

001111000010111
1010111000010010
1100001111000011100
001011110001001100101
00101010111110000101010111110000101

STIFTUNG DEUTSCHES TECHNIKMUSEUM BERLIN (HG.)

00101001110000100101001110000100
0000111100001110000111000011100001110000111
110001001110011010010001110
10110001011110000101100010111110000
110000101100111001110
0000101100001001011110

NETZ—DINGE



000100001000010000100001000010000100001000010000
01111100001111000010111110000111100001011110000111
101110000100101010111000010011100001001010101110
11100001110000111000011100001110000111000011110
001001011100010011001001011100010011001010111000
0101111100001010101111100001010101111000010101011
1110100010100011110010001010001111000111110
1110000111000011100001110000111000011100001110000111
010111100010011001101001001011100001110011010010
0101111000010110001011111000010110001011110000101
11100110111100001011001100011011110000101100111
001001011111000010110001011111000010110000101011
11110001110100100111000010100100111000010000100111
00100010010111000100110001011110000100110011111
110111110000111000010111100001110000101111000011

**30 GESCHICHTEN
VOM TELEGRAFENKABEL BIS ZUR DATENBRILLE**

be.bra verlag



Stiftung
Deutsches
Technikmuseum
Berlin

Neue Berliner Beiträge zur
Technikgeschichte und Industriekultur

Schriftenreihe der Stiftung
Deutsches Technikmuseum Berlin

Band 3

Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin (Hg.)

NETZ-DINGE

**30 GESCHICHTEN
VOM TELEGRAFENKABEL
BIS ZUR DATENBRILLE**

be.bra verlag



Stiftung
Deutsches
Technikmuseum
Berlin

Herausgeber: Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin

Dritter Band der Schriftenreihe der Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin

»Neue Berliner Beiträge zur Technikgeschichte und Industriekultur«

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist
ohne Zustimmung der Rechteinhaber unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere
für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Verfilmungen und
die Einspeicherung und Verarbeitung auf DVDs, CD-ROMs, CDs, Videos, in
weiteren elektronischen Systemen sowie für Internet-Plattformen.

© Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Autorinnen und Autoren und be.bra verlag GmbH
Berlin-Brandenburg, 2018
KulturBrauerei Haus 2
Schönhauser Allee 37, 10435 Berlin
post@bebraverlag.de
Projektleitung: Eva Kudraß, Jörg Rüsewald
Lektorat: Dr. Maria Borgmann, Iris Kühnberger, Marijke Topp, Dr. Tiziana Zugaro
Fotografie: Clemens Kirchner
Illustrationen: Jochen Schieborn & Matthias Johannes Richter für Schiel Projektgesellschaft mbH
Restaurierung und Objekttransport: Konrad Simon, Jürgen Heinrich
Umschlag: hawemannundmosch, Berlin
Layout & Satz: typegerecht, Berlin
Schrift: Iowan Old Style 9,5/13 pt
Papier: Magno Volume
Druck und Bindung: Westermann Druck, Zwickau
ISBN 978-3-89809-143-5

www.bebraverlag.de

www.stdb.de

INHALT

| | |
|----|--|
| 7 | Vorwort |
| 8 | Einleitung |
| 10 | BERECHENBARKEIT VON ZAHLEN, CODES UND ALGORITHMEN |
| 17 | Von tönernen Zahlen Keilschrifttafel, um 2500 v.d.Z. |
| 21 | Punkte und Striche Funktionsmodell eines Morsetelegraphen, um 1890 |
| 25 | Geknackte Codes Chiffriermaschine Enigma I, 1939 |
| 29 | Rechnen mit Löchern Tabelliermaschine D11, 1940er Jahre |
| 33 | Wenn das Wetter berechenbar wird Supercomputer Cray 2, 1988 |
| 37 | Das kalkulierte Gehör mp3-Player, Prototyp, 1994 |
| 40 | BESCHLEUNIGUNG IMMER MEHR, IMMER SCHNELLER! |
| 47 | Überwindung von Raum und Zeit Transatlantikkabel, 1858 |
| 51 | Am Puls der Börse Börsentelegraf, 1899 |
| 55 | Bibliothek im Schreibtischformat Memex, 1945/2015 |
| 59 | Telefonieren mit Bild Videokonferenzanlage, 1977 |
| 63 | Immer erreichbar Handy von Miriam Meckel, 2007 |
| 67 | Die digitale Debatte #aufschrei-Drucker, 2013 |
| 70 | ALLGEGENWÄRTIGKEIT ÜBERALL IM NETZ |
| 77 | Der Initialfunke Funkensender von Guglielmo Marconi, Nachbau, 1895/2010 |
| 81 | Angriff der Computerviren Hörspielkassette Die drei ???, 1992 |
| 85 | Das erste Smartphone Simon Personal Communicator, 1994 |
| 89 | Fast alle Wege führen nach Frankfurt Internet-Switch, 2006 |
| 93 | Ah, Future! Google Glass, 2013 |
| 97 | Stimme zum Steuern Amazon Echo, 2017 |

| | |
|-----|---|
| 100 | KONTROLLE |
| | I'LL BE WATCHING YOU |
| 107 | Der überwachte Himmel Computermodul aus dem SAGE-System, um 1960 |
| 111 | Vom Lauschen in der Leitung Spulentonbandgerät, um 1980 |
| 115 | Freiheit statt Angst Datenkrake Otto, 2008 |
| 119 | Automatische Selbstkontrolle Smarte Toilette, Prototyp, 2011 |
| 123 | Das Geschäft mit den Daten Papierstapel mit Facebookdaten, 2011 |
| 127 | Im Visier der Geheimdienste Zerstörtes Motherboard, 2013 |
| 130 | BETEILIGUNG |
| | VOM MITMACHEN, EINMISCHEN UND TEILEN |
| 137 | Fotos von jedem für jeden Boxkamera Brownie, um 1928 |
| 141 | Spiel ohne Grenzen Computerspiel Modem Wars, 1988 |
| 145 | Wikipedia offline Standwimpel mit QR-Code, 2012 |
| 149 | Allzeit bereit Bloggerhandtasche, 2012 |
| 153 | Ein eigenes Netz knüpfen Büchsenantenne, 2013 |
| 157 | Die Maske des Protests Guy-Fawkes-Maske, 2015 |
| 161 | Literaturverzeichnis |
| 168 | Ausstellungsobjekte |
| 169 | Danksagung |
| 170 | Abbildungsnachweis |
| 171 | Autorinnen und Autoren |

VORWORT

Die technische Vernetzung ist eines der Schlüsselthemen unserer Zeit. Mit der Ausstellung »Das Netz. Menschen, Kabel, Datenströme« hat das Deutsche Technikmuseum als erstes Museum in Deutschland diesem Phänomen eine eigene Dauerausstellung gewidmet, in der historische und aktuelle Entwicklungen der Netztechnologien verständlich und anschaulich vermittelt werden. Mit Objekten aus unterschiedlichen Sammlungsbereichen des Museums werden verborgene Funktionen und vielfältige Anwendungsgebiete von Netztechnik sichtbar und ihre Materialität begreifbar.

Die im September 2015 eröffnete Ausstellung bildet den Startschuss zur inhaltlichen Weiterentwicklung des Deutschen Technikmuseums hin zu einem an Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft gleichermaßen orientierten Forum für Kultur und Technik inmitten Berlins. Aus dem klassischen Ansatz der Beschäftigung eines Museums mit der Vergangenheit hat das Deutsche Technikmuseum ein Konzept entwickelt, das sowohl die Gegenwart als auch die Zukunft in die Betrachtung einbezieht. Damit will sich das Museum als ein Ort präsentieren, an dem vor dem Hintergrund der Geschichte aktuelle Fragen der Gegenwart diskutiert werden, deren Beantwortung unsere Zukunft maßgeblich beeinflusst. Als wesentlicher Unterschied zu den bisherigen sammlungsbezogenen Ausstellungen werden diese Fragen fortan in themenbezogenen Ausstellungen diskutiert.

In der Ausstellung »Das Netz« werden aktuelle Debatten zum Thema Vernetzung mit ihren geschichtlichen Dimensionen verknüpft und aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Die Auseinandersetzung mit

den tragenden Charakteristiken der Vernetzung und der Anspruch, das Netz in seiner Dinglichkeit erfahrbar zu machen und in seiner Historie vorzustellen, ist auch der Gedanke, der diesem Begleitband zur Ausstellung zugrunde liegt.

Im Mittelpunkt der Arbeit des Museums steht die Beziehung zwischen Mensch und Technik. Diese Haltung spiegelt sich im Buch wider: die Geschichte der Technik nicht isoliert, sondern in einem beziehungsreichen interdisziplinären Spannungsfeld zu erforschen und sie in diesem Geschichtengeflecht lebendig werden zu lassen. Das Buch bietet die Auseinandersetzung mit kontrovers diskutierten Themen unserer Gegenwart anhand 30 ausgewählter Stücke aus über 500 Objekten, die in der Ausstellung »Das Netz« präsentiert werden.

Wir freuen uns, dass wir mit diesem Begleitband die Geschichten hinter den Exponaten in ihrer spannungsreichen Vielschichtigkeit und individuellen Besonderheit erzählerisch entfalten können. In dem vorliegenden Buch können thematische Bezüge hergestellt werden, die in der Ausstellung zwangsläufig zu kurz kommen müssen. Wer die Objekte auch in ihrer Materialität erfahren möchte, ist herzlich eingeladen, sie und viele andere »Netz-Dinge« in der Ausstellung zu entdecken und deren Geschichten zu erfahren.

Bedanken möchte ich mich bei den Autorinnen und Autoren und allen Kolleginnen und Kollegen im Haus, die zur Umsetzung dieses Buchprojektes beigetragen haben.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre!

Prof. Dr. Dirk Böndel

Vorstand Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin

EINLEITUNG

Die Welt ist vernetzt. Wir stehen in Kontakt zu anderen Menschen überall auf der Erde. Täglich erreicht uns eine Flut von Informationen. Smarte Geräte tauschen ständig Daten miteinander aus.

Getrieben von technischen Neuerungen der Informations- und Kommunikationstechnologien ist die zunehmende Vernetzung Teil unserer Lebenswirklichkeit. Vorläufiger Höhepunkt dieser Entwicklung ist das Internet als »Netz der Netze«. Es beruht im Kern auf einer großen Anzahl technischer Innovationen, die seit dem Aufkommen der Telegrafie im 19. Jahrhundert ihre Wirkmächtigkeit entfalten. Bahnbrechend ist dabei der Computer als Universalmaschine seit Mitte des 20. Jahrhunderts.

Heute sind wir zugleich Zeugen von bereits vollzogenen tiefgreifenden Veränderungen wie auch Beteiligte des dynamischen Geschehens. Innerhalb des vielschichtigen Wandels haben die Autorinnen und Autoren dieses Buches fünf Dynamiken ausgemacht, die die Welt der Vernetzung grundlegend prägen: Berechenbarkeit, Beschleunigung, Allgegenwärtigkeit, Kontrolle und Beteiligung. Diese Dynamiken sind eng miteinander verzahnt und verstärken sich gegenseitig. Ihnen ist jeweils ein Kapitel gewidmet.

NETZ-DYNAMIKEN

Eine wesentliche Voraussetzung von Vernetzung ist **Berechenbarkeit**. Die zunehmende mathematische Erfassung der Welt und die maschinelle Verarbeitung numerischer Codes durchdringen unseren Alltag. Daten sind Ware und Währung des digitalen Zeitalters – sie werden als Bits durch Kabel gejagt und in Computern bearbeitet. Zukünftige Entwicklungen sind dadurch besser kalkulierbar und Risiken werden minimiert. Gleichzeitig lassen wir uns selbst zunehmend durch Algorithmen lenken und steuern.

Und das immer schneller: Das Zeitalter der Vernetzung ist geprägt durch eine stetige **Beschleunigung** des Informationsaustausches. Diese Tendenz setzt schon im 19. Jahrhundert mit der Telegrafie ein. Die digitale Informationsverarbeitung durch Computer und die darauf basierende Kommunikation über Internet und Mobilfunk haben diesen Prozess noch potenziert. Dabei werden auch negative Folgen offensichtlich: etwa Überforderung aufgrund von Informationsüberflutung sowie sozialer und wirtschaftlicher Druck, immer schneller auf neue Informationen zu reagieren.

Mit der Verbreitung von Smartphones spürt man gerade auch im privaten Bereich eine weitere Dynamik technischer Vernetzung: die **Allgegenwärtigkeit** von Informations- und Kommunikationsnetzen. Mit dem Smartphone tragen wir unseren Netzanschluss ständig am Körper und sind an fast jedem Ort und zu fast jeder Zeit über das globale Netz verbunden. Durch mobile Sensoren und autonomen Datenaustausch von Geräten im »Internet der Dinge« wird der physische Raum mit dem digitalen Datenraum noch enger verzahnt.

Da sich zunehmend unser gesamtes Leben in Netzen abbildet, erwachsen neue Möglichkeiten der technischen **Kontrolle**. Regierungen und Geheimdienste überwachen mithilfe von Big Data Analysen die Kommunikationsdaten der Bürger und zensieren Informationen. Auch Konzerne agieren als Datenkraken, die unser alltägliches Netzverhalten analysieren und versuchen, in ihrem Sinne zu steuern. Nicht zuletzt schaffen die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien vielfältige Möglichkeiten, uns selbst zu kontrollieren und zu optimieren.

Für die meisten von uns ist der Zugang zum Netz selbstverständlich. Schlagworte wie »Twitter-Revolution« oder die »Macht der sozialen Netzwerke« ma-

chen es deutlich: Das Internet ist das erste technische Medium, das die weltweite interaktive Kommunikation vieler Menschen mit vielen anderen gleichzeitig ermöglicht. **Beteiligung** ist damit die fünfte Dynamik technischer Vernetzung. Doch führt das Netz tatsächlich zu mehr politischer, ökonomischer, gesellschaftlicher oder kultureller Teilhabe? Die Erfahrung der letzten Jahrzehnte zeigt: Allein die technische Möglichkeit von Beteiligung sorgt nicht automatisch für mehr Partizipation. Für viele Nutzerinnen und Nutzer sind die technischen und ökonomischen Barrieren nach wie vor hoch.

NETZ-DINGE

In diesem Buch werden die fünf Dynamiken anhand von konkreten Objekten fassbar und anschaulich gemacht. Denn das Netz ist keine »Cloud«, keine nebulöse Wolke – es ist durchaus materiell. Technische Netze bestehen aus einer Vielzahl handfester Dinge, vom Telegrafenkabel bis zur Datenbrille. Dreißig solcher »Netz-Dinge« werden in diesem Buch erkundet. Manche dieser Objekte treten aus dem Verborgenen ans Licht. So etwa ein Internet-Switch oder eine Büchsenantenne, also Teile der Netzinfrastruktur, die sonst kaum ins Auge fallen. Andere Dinge sind so alltäglich, dass ihre Besonderheiten gar nicht mehr auffallen, wie

ein millionenfach produziertes Nokia-Handy. Wieder andere Dinge gelten als historische Meilensteine, etwa das erste Transatlantikkabel, die Chiffriermaschine Enigma oder der Prototyp des mp3-Players. Der zeitliche Rahmen ist dabei die verdichtete technische Kultur der Moderne seit dem 19. Jahrhundert. Ein Objekt weist weit über diesen Fokus hinaus: Eine rund 4500 Jahre alte sumerische Keilschrifttafel zeugt von der Urgeschichte der Speicherung von Informationen.

All diese »Netz-Dinge« sind aufgeladen mit einer Vielzahl an spannenden, mal witzigen, manchmal traurigen oder schier unglaublichen Geschichten. Sie erklären Funktionsweisen von Netztechnologien, sie erzählen von Nutzerinnen und Nutzern und von der Art und Weise, wie Netze unser Denken und Handeln verändern. Die in diesem Buch vorgestellten Objekte sind also eingewoben in eine Kulturgeschichte der Informations- und Kommunikationstechnologien. In dieser Kulturgeschichte treten die Dinge sowohl als Akteure auf, die die Vernetzung der Gesellschaft prägen, als auch als Produkte menschlichen Handelns und Aushandelns. Netztechnologien haben nicht nur bedeutende Auswirkungen auf unseren Alltag. Auch wir selbst nehmen täglich Einfluss auf die zukünftige Entwicklung technischer und gesellschaftlicher Vernetzung.

Justine Czerniak (jc)
Sebastian Hamburger (sh)
Catharina Koller (ck)
Eva Kudraß (ek)
Bernd Lüke (bl)
Florian Müller (fm)
Jörg Rüsewald (jr)



BERECHENBARKEIT VON ZAHLEN, CODES UND ALGORITHMEN



Um uns herum wird gerechnet: wenn uns der Handywecker aus dem Schlaf klingelt, wenn der Router die WLAN-Verbindung herstellt, wenn uns die Wetter-App anzeigt, wie kalt es draußen ist, und sogar, wenn der neue Kaffeevollautomat einen Cappuccino zubereitet. Die Rechner, die uns umgeben, fallen als solche gar nicht auf. Sie stellen ihre Rechenprozesse nicht zur Schau, sondern sie steuern Geräte, liefern Informationen, präsentieren eine bunte Bilderwelt oder eine Vielfalt an Tönen. Es ist das programmierte Rechnen in Form von Software, das uns zunehmend begleitet. Dieses Rechnen findet unmerklich und im Hintergrund statt, trotzdem prägt es unseren technisierten Alltag.

Auch der Blick zurück zeigt: Die moderne Technikentwicklung beruht auf rechnerischen Verfahren. Bei der technischen Vernetzung von Kommunikation und Information spielen Zahlen, Codes und Algorithmen eine herausragende Rolle.

AM ANFANG WAR DIE ZAHL

Lange bevor Worte schriftlich dokumentiert wurden, haben die Menschen Zählsymbole und Zahlzeichen genutzt. Bereits aus der Steinzeit sind Knochen mit gruppenweise eingeritzten Kerben überliefert, die wohl ältesten Zahldarstellungen. Unterschiedliche Artefakte, die Ziffern dokumentieren, stammen aus der Entstehungsphase der Hochkulturen in Mesopotamien vor über 5.000 Jahren. Zunächst werden Zählsteine aus Ton als Repräsentanten für gezählte Mengen, etwa von Handelswaren, verwendet. Für bestimmte Mengen von Steinen werden Zahlzeichen eingeführt. Das ist der Beginn der schriftlichen Zahlensysteme. Für das Funktionieren der frühen Hochkulturen wird das Rechnen unentbehrlich, nicht nur in Mesopotamien, sondern auch in Ägypten, Mittelamerika oder China.

Neben den weltweit unterschiedlichen Zahlzeichen und Zahlensystemen entwickeln sich über die Jahrtausende auch vielfältige Rechenverfahren, wie etwa die vier Grundrechenarten. Insbesondere in der persisch-arabischen Mathematik werden exakte Handlungsanweisungen für das Rechnen erarbeitet. Derartige »Rechenrezepte« werden später Algorithmen genannt – ein Begriff, der auf den persischen Mathematiker al-Chwarizmi zurückweist. Al-Chwarizmi verfasst im 9. Jahrhundert elementare Bücher über

die indischen Ziffern sowie über Rechenverfahren zum Lösen von Gleichungen, die für die Verbreitung dieser Zahlen und Verfahren zunächst im arabischen Raum und später in Europa sorgen. In der Neuzeit wird das indo-arabische Stellenwertsystem mit zehn Ziffern inklusive der Null zum globalen Standard. Im 17. Jahrhundert gibt es erste Versuche, das Rechnen zu mechanisieren: Manche Rechenverfahren sind jetzt so formalisiert, dass Maschinen mit Zahnrädern die einzelnen Rechenschritte durchführen können. Die Mathematik ist auf dem Weg zu einer universalen Sprache und beruht zunehmend auf Formeln und Kalkülen, also Regelsystemen, mit deren Hilfe man von gegebenen Aussagen weitere Aussagen logisch ableiten kann.

BERECHNEN STATT BEWEISEN

Dass die Formalisierung der Mathematik auch an ihre Grenzen kommen kann, zeigt sich im 20. Jahrhundert. Mit Kurt Gödel, Alonzo Church und Alan Turing können in den 1930er Jahren drei junge Forscher nachweisen, dass manche mathematische Sätze weder beweisbar noch widerlegbar sind und dass auch die Widerspruchsfreiheit der Mathematik nicht beweisbar ist. Für einige Mathematiker ist das eine große Enttäuschung, denn sie glauben fest daran, dass nur eine vollständig formalisierte Mathematik, in der selbst die grundlegenden Vorannahmen aus sich selbst heraus bewiesen werden können, zukunftsfähig sei. Die nun klar gesteckten Grenzen der Beweisbarkeit öffnen jedoch gleichzeitig den gedanklichen Raum für eine theoretische Fundierung des Konzepts der Berechenbarkeit. Sie ist wesentlich für den Beginn der Ära des modernen Computers.

Insbesondere der britische Mathematiker Alan Turing ist dabei wegweisend. 1936 beschreibt er eine Maschine, mit deren Hilfe er zeigen kann, was prinzipiell berechenbar ist – und was nicht. Die von Turing imaginierte Maschine besteht lediglich aus einem Lese- und Schreibkopf und einem Papierstreifen. Gemäß einer simplen Liste von Befehlen bewegt sich der Lese- und Schreibkopf entlang des Papierbandes und liest, löscht oder schreibt ein endliches Repertoire an Symbolen auf das Band – etwa die Zeichen 0 oder 1. Dieses Gedankenexperiment ist ebenso minimalistisch wie weitreichend, denn Turing zeigt auf, dass prinzipiell



nur das berechenbar ist, was seine Symbolmaschine in einer endlichen Anzahl von einzelnen Schritten berechnen kann. Berechenbar ist eine Aufgabe also nur dann, wenn sich aus jedem Schritt des Berechnungsprozesses ein eindeutiger nächster Schritt ergibt, wenn jeder dieser Schritte mechanisch und mit eindeutig feststellbarem Ergebnis ausgeführt werden kann und wenn der Prozess irgendwann stoppt. Das als Turing-Maschine bekannt gewordene theoretische Modell gilt bis heute als eine gedankliche »Blaupause« für den Universalcomputer und als Grundlage der theoretischen Informatik. Nach Turings Konzept der Berechenbarkeit wird auch der Begriff Algorithmus exakter formuliert. Als Algorithmus gilt seitdem die Beschreibung eines Rechenvorgangs, der in endlichen einfachen Rechenschritten nach schematischen Regeln abgearbeitet wird und allgemein für beliebige Zeichen durchführbar ist.

AUF DEM WEG INS COMPUTERZEITALTER

1936 schreibt Alan Turing: »Es ist möglich, eine einzige Maschine zu erfinden, die dazu verwendet werden kann, jede berechenbare Folge zu errechnen.« Im gleichen Jahr beginnt Konrad Zuse mit dem Bau seines ersten Computers Z1. Ohne Turings Arbeiten zu kennen, realisiert Zuse eine Maschine, die Turings gedanklichem Modell nahe kommt. Zuses Motivation kommt

aus seiner praktischen Erfahrung als Bauingenieur. Er möchte eine Rechanlage bauen, mit der komplexe baustatische Gleichungen automatisch gelöst werden können. Rückblickend behauptet Zuse salopp: »Ich habe den Computer erfunden, weil ich zu faul zum Rechnen war.« Im Jahr 1936 kulminieren also zwei unterschiedliche Herangehensweisen, die den Computer hervorbringen werden: das Konzept der Berechenbarkeit, das durch Turing theoretisch fundiert wird, und der Wunsch nach der Befreiung von öder Rechenarbeit – eine Vision, die bereits seit dem 17. Jahrhundert die Entwicklung von Rechenmaschinen vorantreibt.

Zuses 1938 fertiggestellte Z1 ist frei programmierbar, programmgesteuert und vollautomatisch – zumindest wenn die Mechanik gerade mal nicht hakt. Wie die Turing-Maschine ist auch Zuses Computer eine Zustandsmaschine: Beide können eine endliche Zahl digitaler Schaltzustände annehmen. Mit digitalen Schaltern wird das Rechnen radikal auf die Maschinenlogik zugespitzt: ja/nein, an/aus, 1/0.

In den 1940er Jahren wird die Entwicklung von Digitalcomputern in Deutschland, Großbritannien und den USA im Zuge des Zweiten Weltkriegs vorangetrieben. Im technisch hochgerüsteten Krieg sind diejenigen im Vorteil, die umfangreiche Berechnungen automatisiert durchführen können – von Flugbahnen bis hin zur Entschlüsselung von Geheimcodes.

SCHLÜSSEL ZUR INFORMATION

Die intensive Beschäftigung mit der Verschlüsselung und Entschlüsselung von militärischen Nachrichten im Zweiten Weltkrieg gibt wichtige Impulse zur weiteren Entwicklung von Computern und offenbart die kriegsentscheidende Bedeutung einer mathematisch fundierten Kryptologie. Im geheimen englischen Entschlüsselungszentrum in Bletchley Park kann Alan Turing Anfang der 1940er Jahre seine theoretischen Konzepte in logische Rechenmaschinen übertragen. Das Ziel ist, die Enigma zu knacken. Ein Gerät, das von der deutschen Wehrmacht verwendet wird, um Funksprüche zu verschlüsseln. Zusammen mit der Mathematikerin Joan Clarke und einem Team von Kryptologen entwickelt Turing eine Maschine, die mit mathematischen Verfahren die täglich wechselnden Verschlüsselungscodes der Deutschen knacken soll. Über 200 dieser als Turing-Bomben bezeichneten elektromechanischen Maschinen werden gebaut und dienen zur Entschlüsselung der Funksprüche aus Nazideutschland.

Auch in den USA werden Verfahren entwickelt, um feindliche Geheimnachrichten zu decodieren und die Kommunikation der alliierten Entscheidungsträger sicher zu codieren. Bei den Bell Telephone Laboratories arbeitet etwa ein großes Forscherteam am geheimen »Project X«. Hier soll ein Verfahren entwickelt werden, um die brisanten Telefongespräche zwischen dem amerikanischen Präsidenten und dem britischen Premierminister zu verschlüsseln. 1943 wird der Mathematiker Claude Shannon in das schon fast fertige Projekt involviert. Er soll die Stärke des Verschlüsselungsverfahrens rechnerisch überprüfen. Shannon ist elektrisiert: Das sogenannte Pulsmodulationsverfahren, das seine Kollegen entwickelt haben, um Sprache in diskrete Signale zu übertragen, ist ein völlig neuer Ansatz, um analoge Signale zu digitalisieren und damit berechnen- und verschlüsselbar zu machen. In diesem inspirierenden Umfeld beginnt Shannon, sich allgemein mit dem Konzept »Information« zu befassen: Wie viel Text einer Nachricht gestrichen werden, ohne dass die relevante Information verloren geht? Können statistische Regelmäßigkeiten in Nachrichten mathematisch erfasst werden?

Ausgehend von der Beschäftigung mit den kryptanalytischen Verfahren, reduziert Shannon Nachricht-

ten auf den für ihn wesentlichen Kern, den technisch gefassten Informationsgehalt. Das Ergebnis dieses Abstraktionsprozesses ist seine 1948 erschienene Publikation »A Mathematical Theory of Communication«. Hier stellt er das »bit« als Einheit zur Messung des technischen Informationsgehalts einer Nachricht vor. In der Verschmelzung der Begriffe »binary« und »digit« dient die neue Maßeinheit zur Quantifizierung von Information. Die von Shannon initiierte Informationstheorie wird zu einer wichtigen Grundlage der Digitalisierung.

ANALOG/DIGITAL

Digitale Rechengenäte sind allerdings keine Erfindung des 20. Jahrhunderts. Von seinem lateinischen Wortsprung her bedeutet digital »mithilfe des Fingers/der Zehe«, und das Rechnen mit Händen und Füßen gehört zu den ältesten Rechenmethoden. Das digitale Rechnen ist allgemein das Rechnen mit abgegrenzten und gestuften Werten, etwa das Rechnen mit den Ziffern 0 bis 9. Die seit dem 17. Jahrhundert entwickelten Rechenmaschinen, die im Zehnersystem mit mechanischen Zahnrädern operieren, sind also digitale Geräte. Analoge Technik arbeitet hingegen mit kontinuierlichen Werten. Auch analoge Rechengenäte haben eine lange Tradition, wie etwa der Rechenschieber, bei dem die Berechnung mithilfe von stufenlos und fließend gegeneinander verschiebbaren Längen abläuft. Digitale und analoge Geräte existieren jahrhundertlang, ohne dass diese ausdrücklich als solche bezeichnet oder deren Merkmale in einen Gegensatz zueinander gestellt werden. Die Opposition analog-digital, die uns heute so selbstverständlich erscheint, wird erst in den 1940er Jahren herausgebildet – vermutlich ausgehend von den Debatten der frühen Kybernetik.

Als Wissenschaft der universalen Steuerung und Regelung formiert sich die Kybernetik in den 1940er Jahren. In den interdisziplinären Konferenzen zur Kybernetik schält sich das Digitale als Herangehensweise heraus, die die Kybernetik als neue Universalwissenschaft am Horizont erstrahlen lässt. Das Digitale – insbesondere in seiner Verkürzung auf das Binäre mit seinen zwei »Alles-oder-nichts«-Zuständen – wird im Zuge dieser Debatten zum Denkansatz, der die Informationswissenschaft, die Neurowissenschaft und die Computerentwicklung vereinen sollte. In der Gegen-

überstellung zum Analogen wird dem Digitalen auch eine größere Effektivität und geringere Störanfälligkeit zugeschrieben. Leidenschaftlich an den Diskussionen beteiligt ist der Mathematiker John von Neumann. In seinem Umfeld werden Mitte der 1940er Jahre erstmals Computer entwickelt, bei denen Daten und Programme am selben Ort gespeichert werden. Der binäre Computer mit Programmspeicherung, einem zentralen Takt und einer aufeinanderfolgenden Abarbeitung von Befehlen sollte von nun an als »Von-Neumann-Architektur« zum Standard des Digitalcomputers werden.



Im Alltag spürbar wird die Digitaltechnik für viele Menschen erst ab den 1980er Jahren. Mit der allmählichen Verbreitung von Homecomputern, Compact Discs und Digitalkameras ziehen digitale Spiele, Musikstücke, Fotos und Filme in die Haushalte ein und beginnen, die analogen Medienformate zu verdrängen. Am Beispiel digitaler Musik lassen sich die Vorteile und mögliche Nebeneffekte der Digitalisierung darstellen: Die Umwandlung der analogen Schallwellen in binäre Codes geht mit einer mathematischen Reduktion auf die wesentlichen Informationen einher. Der so erzeugte Code kann weiter bearbeitet werden, etwa mit fehlerkorrigierenden Algorithmen oder mit Verfahren zur Datenkompression wie dem mp3-Format. Dass digitale Musikstücke beliebig oft verlustfrei kopierbar und über Datennetze leicht übermittelbar werden, erschüttert die Musikindustrie um 2000.

Eine wesentliche Auswirkung der Digitalisierung ist die Tatsache, dass nun alle Medienformate, Infor-

mationen und Kommunikationsinhalte als Daten vorliegen, die nach den gleichen Verfahren behandelt, maschinell weiter bearbeitet, berechnet und ausgetauscht werden können.

KLEINE LÖCHER UND GROSSE DATENMENGEN

So wie es digitale Rechengenäte lange vor dem Computer gab, haben auch maschinell verarbeitbare digitale Daten eine länger zurückreichende Tradition. Ihr Ursprung liegt in der Statistik, genauer gesagt im Interesse der staatlichen Verwaltung nach möglichst effizienter und schneller Erfassung der Staatsbürger. Bei der US-amerikanischen Volkszählung von 1890 werden die Daten der Bürger erstmals digital in Form von kleinen Löchern in Papierkarten codiert. Die Auswertung erfolgt elektrisch mittels sogenannter Hollerithmaschinen: Wo ein Loch in der Karte ist, schließt sich ein Stromkreis, wo keines ist, wirkt die Karte als Isolator. Hollerithmaschinen sind im Kern automatische Zählmaschinen, die die Auswertung großer Datensammlungen nach bestimmten Suchkriterien enorm beschleunigen.

Es beginnt die Ära einer datengetriebenen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, die in der gegenwärtigen Big-Data-Euphorie mündet. Voraussetzung für Big Data ist die Entwicklung von Computern mit enormen Speicherkapazitäten kombiniert mit dem beiläufigen und automatisierten Sammeln von massenhaften Daten mittels Sensoren in mobilen vernetzten Geräten. Dazu kommt die Softwareentwicklung mit der Ausarbeitung von spezifischen Algorithmen, die unerwartete Muster und Korrelationen in Datensammlungen sichtbar machen. Wissenschaftler, die den Computer schon Jahrzehnte als Simulationsgerät verwendet haben, können nun auch ihre Thesen und Modelle direkt aus der Datenanalyse ziehen.

Für die Zukunft deuten viele Anzeichen auf eine vollständig mathematisierte »Berechnungsgesellschaft«. Selbst wenn sich nur ein Teil der vollmundigen Versprechen aus den Forschungen zur Künstlichen Intelligenz bewahrheiten, werden wir in einer Welt leben, in der lernende Maschinen, unbegrenzte Datensammlungen und mächtige Algorithmen unser Leben bestimmen werden. (ek)



VON TÖNERNEN ZAHLEN

KEILSCHRIFTTAFEL, UM 2500 V.D.Z.

Wir befinden uns im 3. Jahrtausend vor der Zeitrechnung. Ort des Geschehens ist die Stadt Girsu, Residenzstadt des Kleinstaates Lagasch. Die weitere Region des südlichen Mesopotamiens, im heutigen Irak gelegen, wird als Sumer bezeichnet. Hier verzeichnet ein Schreiber auf einer noch feuchten Tontafel Lieferungen des Getreides Emmer. Insgesamt sind es 82,5 Gur, eine damals gebräuchliche Volumeneinheit. Um den Text auf die Tafel zu bringen, verwendet er ein dünnes Schreibrohr. Mit dem angespitzten Ende ritzt er Zeichen in den Ton, die den Textteil der Niederschrift darstellen. Das andere Ende des Rohrs nutzt er, um Kreise und Kerben in den Ton zu drücken. Damit stellt er Ziffern dar.

Dieser Akt, eine auf den ersten Blick triviale Verwaltungstätigkeit, steht stellvertretend für eine Kulturleistung, die unsere moderne Welt erst möglich macht. Denn hier manifestiert sich einerseits die Erfindung der Schrift, die eine Speicherung von Informationen über lange Zeiträume ermöglicht. Andererseits zeigt sich hier der Beginn einer zweiten Entwicklung: der Umgang mit Zahlen und damit einhergehend die Formalisierung des Zählbaren, ohne die unsere heutige hochtechnisierte Gesellschaft undenkbar wäre.

ZÄHLEN FÜR ANFÄNGER

Um diese Entwicklung zu verstehen, muss man einen Sprung zurück in die Vorgeschichte des Menschen machen und sich die Frage stellen: Woher kommt die Fähigkeit zu zählen?

Wer sein eigenes Verhalten im Umgang mit einer Anzahl beliebiger Objekte beobachtet, wird schnell feststellen, dass man erst ab fünf Objekten anfangen muss zu zählen, um die genaue Anzahl zu bestimmen. Das menschliche Gehirn ist dazu in der Lage, die Anzahl von bis zu vier Objekten korrekt zu schätzen.

Diese Fähigkeit ist angeboren. Bereits Säuglinge können kurz nach der Geburt den Unterschied zwischen zwei und drei Objekten erkennen. Auch bei vielen Tieren, etwa Raben oder Honigbienen, ist die Fähigkeit, die Anzahl von bis zu vier Objekten korrekt schätzen zu können, nachgewiesen. Diese Anlage bildet die Grundlage für unser Zahlenverständnis.

Doch trotz dieses instinktiven Gespürs für Mengen muss der Mensch den Umgang mit Zahlen, wie er für uns heute selbstverständlich ist, erst erlernen. Denn es gibt noch einen weiteren entscheidenden Entwicklungsschritt: die Loslösung der Zahl von den zu zählenden Objekten. Dann erst sind die Zahlen abstrakt und es besteht die Möglichkeit, eine Mathematik zu entwickeln.

Bis zu diesem Schritt wird eine lange Zeit vergehen. Erste Hinweise auf zählende Menschen finden sich bereits auf Tierknochen, die aus der Zeit des Homo erectus vor über 100.000 Jahren stammen. Auf diesen Knochen sind mithilfe von Strichen verschiedene Zahlgruppen systematisch eingeritzt. Dies legt nahe, dass bereits der direkte Vorfahre des modernen Menschen mit Zahlen umgehen kann. Ähnliche Funde belegen die Fähigkeit des Zählens auch für den frühen Homo sapiens.

Doch man geht davon aus, dass diese Markierungen ohne eine Vorstellung von der Abstraktheit der Zahlen angefertigt werden. Denn auch noch sehr viel später zählt der Mensch, ohne über einen abstrakten Zahlbegriff zu verfügen. In verschiedenen Kulturen werden etwa für lange Zeit bestimmte Gegenstände wie Knochen, Muscheln, Scherben oder gebrannte Lehmkugeln zum Zählen genutzt. Diese sind gewissermaßen Platzhalter für die zu zählenden Gegenstände: Bei der sogenannten paarweisen Zuordnung werden so viele der oben genannten Gegenstände zu-



Der Ishango-Knochen ist etwa 20.000 Jahre alt. Mit seinen gruppenweise eingeritzten Kerben wurde er möglicherweise als Rechenstab benutzt.

rückgelegt, wie zu zählende Objekte vorhanden sind. Möchte etwa ein Viehzüchter die Anzahl seiner Rinder im Auge behalten, wird er für jedes seiner Tiere eine Lehmkugel beiseitelegen. Möchte der Züchter, der nicht zählen kann, später überprüfen, ob er immer noch so viele Rinder besitzt wie am Anfang, muss er nur überprüfen, ob er jeder Kugel ein Rind zuordnen kann. Mit diesem Trick kann man »zählen«, ohne tatsächlich zählen zu können.

Diese Zählhilfen werden später weiterentwickelt, indem für verschiedene Zahlwerte unterschiedlich geformte Tonkugeln genutzt werden. Wer zehn Rinder hat, braucht dafür keine zehn Kugeln mit dem Wert eins, sondern eine Kugel mit dem Wert zehn.

DER BUCHHALTER WAR'S!

Die Zählsteine sind von ihrer Form her das Vorbild für die ersten in der sumerischen Schrift genutzten (halb)runden Zahlensymbole. Die Sumerer entwickeln dabei mehrere Zahlensysteme, die abhängig von den zu zählenden Objekten verwendet werden. So kann das Zeichen für 60 etwa bei Getreide 300 bedeuten. Das wichtigste dieser Systeme, das für die Zählung der

meisten Dinge wie Menschen und Tiere genutzt wird, ist ein Sexagesimalsystem und beruht auf der Basis 60.

Die Erfindung dieses Zahlensystems und der sumerischen Schrift zwischen 3200 und 3100 v.d.Z. ist dabei eine Folge der komplexer werdenden Gesellschaft. Diese ist agrarisch ausgerichtet und hat eine Tendenz zur Bildung größerer urbaner Zentren, die sich auf mehrere Kleinstaaten verteilen. Die wichtigsten Wirtschaftszweige sind Landwirtschaft und Viehzucht.

Das Wirtschaftssystem ist als staatliche Planwirtschaft organisiert. Die einzelnen Wirtschaftssektoren müssen festgesetzte Lieferungspflichten erfüllen. Um hier den Überblick zu behalten, wird ein ausgereiftes Schrift- und Zahlensystem benötigt. Weil sich dessen Entwicklung im Kontext einer ausgedehnten Verwaltung vollzieht, könnte man zugespitzt sagen, dass der Buchhalter die Schrift erfunden hat. Dabei entwickeln die Sumerer ein System, das wir noch heute aus der Buchhaltung kennen: Die Gegenüberstellung von theoretischen Sollvorgaben und erbrachten Leistungen, also von Soll und Haben. Die ältesten überlieferten Texte sind Verwaltungsdokumente. Erst seit Mitte des 3. Jahrtausends sind auch erzählende Texte belegt.

Zusammen mit der Schrift entsteht die Berufs-
klasse des Schreibers, die eine wichtige Stellung in
der sumerischen Verwaltung innehat. Die Anzahl der
Menschen, die lesen und schreiben können, ist ver-
schwindend gering. Diese Fähigkeit bringt den Schrei-
bern Wissen und damit auch Macht ein. Für einige
der Schreiber ermöglicht dies einen gesellschaftlichen
Aufstieg bis in die höchsten Beamtenränge. Schrei-
ber arbeiten zum Beispiel in der Landwirtschaft, dem
Handwerk oder der öffentlichen Verwaltung. In diesen
Bereichen sind sie jeweils für die Buchführung zustän-
dig. Sie verwalten und vermessen Felder, führen Buch
über Arbeitskräfte und vorhandenes Vieh.

Speicher aus Stein

Diese komplexe Verwaltung ist mit dem Gedächtnis
einzelner Personen als einzigem Informationsträger
nicht leistungsfähig. Aufzeichnungen von Lagerbe-
ständen, Zu- und Abgänge von Vorräten oder die Ent-
wicklung von Viehherden müssen sicher abgelegt wer-
den, um eine nicht an spezifische Personen gebundene
Kontrolle über diese Daten zu ermöglichen. Deshalb
werden Informationen auf Ton gebrannt – Zeugnisse
dieser längst untergegangenen Kultur, die viele Jahr-
tausende überdauern und die wir noch heute finden.

Heute werden Informationen im Allgemeinen
nicht mehr auf Stein gespeichert. Eines der wichtigs-
ten Speichermedien ist immer noch das Papier. Unter
guten Lagerungsbedingungen können Informationen
so über Jahrhunderte aufbewahrt werden. Auch in der
frühen Computergeschichte ist das Papier ein wichti-
ger Informationsträger: Daten wie etwa Programmab-
läufe werden mithilfe von Lochkarten und -streifen
gesichert. Daneben beginnt man aber auch mit der
Nutzung anderer Speichersysteme: magnetische, op-
tische und elektronische Datenträger sind heute in
Gebrauch.

Die Informationen sind hier, unter idealen Bedin-
gungen, ein paar Jahrzehnte gesichert, vielleicht ein
Menschenleben lang. Dabei leben wir in einer Zeit, in
der so viele Informationen wie niemals zuvor erzeugt
werden. Einer aktuellen Studie zufolge werden im Jahr
2025 163 Zetabyte an digitalen Daten generiert. Das
ist das Zehnfache der im Jahr 2016 generierten Daten.
Ein Zetabyte entspricht etwa 666,67 Billionen Norm-
seiten mit jeweils 1.500 Zeichen.



Jeder Ring ein Bit: Ringkernspeicher wurden in den 1950er bis 1970er
Jahren als magnetische Speicher eingesetzt.

Man ist sich des Problems der Vergänglichkeit
dieser Daten durchaus bewusst. Deshalb gibt es ver-
schiedene Überlegungen, wie man heute geschaffene
Informationen, wie man unser kulturelles Erbe für zu-
künftige Generationen erhalten kann. Wissenschaft-
ler haben bereits Methoden entwickelt, mit denen
Informationen in Form von DNA gespeichert werden
können, die wiederum eine Haltbarkeit von mehreren
tausenden Jahren gewährleisten sollen.

Doch neben hochtechnologischen Entwicklungen
gibt es auch Ansätze, die uns zurückführen zu den
Wurzeln menschlicher Datensicherung. Das Projekt
»Memory of Mankind« etwa lagert Informationen auf
bedruckten Keramiktafeln in einer alten Salzmine in
Österreich. Unter den dortigen Bedingungen sollen
die Datenspeicher eine Million Jahre halten.

Im Laufe der Zeit wird das Salz in der Mine weiter-
wachsen und somit die dort gelagerten Informationen
für die Nachwelt konservieren. Vielleicht werden hier
eines Tages die letzten Überreste der Menschheit auf
der Erde zu finden sein. (fm)



PUNKTE UND STRICHE

FUNKTIONSMODELL EINES MORSETELEGRAFEN, UM 1890

Berlin 1923, Haupttelegraphenamtsamt in der Oranienburger Straße: ein Saal mit vielen Tischen, an denen vor allem Männer arbeiten. Vor ihnen stehen Apparaturen aus Holz und Messing. Ein alter Herr im Gehrock und gestärktem Hemd sitzt vor solch einem Apparat, aus dem sich kontinuierlich ein Papierstreifen bewegt. Der Mann rollt diesen geschickt mit seiner linken Hand auf, während seine rechte mit spitzer Feder einen Text auf ein Formblatt schreibt. Dabei lässt er den Papierstreifen nicht aus den Augen und registriert jeden Punkt und jeden Strich, der von der Apparatur kurz zuvor darauf gedruckt wurde.

Der Herr ist Beamter bei der deutschen Reichspost. Er übt einen sterbenden Beruf aus. Nur auf Nebenstrecken wie zwischen Berlin und dem märkischen Umland sind zu dieser Zeit noch Morseapparate im Einsatz. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wird trotz steigender Verbreitung von Telefonen zwar der Großteil des weltweiten Nachrichtenverkehrs noch über Telegramme abgewickelt. Längst haben aber automatische Fernschreiber und Schnelltelegraphen die Arbeit auf den stark frequentierten Hauptstrecken übernommen.

LERNEN AM MODELL

Als der Herr seinen Beruf gelernt hat, ist die Welt der Telegrafie noch eine andere. Morse-Telegrafisten wie er gehören zur Elite des wichtigsten Informationsnetzes des 19. Jahrhunderts. Es sind Profis, die über das nötige Verständnis für die Technik verfügen und den für die Übertragung benötigten Morsecode quasi im Schlaf beherrschen. Als menschliche Codierer sorgen sie dafür, dass Texte in großer Geschwindigkeit per Morsetaster in einen elektrischen Code umgewandelt werden. Auf der Empfangsseite muss dieser Code dann wieder in einen lesbaren Text übersetzt werden – ebenfalls durch einen Telegrafisten. Keine

Maschine ist damals in der Lage, diese Arbeit zu übernehmen.

Während ihrer Ausbildung lernen Telegraphenbeamte an Funktionsmodellen den Aufbau und die Technik von Morsetelegraphen kennen. Solche Modelle werden Ende des 19. Jahrhunderts von der Berliner Firma für wissenschaftliche Instrumente Leppin und Masche hergestellt und vertrieben.

Durch ihren schematischen Aufbau, der Kabelverlauf, Schaltungen und Apparate gut sichtbar zeigt, lässt sich mit zwei dieser Modelle anschaulich demonstrieren, wie ein Morsetelegraph funktioniert. Wird die Taste in der Mitte des einen Modells gedrückt, schließt sich ein Stromkreis. Der Strom aus einer angeschlossenen Batterie fließt über die Taste und einen verbindenden Kupferdraht hin zum zweiten Modell. Dort erreicht er die oben angebrachte Empfangsapparatur, den »Farbschreiber«. Hier bewirkt der Strom, dass zwei Elektromagneten einen an einem kupfernen Balken befestigten Stift gegen einen Papierstreifen drücken. Der Streifen wird mittels eines Uhrwerks kontinuierlich von einer Papierspule abgewickelt. Je nachdem, ob die Taste kurz oder lang gedrückt wird, werden hier Punkte und Striche aufgezeichnet.

Einen gleich aufgebauten Farbschreiber bedient auch der Beamte im Berliner Haupttelegraphenamtsamt. Fließend liest er aus den Punkten und Strichen Buchstaben und Ziffern heraus – den Text, der an der Sendestation von einem seiner Kollegen per Finger in die Morsetaste »geklopft« wird.

UMBRUCH VOM MORSETELEGRAFEN ZUM FERNSCHREIBER

Mitte der 1920er Jahre sind von den knapp 12.000 bei der Reichspost eingesetzten Telegraphen noch über ein Drittel Morse-Farbschreiber. Dazu kommen noch gut



»Der alte Herr«, Morsetelegrafist im Berliner Haupttelegraphenamt, um 1923.

3.000 Morseklopfer, bei denen der Telegrafist nur über sein Gehör den Code entschlüsselt. Diese werden in den kommenden zehn Jahren fast gänzlich von neuen Fernschreibern ersetzt, die Klartext senden und empfangen können. Für diese Fernschreiber braucht es keinen Morsetelegrafisten mehr. Mehr und mehr nehmen meist weibliche Fernschreiberinnen deren Platz ein, die dafür nur den Bruchteil des Gehalts ihrer männlichen Kollegen am Morsetelegrafen bekommen.

ANFÄNGE DER ELEKTRISCHEN TELEGRAFIE

Als es um 1930 zu diesem Umbruch in der Telegrafie kommt, ist die Idee, mit Elektrizität Nachrichten zu übertragen, schon gut 130 Jahre alt. Ende des 18. Jahrhunderts machen Wissenschaftler wesentliche Entdeckungen auf dem Gebiet der Elektrizität. Insbesondere die Erkenntnis, dass Strom entlang eines Leiters, etwa aus Kupferdraht, fließt, dient als Grundlage der elektrischen Telegrafie.

1809 stellt Samuel Thomas Soemmerring in München ein elektrisches Nachrichtenübertragungssystem vor. Er benutzt für jeden Buchstaben des Alphabets einen eigenen Stromleiter. Damit läutet Soemmerring zwar das Zeitalter der elektrischen Nachrichtenübertragung ein. Um die elektrische Telegrafie ökonomisch über weite Strecken nutzbar zu machen, muss aber ein Weg gefunden werden, mit wenigen elektrischen Leitungsdrähten zwischen Sender und Empfänger auszukommen.

Dies ist schwierig, weil man bei der elektrischen Übertragung zu dieser Zeit nur wenige Zustandsformen kennt: an und aus sowie positiv und negativ. Erst viel später wird entdeckt, dass sich mit Elektrizität auch Frequenzen und Töne übertragen lassen. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts beschäftigen sich in Europa zahlreiche Forscher mit der Frage, wie es trotzdem möglich ist, mit zwei oder gar nur einem Draht einen Zeichensatz von 26 Buchstaben und zehn Ziffern übertragen zu können.

SAMUEL MORSE

Die bahnbrechende Idee kommt letztlich einem US-Amerikaner, der bis dahin kaum etwas mit Elektrizität zu tun hatte, sondern als Kunstmaler seinen Lebensunterhalt verdient. 1837 ersinnt Samuel Morse einen Telegrafen, der aus einem einfachen Schaltkreis besteht, bei dem eine Taste als Sender dient. Der Empfänger ist ein mit einem Zeichenstift verbundener Elektromagnet. Das Geniale ist der Übertragungscode, den Morse entwickelt. Er besteht aus langen und kurzen Signalen, die, wenn sie in die Sendetaste gedrückt oder geklopft werden, als Punkte und Striche auf dem Papierstreifen der Empfängerseite erscheinen. Durch ausgeklügelte Kombination der Punkt-Strich-Signale lassen sich damit alle Buchstaben und Ziffern übertragen.

Ausgehend von den USA wird die Morsetelegrafie bis zur Jahrhundertwende die meist genutzte Form der Übertragung im weltweiten Nachrichtenverkehr. Sie hat gegenüber anderen Methoden mehrere Vorteile: Die Übertragung ist sehr schnell. Gut ausgebildete Telegrafisten können bis zu 100 Zeichen pro Minute übertragen. Und anders als bei den damals schon existierenden automatischen Telegrafen, wie den Zeigertelegrafen oder daraus entwickelten Hughes-Typen-

drucktelegraphen, können weitere Strecken ohne Verstärker überbrückt werden. Die benutzten Geräte sind einfach konstruiert und benötigen wenig Wartung. Schließlich ist die Morseschrift so aufgebaut, dass seltener auftretende Buchstaben aus drei bis vier Signalen bestehen: Der Code für das Y ist beispielsweise Strich-Punkt-Strich-Strich. Häufige Buchstaben kommen dagegen mit zwei oder einem Signal aus. So wird etwa das E als Punkt gesendet. Diese Tatsache führt ebenfalls zur Beschleunigung der Übertragung.

MASCHINENLESBARE CODES UND SCHNELLTELEGRAFEN

Die unterschiedliche Länge der Zeichencodes ist aber auch ein entscheidender Nachteil von Morses System. Denn für das Ver- und Entschlüsseln von Nachrichten braucht es immer einen menschlichen Übersetzer. Zudem ist der Code schwer zu erlernen und nur durch intensive Übung schafft es ein Telegrafist, Telegramme wirklich schnell zu senden und zu empfangen. Außerdem kann er immer nur eine Nachricht pro Leitung übertragen.

Mit der immensen Zunahme des Telegrammverkehrs im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts beginnt die Suche nach Methoden, das Telegrafieren mittels Automaten zu rationalisieren. 1876 entwickelt der Franzose Émile Baudot einen maschinenlesbaren Binärcode. Auf dieser Basis werden in der Folge Schnelltelegraphen entwickelt. Diese erlauben es, einmal codierte Nachrichten auf Lochstreifen zu speichern, die sich dann über Maschinentelegraphen viel schneller übertragen lassen. So schaffen es etwa die 1912 bei der Reichspost eingeführten Siemens Schnelltelegraphen mit 1.000 Buchstaben pro Minute zehnmal mehr Information zu übertragen als die schnellsten Morse-telegrafisten.

FERNSCHREIBER

Allerdings sind solche Schnelltelegraphen noch sperrige Maschinen, die von technisch geschultem Personal bedient werden müssen. 1900 erfindet der Neuseeländer Donald Murray einen Fernschreiber, der fast so einfach zu bedienen ist wie eine Schreibmaschine. Die darin verbaute Mechanik codiert automatisch den eingetippten Text in den Baudot-Code und überträgt diesen als elektrische Impulse. Die gleiche Maschine dient auch



Fernschreiber Siemens T-68, 1951: Zur Übermittlung wird der Nachrichtentext auf einen schmalen Papierstreifen gedruckt.

als Empfänger, der die codierte Nachricht wieder in lesbaren Text umwandelt und auf Papierstreifen oder Endlospapier ausdruckt.

Dieses System ist so einfach und vielfältig einsetzbar, dass in den 1930er Jahren sämtliche Telegraphenämter damit ausgestattet werden. Auch Behörden, Unternehmen und Medien können jetzt einen eigenen Fernschreiberanschluss beantragen. Die Nachrichten werden über ein eigenes Netz, das ähnlich aufgebaut ist wie das Telefonnetz, untereinander ausgetauscht.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wird der Fernschreiber neben dem Telefon zum wichtigsten Mittel der Telekommunikation. Zum Ende des 20. Jahrhunderts verliert er durch Telefax und E-Mail immer mehr an Bedeutung. 2007 wird das Fernschreibnetz in Deutschland abgeschaltet, womit auch die Ära der elektrischen Telegrafie endgültig vorbei ist. Die digitale Nachrichtenübertragung hat ihren Zenit allerdings noch lange nicht erreicht – auch wenn inzwischen statt Punkten und Strichen Bits und Bytes übertragen werden. (bl)



Zur Beachtung!

Beachte die Gebrauchsanleitung für die Chiffriermaschine (H. D. S. 12)

1. Die Bedienung der Chiffriermaschine erfolgt ausschließlich durch den Bediener, dem die Maschine anvertraut ist. Jeder andere Zutritt ist untersagt.
2. Für die Bedienung der Chiffriermaschine sind besondere Anweisungen zu beachten. Diese sind in der Gebrauchsanleitung (H. D. S. 12) enthalten.
3. Bei der Bedienung der Chiffriermaschine sind die folgenden Punkte zu beachten:
 - a. Die Chiffriermaschine ist ausschließlich für den Zweck der Chiffrierung und Entzifferung von Nachrichten bestimmt.
 - b. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Nachrichten geeignet.
 - c. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Fernschreiben geeignet.
 - d. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Telegrammen geeignet.
 - e. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Telephonatzen geeignet.
 - f. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - g. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - h. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - i. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - j. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - k. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - l. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - m. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - n. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - o. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - p. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - q. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - r. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - s. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - t. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - u. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - v. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - w. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - x. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - y. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
 - z. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
4. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
5. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
6. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
7. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
8. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
9. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
10. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
11. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
12. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
13. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
14. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
15. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
16. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
17. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
18. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
19. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.
20. Die Chiffriermaschine ist nicht für die Übertragung von Radiotelexatzen geeignet.



Chiffriermaschine
Typ 12

GEKNACKTE CODES

CHIFFRIERMASCHINE ENIGMA I, 1939

Vor der Küste Ägyptens am 30. Oktober 1942: Das deutsche U-Boot U 559 wird von einem englischen Zerstörer mit Bomben beschossen. Während es sinkt, schwimmen drei englische Soldaten zum U-Boot. Es gelingt ihnen, einige Tabellenbücher aus dem Inneren zu holen. Den Versuch, ein zweites Mal hineinzuklettern, um weitere Bücher zu bergen, bezahlen zwei der Seemänner mit dem Leben. Sie schaffen es nicht mehr rechtzeitig hinaus, als das Boot endgültig untergeht. Warum riskieren die Soldaten ihr Leben für ein paar Bücher, die nichts als Listen mit scheinbar willkürlich zusammengewürfelten Buchstabenreihen enthalten? Die Antwort auf diese Frage hängt mit einer kastenförmigen Maschine zusammen, die der Ver- und Entschlüsselung von Nachrichten dient: der Enigma.

VON DEN URSPRÜNGEN DER VERSCHLÜSSELUNG BIS ZUR ENIGMA

Bereits in der Antike besteht das Bedürfnis, Nachrichten so zu transportieren, dass der Inhalt nur von befugten Personen gelesen werden kann. Prominentestes Beispiel aus jener Epoche stellt der im alten Rom entwickelte »Caesar-Code« dar, der über die Verschiebung jedes Buchstabens im Alphabet um eine bestimmte Anzahl von Stellen funktioniert. Im Laufe der Geschichte werden die Verschlüsselungsverfahren stetig verbessert und somit komplexer. Im frühen 20. Jahrhundert läuten Kryptomaschinen ein neues Zeitalter der Verschlüsselung ein.

Besonders im Krieg kommt dem Abhören der feindlichen Kommunikation eine entscheidende Bedeutung zu. Weiß eine Kriegspartei frühzeitig, was der Gegner als Nächstes plant, ist sie klar im Vorteil. Mit dem Aufkommen der Funkkommunikation im Ersten Weltkrieg wird Verschlüsselung besonders wichtig, da Funksignale leicht abgehört werden können. Im Feb-

ruar 1918 meldet der Elektroingenieur Arthur Scherbius ein Patent für seine Chiffriermaschine mit der Bezeichnung »Enigma«, griechisch für »Rätsel«, an. Die ersten Modelle der Enigma vertreibt Scherbius über die von ihm mitgegründete Firma Scherbius & Ritter sowie die Chiffriermaschinen AG Berlin, bei der er als Chefkonstrukteur angestellt ist. Ab Ende der 1920er Jahre kommt die Enigma beim deutschen Militär zum Einsatz.

Nach der Machtübergabe an die Nationalsozialisten übernimmt das Unternehmen »Heimsoeth & Rinke« zusammen mit der Wehrmacht die Weiterentwicklung und Serienproduktion der Enigma. Die Aufrüstung der Streitkräfte durch das NS-Regime lässt ihre Produktionszahlen rasch in die Höhe schnellen. Schätzungen zufolge werden insgesamt 40.000 Enigmas unterschiedlicher Modellart hergestellt.

AUFBAU UND BEDIENUNG DER ENIGMA I

Die Enigma sieht im Wesentlichen wie eine normale Schreibmaschine aus. Mit einer Hand wird der zu verschlüsselnde Text Buchstabe für Buchstabe auf der Tastatur eingegeben, mit der anderen werden die auf dem darüber liegenden Glühlampenfeld angezeigten Geheimbuchstaben einzeln nacheinander aufgeschrieben. Der so gewonnene Chiffrentext kann dann von einem Funker übermittelt werden. Auf der Empfängerseite werden die Chiffren in eine Enigma eingetippt und die Maschine lässt die Buchstaben des Klartextes nacheinander aufleuchten.

Die relativ einfache Bedienung der Enigma sagt jedoch nichts über die hohe Komplexität ihres Codierungssystems aus. Bei dem in der Wehrmacht am weitesten verbreiteten Modell, der Enigma I, besteht das Herzstück der Verschlüsselung aus drei austauschbaren, drehbaren Walzen, auf welchen jeweils alle 26



Die Enigma im Einsatz: Ein General der Wehrmacht wartet auf die Entschlüsselung eines Funkspruchs, 1940.

Buchstaben des lateinischen Alphabets eingestellt werden können. Jede der Walzen ist im Inneren anders verdrahtet. An der Vorderseite der Maschine befindet sich ein Steckerbrett mit doppelpoligen Buchsen für alle Buchstaben. Mithilfe von Kabeln können sie paarweise miteinander verschaltet werden, wodurch die jeweiligen Buchstaben gegeneinander ausgetauscht werden. Wird eine Buchstabentaste gedrückt, fließt Strom durch die Verkabelungen auf dem Steckerbrett, den Walzensatz und wieder zurück. Am Ende leuchtet die zugewiesene Lampe auf. Dieser aufleuchtende Buchstabe stellt die Chiffre des gedrückten Buchstabens dar.

Bei jedem Tastendruck auf einen Buchstaben rotiert die erste Walze und verändert ihre Position. Das

bedeutet, dass sich die Verdrahtung der Maschine nach jedem Buchstaben verändert, damit gleichen Buchstaben nicht immer die gleichen Chiffren zugewiesen werden. Wird der Name »ANNA« eingegeben, könnten beispielsweise nacheinander die Buchstabenlampen »WGHP« aufleuchten. Der Empfänger ist jedoch in der Lage, die Botschaft zu entschlüsseln, weil seine Enigma exakt so konfiguriert ist wie die des Absenders.

Um das Knacken des Codes noch schwieriger zu machen, werden die Grundeinstellungen regelmäßig geändert. Aus fünf verfügbaren Walzen sind drei auszuwählen, in einer bestimmten Reihenfolge einzusetzen und in eine bestimmte Anfangsstellung zu bringen. Zuletzt müssen noch bestimmte Steckerverbindungen gesteckt werden. Diese Tagesschlüssel sind in Schlüsselbüchern festgelegt, die allerhöchster Geheimhaltung unterliegen. Der hohe Wert solcher Schlüsselbücher wird anhand der eingangs beschriebenen Episode um das versenkte deutsche U-Boot deutlich.

MATHEMATIKER IM KAMPF GEGEN DIE ENIGMA

Im Ersten Weltkrieg wird die Kryptoanalyse, also die Informationsgewinnung aus verschlüsselten Texten, erstmals systematisch genutzt. Die Anwendung mathematischer Theorien spielt hierfür eine zentrale Rolle, nachdem die Zahl der Möglichkeiten immer gigantischere Dimensionen annimmt. Für die Enigma des Heeres mit drei austauschbaren Walzen ergeben sich bei sechs Steckerverbindungen 10.586.916.764.424.000 Einstellmöglichkeiten. Bei fünf Walzen und zehn Steckerverbindungen steigt die Zahl auf 158.962.555.217.826.360.000. Angesichts dieser Zahl scheint ein Knacken des Codes unvorstellbar. Diese Annahme entpuppt sich jedoch als Trugschluss.

Bereits in Friedenszeiten versuchen andere Nationen, die Enigma zu entschlüsseln, und scheitern. Zum ersten Mal erfolgreich sind drei Mathematiker, die in den frühen 1930er Jahren für den polnischen Geheimdienst arbeiten. Nachdem es ihnen gelungen ist, die elektrische Verdrahtung der Rotationswalzen zu errechnen, fällt ihnen auf, dass am Beginn jeder verschlüsselten Nachricht sechs Buchstaben stehen, die Hinweise auf die jeweilige Schlüsseleinstellung

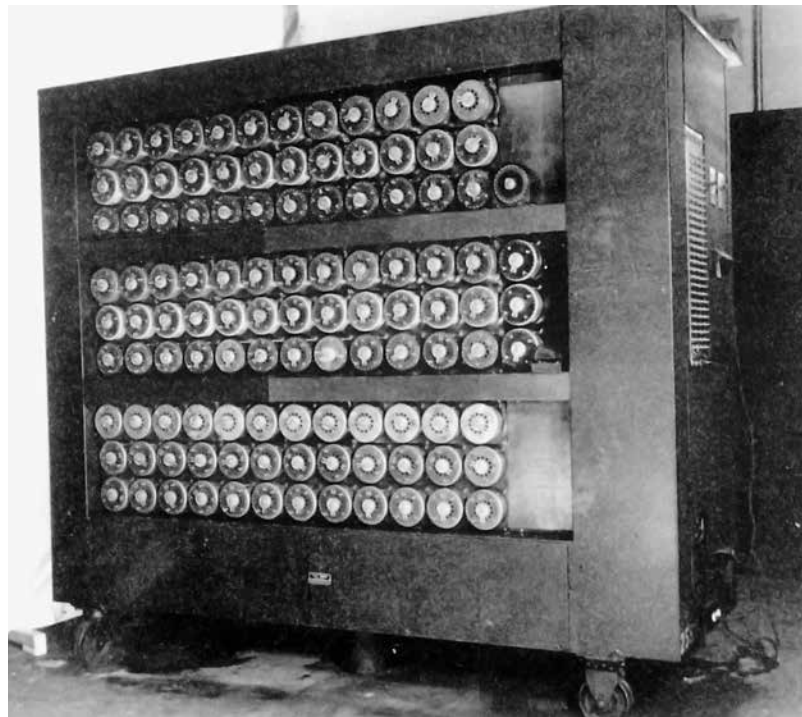
der Maschine geben. Sie entwickeln daraufhin Methoden und Maschinen wie das »Zyklometer«, um aus den sechs Stellen die jeweiligen Tagesschlüssel herzuleiten. Damit gelingt es, aufgefangene Chiffren innerhalb von Minuten zu entschlüsseln.

Im Herbst 1938 wird von deutscher Seite jedoch das Schlüsselverfahren geändert, wodurch die Methode nicht mehr funktioniert. Aus diesem Grund entwickeln die polnischen Kryptologen eine wesentlich komplexere Maschine, die »Bomba«, die auf der Suche nach der richtigen Schlüsseleinstellung alle Enigma-Stellungen durchrattert. Für kurze Zeit gelingt es wieder, die Enigma-Verschlüsselung zu entziffern.

Ende des Jahres 1938 wird auf deutscher Seite die Anzahl der zur Auswahl stehenden Walzen auf fünf erhöht. Die Polen müssen nun die beiden neuen Walzen errechnen und fortan anstatt der bisherigen sechs ganze 60 verschiedene Walzenlagen durchspielen, um ans Ziel zu gelangen. Außerdem wird die Zahl der Steckerverbindungen erhöht. Der Aufwand wird zu groß und es gibt kaum mehr nennenswerte Entschlüsselungserfolge. Als der deutsche Angriff auf Polen unmittelbar bevorsteht, übergibt der polnische Geheimdienst das Enigma-Wissen und zwei nachgebaute Enigmas an seine Verbündeten in Frankreich und England. Als Folge davon entsteht auf dem englischen Landsitz »Bletchley Park«, 70 Kilometer nordwestlich von London, ein geheimes Zentrum, das die Aufgabe hat, den codierten Nachrichtenverkehr der Wehrmacht zu entschlüsseln.

ALAN TURINGS MASCHINEN

Zur zentralen Figur des Geheimprojektes wird rasch ein englischer Mathematiker, der mit seinen Arbeiten zu mathematischer Logik und seinen Theorien zu elektronischen Rechnern auf sich aufmerksam gemacht hat: Alan Turing. Er beginnt damit, Maschinen zu konstruieren, die wesentlich leistungsstärker als die polnischen sind. Mit ihrer Hilfe will er direkt in die Chiffren der aufgefangenen Funkprüche eindringen. Er macht sich dazu eine Eigenschaft der Enigma zunutze. Da sie keinen Buchstaben in sich selbst chiffriert, kann er versuchen, Worte, von denen er annimmt, dass sie im Spruch vorkommen müssen – etwa »Oberkommando« –, zu lokalisieren. Er schiebt das Wort entlang der Chiffren, bis kein Buchstabe un-



»Turing-Bombe«: Eine von Alan Turing entworfene Entschlüsselungsmaschine in Bletchley Park, 1943.

ter seinesgleichen zu liegen kommt. Kann er auf diese Weise die Stelle eindeutig identifizieren, lässt sich die zugrunde liegende Schlüsselstellung herausfinden. Obwohl dieses Verfahren von Turings Maschinen erledigt wird, sind zusätzlich viele Menschen notwendig. Inklusive Hilfspersonal arbeiten bis zu 10.000 Frauen und Männer in Bletchley Park.

Der betriebene Aufwand lohnt sich. Durch erbeutete Schlüsselbücher und Enigmas sind Briten und Amerikaner ab 1942 in der Lage, einen wesentlichen Teil des deutschen Funkverkehrs mitzuhören. Dies verschafft ihnen entscheidende Vorteile, beispielsweise im U-Bootkrieg oder bei der Landung in der Normandie. Das »Knacken« der Enigma hat somit nicht unbedeutenden Einfluss auf den Verlauf der letzten Kriegsjahre. Für die Kryptografie im Allgemeinen kennzeichnet die Entschlüsselung des Enigma-Codes eine Zeitenwende: Die bis etwa zum Kriegsbeginn vorherrschenden linguistischen Verfahren der Ver- und Entschlüsselung werden durch mathematische Verfahren abgelöst. (sh)

LITERATUR

EINLEITUNG

Heßler, Martina: *Kulturgeschichte der Technik*, Frankfurt am Main/New York, 2012.

BERECHENBARKEIT VON ZAHLEN, CODES UND ALGORITHMEN

Coy, Wolfgang: »Rechnen als Kulturtechnik«, in: Brüning, Jochen/Knobloch, Eberhard (Hrsg.): *Die mathematischen Wurzeln der Kultur. Mathematische Innovationen und ihre kulturellen Folgen*, München 2005, S. 45–64.

Dyson, George: *Turings Kathedrale*, Berlin 2014.

Geiselberger, Heinrich/Moorstedt, Tobias: *Big Data: Das neue Versprechen der Allwissenheit*, Berlin 2013.

Gleick, James: *Die Information. Geschichte. Theorie, Flut*, München 2011.

Krämer, Sybille: *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*, Darmstadt 1988.

Schlieter, Kai: *Die Herrschaftsformel. Wie künstliche Intelligenz uns berechnet, steuert und unser Leben verändert*, Frankfurt am Main 2015.

Schröter, Jens/Böhnke, Alexander (Hrsg.): *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, Bielefeld 2004.

Zuse, Konrad: *Der Computer – Mein Lebenswerk*, München 1970.

VON TÖNERNEN ZAHLEN KEILSCHRIFTTAFEL, UM 2500 V.D.Z.

Goldmann, Nick u. a.: »Toward practical high-capacity low-maintenance information storage in synthesized DNA«, in: *Nature*, Nr. 494/2013, S. 77–80.

Gross, Hans Joachim: »Können Tiere zählen? Die magische Zahl Vier und

das angeborene Zahlenverständnis von Mensch und Tier«, in: *Biologie in unserer Zeit*, Nr. 4/2012, S. 232–237.

Haarmann, Harald: *Weltgeschichte der Zahlen*, München 2008.

Ifrah, Georges: *Universalgeschichte der Zahlen*, Frankfurt am Main/New York 1986.

Jursa, Michael: *Die Babylonier. Geschichte, Gesellschaft, Kultur*, München 2015.

Mankiewicz, Richard: *Zeitreise Mathematik. Vom Ursprung der Zahlen bis zur Chaostheorie*, Köln 2000.

Nissen, Hans/Damerow, Peter/Englund, Robert K.: *Informationsverarbeitung vor 5000 Jahren. Frühe Schriften und Techniken der Wirtschaftsverwaltung im alten Vorderen Orient*, Berlin 2004.

Selz, Gebhard J.: *Sumerer und Akkader. Geschichte, Gesellschaft, Kultur*, München 2016.

Reinsel, David/Gantz, John/Rydning, John: *Date Age 2025. The Evolution of Data to Life-Critical*, 2017: <http://www.seagate.com/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf> (Stand: 17.10.2017).

Selz, Gebhard J.: *Sumerer und Akkader. Geschichte, Gesellschaft, Kultur*, München 2016.

PUNKTE UND STRICHE FUNKTIONSMODELL EINES MORSETELEGRAFEN, UM 1890

Aschoff, Volker: *Aus der Geschichte des Telegraphen-Codes*, Opladen 1981.

Blumtritt, Oskar: *Nachrichtentechnik. Sender, Empfänger, Übertragung, Vermittlung*, München 2005.

Fürst, Artur: *Weltreich der Technik. Entwicklung und Gegenwart*, Bd. 1, Berlin 1923.

Franz Pichler: *Aufsätze zur Geschichte der Telegraphie*, Linz 2014.

Standage, Tom: *Das Viktorianische Internet. Die erstaunliche Geschichte des Telegrafens*

und der Online-Pioniere des 19. Jahrhunderts

, St. Gallen/Zürich 1998.

GEKNACKTE CODES CHIFFRIERMASCHINE ENIGMA I, 1939

Bauer, Friedrich L.: *Decrypted Secrets, Methods and Maxims of Cryptology*, Berlin 2007.

Erskine, Ralph: »Der Krieg der Codebrecher«, in: *Bayerische Akademie der Wissenschaften. Akademie aktuell*, Nr. 2/2002, München, S. 5–11.

Kippenhahn, Rudolf: *Verschlüsselte Botschaften. Geheimschrift, Enigma und digitale Codes*, Hamburg 2012.

Leiberich, Otto: »Vom diplomatischen Code zur Falltürfunktion. Hundert Jahre Kryptographie in Deutschland«, in: *Spektrum der Wissenschaft*, Nr. 6/1999, S. 26–34.

Ulbricht, Heinz: *Die Chiffriermaschine Enigma – Trägerische Sicherheit. Ein Beitrag zur Geschichte der Nachrichtendienste*, Braunschweig 2005.

RECHNEN MIT LÖCHERN TABELLIERMASCHINE D11, 1940ER JAHRE

Black, Edwin: *IBM und der Holocaust. Die Verstrickung des Weltkonzerns in die Verbrechen der Nazis*, München 2001.

da Cruz, Frank: *Hollerith 1890 Census Tabulator*, 2011: <http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/census-tabulator.html> (Stand: 17.10.2017).

Götz, Aly/Roth, Karl Heinz: *Die restlose Erfassung. Volkszählen, Identifizieren. Aussondern im Nationalsozialismus*, Frankfurt am Main 2000.

Petzold, Hartmut: *Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland*, München 1992.

ABBILDUNGSNACHWEIS

- Baker & Godwin / Library of Congress, LC-DIG-pga-00117: 48
Aus: BellSouth, IBM Corp (1994), S. 11: 86
Borchert, Erich / Bundesarchiv, Bild 101I-769-0229-12A: 26
BstU, MfS-BV-K-M-S-Abt-26-58-Seite-0007-Bild-0002: 112
Courtesy of Computer History Museum: 35, 56, 108, 109
Cummings, Nathan: 39
Aus: danooct1 / https://youtu.be/kl_Hbj0BpRU (Stand 17.10.2017): 83
Diamante, Vincent / flickr.com/photos/sklathill/, CC BY-SA 2.0: 159
Director General / GCHQ: 27
De Gruyter: 121
Aus: Echte Wagner Margarine (1930), Serie Nr. 12: 61
Electronic Arts: 142
europe-v-facebook.org: 124, 125
Fraunhofer IIS: 38
Aus: Fürst, Artur (1923), S. 80: 22
Gäckle, Kristian: 69
George Eastman Museum: 138
Guardian: 128
Gutjahr, Richard: 150
Harris & Ewing / Library of Congress, LC-DIG-hec-29778: 30
Highsmith, Carol M. / Library of Congress, LC-DIG-highsm-16025: 53
Historisches Archiv / SDTB: 60, 78, 91
Holloway, Robert Edward / commons.wikimedia.org, gemeinfrei: 49
Hornung, Matthias / commons.wikimedia.org, CC BY 2.0: 116
Hubin, Thierry / KBIN: 18
Jaretzki, Richard / Historisches Archiv, SDTB: 79
Jaybear / commons.wikimedia.org, gemeinfrei: 147
Kirchner, Clemens / SDTB: 19, 20, 23, 24, 28, 33, 36, 46, 50, 57, 58, 62, 66, 76, 80, 84, 87, 88, 92, 96, 106, 110, 114, 118, 122, 136, 139, 140, 143, 144, 148, 151, 152, 155, 156, 159
Kirchner, Clemens / SDTB. Leihgabe: Guardian News & Media Archive, London, GB: 126
[maldiny / github.com](http://maldiny.github.com): 98
Museumsstiftung Post und Telekommunikation: 113
Aus: LIFE, 10.07.1945, S. 123: 55
Lüke, Bernd / SDTB: 90
Mann, Steve / <http://wearcam.org/nm.htm>: 95
Marr, T.E. / Library of Congress, LC-USZ62-75405: 52
Homann, Peter: 117
Petersen, Regine: 64
Poitras, Laura (CITIZENFOUR, 2014): 129
Aus: Richardson, Lewis F. (1922), Frontispiz: 34
Rüsewald, Jörg / SDTB: 31, 65
Schieborn, Jochen & Richter, Johannes Matthias / Schiel Projektgesellschaft mbH: 10, 13, 15, 40, 43, 44, 70, 72, 75, 100, 103, 104, 130, 133, 134
Teßmer, Olaf M. / Staatliche Museen zu Berlin – Vorderasiatisches Museum: 16
Trlkly / wikipedia.org, CC BY-NC-ND: 82
Aus: Understanding Virtual Reality (2000), S. 27: 94
Viacom: 99
Wachter, Christoph & Jud, Mathias: 154
Weiler, Lars / aufschrei.konvergenzfehler.de, CC0: 68
Wellcome Images / commons.wikimedia.org, CC BY 4.0: 120
- Der Herausgeber hat sich nach Kräften bemüht, die Inhaber sämtlicher Bildrechte zu ermitteln. Sollte dies nicht in allen Fällen gelungen sein, bitten wir, sich mit uns in Verbindung zu setzen.

AUTORINNEN UND AUTOREN



Justine Czerniak arbeitet als Kuratorin und Projektmanagerin am Deutschen Technikmuseum im Bereich der Museumsentwicklung. Ihr erstes Handy war ein »Knochen«: ein Nokia 3110 mit einer Stummelantenne, das sie von ihrem Bruder vermacht bekam.

Wenn man heute das winzige monochrome Display betrachtet, scheint es kaum vorstellbar, dass sie auf diesem Bildschirm Snake spielte. Ihr Interesse gilt heute den Auswirkungen der technologischen Entscheidungen im Anthropozän auf die Entwicklungen von Gesellschaften und Umwelt.



Sebastian Hamburger studierte Neuere Geschichte und Technikgeschichte in Darmstadt. Er war wissenschaftlicher Volontär im Deutschen Technikmuseum und ist bei der Stiftung Haus der Geschichte im Ausstellungswesen tätig. Der Einstieg ins Computerzeitalter gelang ihm mit einem Atari 520ST, den er von seinem Vater bekommen hatte.

Als Historiker richtet er heute unter anderem seine Aufmerksamkeit auf die Frage, wie die Digitale Revolution unser gesellschaftliches Zusammenleben verändert.



Catharina Koller war acht Jahre alt, als sie das erste Mal mit Platinen, LEDs und Lötzinn hantierte. Nach ihrem Studium in Göttingen und London hat sie die Ausstellung »Das Netz. Menschen, Kabel, Datenströme« am Deutschen Technikmuseum mitkuratiert. Heute konzipiert sie als

Learning Strategist Lernprogramme und -formate für die Good School in Hamburg, in der Führungskräfte fit für die digitale Transformation gemacht werden.



Eva Kudraß leitet den Sammlungsbereich Mathematik und Informatik im Deutschen Technikmuseum. In ihrer Jugend fand sie Computer langweilig, aber Mitte der 1990er Jahre eröffnete sich ihr ein neues Universum: das WWW. In einem muffigen Rechenzentrum der Universität Bremen

programmierte sie ihren ersten eigenen »Netzraum«. Das begleitende Seminar Bild.Text.Netz hatte sie eigentlich nur wegen des coolen Titels belegt, doch es begeisterte sie nachhaltig für Computertheorie und -geschichte.



Bernd Lüke ist Leiter des Sammlungsbereichs Kommunikation und Medien im Deutschen Technikmuseum. Weihnachten 1982 bekam er einen Weltempfänger geschenkt. Damit konnte man damals unter anderem Autotelefongespräche abhören, die unverschlüsselt über das B-Netz

gesendet wurden. Bernd Lüke bescherte das die ersten geheimnisvollen Begegnungen mit dem mobilen Netz. Aus dieser Zeit stammt sein heutiges Interesse an Kommunikationsnetzen und ihren historischen Entwicklungen.



Florian Müller ist wissenschaftlicher Volontär am Deutschen Technikmuseum. Als der erste PC seiner Familie geliefert wurde, öffnete er voller Vorfreude den Kofferraum des PKWs. Dabei fiel der riesige Röhrenmonitor heraus und schlug auf dem harten Boden auf. Der Bildschirm überlebte und

wurde mit Hilfe von Klebeband bandagiert. So war er noch jahrelang in Benutzung. Heute interessiert Florian Müller vor allem die Verschränkung von Technik und Wissenschaft.



Jörg Rüsewald ist Historiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Technikmuseum. Mit elf Jahren bekam er seinen ersten Computer, einen Amiga 500. Er verbrachte so manchen schönen Sommertag vor der Mattscheibe und programmierte kleine Spiele mit der

Programmiersprache BASIC. Als bei ihm zu Hause der erste Internetanschluss geschaltet wurde, trieb er die Telefonkosten der Familie in ungeahnte Höhen. Seitdem sind Netze und Computer in seinem Denken und Forschen präsent.