten Digitalisierung, nämlich die binäre Kodierung, die bisher für Computer wegweisend war.<sup>12</sup> Zumindest in dem Sinne, dass ein

---

9 Vgl. Harel: Computers Ltd.

10 Vgl. zum Folgenden Ernst et al.: Der Quantencomputer und Schröter et al.: Quantum Computing.

11 Diese Frage wird z. B. weder bei Djordjevic: Quantum Information Processing noch bei de Lima Marquezino et al.: A Primer on Quantum Computing erwähnt.

12 Es gab allerdings schon immer auch Computer mit anderen als binären Strukturen, der ENIAC etwa war dezimal, in der UdSSR gab es in den späten 1950er Jahren Versuche mit ›ternären‹, also basal dreiwertigen Computern (vgl. mein Vorwort in Schröter/Böhnke: Analog/Digital). Aber diese Systeme hatten einfach mehr als zwei Basiswerte – das ändert

bestimmtes Qubit gleichzeitig 0 und 1 sein kann bzw. in einem Übergang zwischen diesen Zuständen, sind »Quantum computers [...] analog devices«, wie Mark Friesen, Robert Joynt und M.A. Eriksson im Jahr 2002 behaupteten.<sup>13</sup> Martin Warnke argumentiert weiter: »Ich ziehe das Geheimnis der Teilchen vor, die Wellen sind, und muß daher den Schluß ziehen, daß Quantencomputer keine Digital- sondern Analogrechner sind. . . . [Ein Quantencomputer] evolviert eben, nachdem man ihn präpariert hat, um am Ende seinen finalen Zustand einer Messung zur Verfügung zu stellen.«<sup>14</sup> Doch anstatt den Quantencomputer als ein rein analoges Phänomen zu betrachten, beschreiben Friesen, Joynt und Eriksson auch »pseudo-digital quantum bits«, die auf der Notwendigkeit einer Quantenfehlerkorrektur beruhen. Im gleichen Sinne vertritt Rajendra K. Bera die Ansicht, dass ein Aspekt des Quantencomputers

is that the process of error correction has an essential digital character to it, even though a qubit can be in a continuum of possible states. Error detection involves the performance of a series of binary valued quantum measurements. Then these bit values provide an instruction for an error detection step, which involves a discrete rotation of a specific state. This digital character derives from the fact that any error which the environment can cause on a single qubit acts in a subspace orthogonal to the state space of the coded qubit itself.<sup>15</sup>

Im Quantencomputing können verschiedene Vorteile des analogen und des digitalen Rechnens kombiniert werden – wieder eine Konstellation:

As physical entities, computing machines are subject to the laws of thermodynamics. We know, e.g., that analog devices can be much faster, while generating less heat, than digital devices. This is because it costs a lot of time and energy to shape, maintain, and then move around a digital signal [Achtung: Das Außen!, J. S.]. But our preference for digital computers is because it provides better error control and ease of programming at the expense of speed.<sup>16</sup>

Die Fähigkeit von Quantencomputern, Aspekte des Analogen und Digitalen zu kombinieren, hat das deutsche Bundesministerium für Forschung und Bildung kürzlich dazu veranlasst, ein großes Forschungsprojekt (insgesamt 12,4 Millionen Euro von 2021 bis 2025) zum digital-analogen Quantencomputing zu fördern.

---

nichts an der klaren Getrenntheit der Basiswerte. Quantencomputer werfen, in gewisser Hinsicht, diese klare Getrenntheit über Bord.

13 Friesen et al: Pseudo-digital Quantum Bits.

14 Warnke: Quantum Computing, S. 167.

15 Bera: The Amazing World of Quantum Computing. S. 250.

16 Ebd., S. 185.

Quantencomputing und Technologien für Quantencomputer werden in den nächsten Jahrzehnten einen wichtigen Stellenwert in der wirtschaftlichen Wertschöpfungskette einnehmen. Gleichzeitig eignen sich die derzeit verfügbaren technischen Methoden noch nicht für eine schnelle Skalierung von digitalen Chiparchitekturen, da hier die Anforderungen an die Fehlerkorrektur der Rechenprozesse einen hohen Grad an simultaner Kontrolle über eine große Anzahl an Qubits voraussetzen. Digitale Quantencomputer kommen somit kurz- bis mittelfristig für applikationsspezifische Anwendungsfälle nicht in Frage. Im Gegensatz zu den konventionellen digitalen Ansätzen, bei der der Rechenprozess aus einer bestimmten Abfolge digitaler Gatter besteht, erfolgt bei analogen Prozessen die Berechnung über kontinuierliche Wechselwirkung zwischen den Qubits. Diese analogen Ansätze sind weniger universell aber auch weniger fehleranfällig.<sup>17</sup>

Mit Quantencomputern wird der Unterschied zwischen analog und digital neu konstellierte, aber offenbar nicht überflüssig. Vielleicht ist das nun plötzlich neu entflammte Interesse<sup>18</sup> an der analog/digital-Unterscheidung auch ein Ausdruck dieser Verschiebung. Also ist Schüttpelz zuzustimmen, Hagemeyer hat recht. Am Ende entscheiden Technologien, was wir für theoretische Probleme haben.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Beniger, James: *The Control Revolution. Technological and Economic Origins of the Information Society*, Cambridge, MA u.a. 1986.
- Bera, Rajendra K: *The Amazing World of Quantum Computing*, Singapur 2020.
- De Lima Marquezino, Franklin/Portugal, Renato/Lavor, Carlile: *A Primer on Quantum Computing*, Cham 2019.
- Djordjevic, Ivan B.: *Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction. An Engineering Approach*, London u.a. 2021.
- Ernst, Christoph/Schröter, Jens/Warnke, Martin: »Der Quantencomputer – ein zukünftiger Gegenstand der Medienwissenschaft?«, in: *MEDIENwissenschaft*, Nr. 2/3, 2020, S. 30-50.
- Friesen, Mark/Joynt Robert J./Eriksson, M.A.: »Pseudo-digital Quantum Bits«, 15.8.2002, <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0208105>, letzter Zugriff 6.11.2021.

---

17 Bundesministerium für Bildung und Forschung, Projekt DAQC (Digital-Analoge Quantencomputer), <https://www.quantentechnologien.de/forschung/foerderung/quantenprozessoren-und-technologien-fuer-quantencomputer/daqc.html>. Siehe auch Parra-Rodriguez et al.: *Digital-Analog Quantum Computation*.

18 Vgl. Galloway/Geoghegan: *Shaky Distinctions*. Siehe schon Galloway: *10 Theses*.

- Galloway, Alexander: 10 Theses on the Digital, Bochumer Kolloquium Medienwissenschaft, <https://mediarep.org/handle/doc/14956>, 09.05.2012, letzter Zugriff 6.11.2021.
- Galloway, Alexander: Laruelle. Against the Digital, Minneapolis/London 2014.
- Galloway, Alexander/Geoghegan, Bernard: »Shaky Distinctions: A Dialogue on the Digital and the Analog«, in: E-flux Journal 121, Oktober 2021, <https://www.e-flux.com/journal/121/423015/shaky-distinctions-a-dialogue-on-the-digital-and-the-analog/>, letzter Zugriff 6.11.2021.
- Goodman, Nelson: Languages of Art. An Approach to a Theory of Symbols, Indianapolis u.a. 1968.
- Hagemeyer, Friedrich-Wilhelm: Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik, Dissertation, TU Berlin 1979, [http://weisses-rauschen.de/hero/hagemeyer/hagemeyer\\_dissertation.pdf](http://weisses-rauschen.de/hero/hagemeyer/hagemeyer_dissertation.pdf)
- Harel, David: Computers Ltd. What they really can't do, Oxford u.a. 2000.
- Luhmann, Niklas: Die Wissenschaft der Gesellschaft, Frankfurt a.M. 1992.
- Nassehi, Armin: Muster. Theorie der digitalen Gesellschaft, München 2019.
- Parra-Rodriguez, Adrian et al.: »Digital-Analog Quantum Computation«, in: Physical Review A, Jg. 101, Nr. 2, 2020, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.101.022305>.
- Pflüger, Jörg: »Wo die Quantität in Qualität umschlägt. Notizen zum Verhältnis von Analogem und Digitalem«, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.): HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien, Bielefeld 2005, S. 27-95.
- Schröter, Jens/Böhnke, Alexander (Hrsg.): Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum. Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung, Bielefeld 2004.
- Schröter, Jens/Ernst, Christoph/Warnke, Martin: »Quantum Computing and the Analog/Digital Distinction«, in: Grey Room, Nr. 86, 2022, S. 28-49.
- Warnke, Martin: »Quantum Computing«, in: ders./Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.): HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien, Bielefeld 2005, S. 151-169.