Informatik hat Geschichte!

Michael Fothe[1]

Abstract: Drei Themen aus der Geschichte der Informatik reichen aus, um einen Computer aus historischer Sicht „zusammenzubauen". Die Themen beziehen sich auf das Rechnen, Programmieren und Kommunizieren und sind für einen Informatikunterricht geeignet, in den sich Schülerinnen und Schüler aktiv einbringen und der zu kreativen Überlegungen anregen soll. Das Vorgehen betrachtet „Geschichte als Steinbruch"; Roland Stowasser tat dies für den Mathematikunterricht bereits in den 1970er-Jahren.

Keywords: Informatikgeschichte, Schulfach Informatik, Kreativität

1 Einleitung

Die Wissenschaft Informatik hat bereits eine (Vor-)Geschichte, die je nach Kriterium auf 50, 75 oder 300 Jahre oder sogar darüber hinaus festzulegen ist. Nachfolgend werden Meilensteine thematisiert, die gut zusammen passen und sich sinnvoll ergänzen. Das Kapitel 2.1 „Die erste Vier-Spezies-Rechenmaschine" besitzt nicht nur einen Bezug zum Leibniz-Jahr 2016, sondern auch zum Computer. Es beantwortet die Frage, wieso ein Computer überhaupt rechnen kann. Das Kapitel 2.2 „Die erste Konzeption eines frei programmierbaren Computers" befasst sich mit der Analytical Engine und damit mit Programmierung. Das Kapitel 2.3 „Optische Telegrafie im 19. Jahrhundert" thematisiert vor allem eine historische Telegrafenlinie in Preußen. Die drei Meilensteine widmen sich mechanischen Verfahren; hinzuweisen ist darauf, dass noch Zuses Z4 (sie ging 1950 an die ETH Zürich) ein mechanisches Speicherwerk hatte [Br15, S. 383].

2 Drei Meilensteine

2.1 Die erste Vier-Spezies-Rechenmaschine

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) war Philosoph, Mathematiker, Politiker, Ratgeber der Fürsten, Wissenschaftsorganisator, Münzsammler aus Leidenschaft, Historiker, Physiker, Techniker, Sprachforscher, Universalgelehrter. Leibniz war auch „der schöpferische Promotor des dualen Zahlensystems" [Ma00, S. 94]. Leibniz konstruierte prak-

[1] Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fakultät für Mathematik und Informatik, Ernst-Abbe-Platz 2, 07743 Jena, michael.fothe@uni-jena.de

tisch sein gesamtes Berufsleben lang Rechenmaschinen. Leibnizens sogenannte jüngere Maschine wurde 1876 in Göttingen wieder aufgefunden. Sie ist die erste Rechenmaschine, die alle vier Grundrechenarten mechanisch ausführt und befindet sich heute in der Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek in Hannover.

Im Informatikunterricht kann man diese Rechenmaschine thematisieren. Man kann z. B. an den Aufgaben 3 + 4, 3 + 5 und 3 + 6 besprechen, wie sie addiert. Dabei wird herausgearbeitet, dass man ein Zahnrad mit einer flexiblen Anzahl an Zähnen benötigt (in unserem Beispiel müssen 4, 5 oder 6 Zähne einstellbar sein). Damit ist man bei den grundlegenden Erfindungen von Leibniz im Zusammenhang mit Rechenmaschinen: Staffelwalze und Sprossenrad. (Die Leibniz-Rechenmaschine verwendet Staffelwalzen.) Man kann sich im Unterricht auch damit befassen, wie mehrstellige Zahlen addiert werden. Nehmen wir das Beispiel 467 + 234. In der ersten Phase wird gleichzeitig in allen Stellen addiert: $7 + 4 = {}^{1}1$, $6 + 3 = {}^{0}9$ und $4 + 2 = {}^{0}6$. Der primäre Übertrag, der sich bei der Addition von 7 + 4 ergibt, wird in der Stellung eines „Fünfhorns" gespeichert (siehe Abb. 1). In der zweiten Phase werden von rechts nach links eventuelle Überträge bearbeitet. Bei der Einerstelle passiert nichts. Bei der Zehnerstelle wird $9 + 1 = {}^{1}0$ gerechnet. Dies löst einen sekundären Übertrag aus, der nun seinerseits in einem anderen „Fünfhorn" gespeichert wird. Abschließend wird bei der Hunderterstelle 6 + 1 = 7 gerechnet. Primäre und sekundäre Überträge werden gleichartig behandelt, was ein wichtiges Konstruktionsprinzip dieser Rechenmaschine ist.

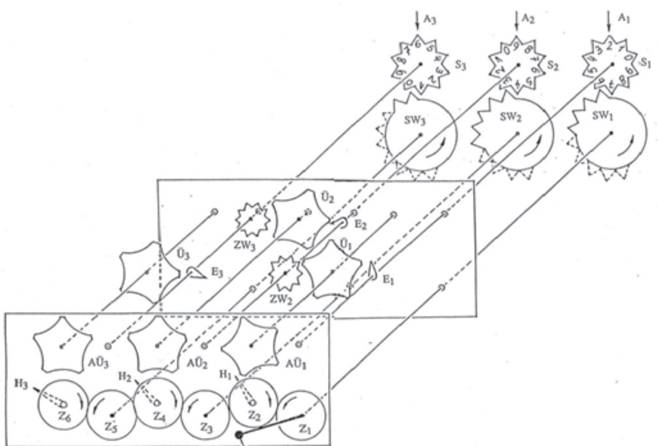

Abb. 1: Die deutlich sichtbaren „Fünfhörner" sind Speichelemente für primäre und sekundäre Überträge [Le93, S. 8].

Das Rechenwerk befähigt einen Computer zum Rechnen. Es muss also mindestens über einen Leistungsumfang verfügen, wie ihn die Leibniz-Rechenmaschine hat.

2.2 Die erste Konzeption eines frei programmierbaren Computers

Ada Countess of Lovelace (1815-1852) erkannte bereits Mitte des 19. Jahrhunderts relevante Möglichkeiten und Chancen des Computers – also 100 Jahre bevor der erste Computer fertiggestellt war und zum Einsatz kam [Fo16]. Lovelace übersetzte einen Aufsatz des Luigi Federico Menabrea (1809-1896) aus dem Französischen ins Englische und ergänzte den Text umfangreich mit sieben Anmerkungen. Zur Vorgeschichte: Charles Babbage (1791-1871), der Erfinder der Analytical Engine, nahm im Jahr 1840 an einer Versammlung italienischer Naturforscher in Turin teil und erläuterte dort Grundidee und Details zu deren Konzeption. Auf dieser Grundlage erarbeitete Menabrea seinen Aufsatz von 1842. Dessen englische Übersetzung ergänzt um Lovelaces Anmerkungen erschien dann 1843 und ist die erste vollständige Beschreibung der Analytical Engine und damit die erste Konzeption eines frei programmierbaren Computers [ML96]. Gebaut wurden von der Analytical Engine nur einige Teile. Auf das Computerprogramm zum Berechnen von Bernoulli-Zahlen, das Lovelace in der Anmerkung G entwickelt, ist besonders hinzuweisen. Nach derzeitigem Kenntnisstand handelt es sich um das „erste namhafte Programm“ für einen Computer [Kr15, S. 7].

Die Analytical Engine sollte über mindestens 200 Spalten verfügen. Die Spalten werden Variablen genannt und mit V_0, V_1, V_2,… bezeichnet. Es sind auch Dezimalbrüche vorgesehen (Festpunktzahlen). Spezifisches Merkmal der Analytical Engine ist die Verwendung von Lochkarten, mit deren Hilfe die Programmierung erfolgt. Die umfassenden Fähigkeiten der Analytical Engine beruhen auf dem Prinzip, das Joseph-Marie Jacquard (1752-1834) in dem von ihm erfundenen Webstuhl seit 1805 einsetzte. Lovelace schreibt dazu einen viel zitierten Satz [ML96, S. 335]:

> Am treffendsten können wir sagen, daß die Analytical Engine *algebraische Muster* webt, gerade so wie der Jacquard-Webstuhl Blätter und Blüten.

Es gibt Operations-, Zulieferungs- und Empfangskarten. Die Zulieferungs- und Empfangskarten sind Variablenkarten, da sie sich auf eine Spalte beziehen. Die *Operationskarten* (es gibt solche für die Addition, Multiplikation, Subtraktion und Division) versetzen die Mühle (so heißt das Rechenwerk der Analytical Engine) in den Additionszustand, Multiplikationszustand usw. Lovelace erläutert dazu [ML96, S. 345]:

> In jedem dieser Zustände ist der Mechanismus bereit, in der für diesen Zustand charakteristischen Weise zu arbeiten, und zwar mit jedwedem Zahlenpaar, das man in seinen Aktionsradius gelangen läßt.

Eine *Zulieferungskarte* führt dazu, dass die Zahl dieser Variablen in die Mühle übergeht, um dort verarbeitet zu werden. Bei Verwendung einer *erhaltenden Zulieferungskarte* kehrt der Wert, nachdem er benutzt worden ist, von der Mühle in die Variable zurück. Bei Verwendung einer *Null-Zulieferungskarte* wird die Variable auf Null gestellt. Eine *Empfangskarte* führt dazu, dass eine Variable eine Zahl aus der Mühle empfängt. Es kann sich dabei auch um eine Variable handeln, deren Wert zuvor mit einer Zulieferungskarte der Mühle übergeben wurde. Hat man mehrere Operationen der gleichen Art

(z. B. Multiplikationen) unmittelbar nacheinander auszuführen, so muss man nur eine Operationskarte einsetzen. Die Mühle bleibt im Multiplikationszustand. Nach jeweils zwei Zulieferungskarten und mindestens einer Empfangskarte wird eine Multiplikation ausgeführt. Gibt man mehrere Empfangskarten nacheinander an, so wird das Ergebnis der Operation in mehreren Variablen abgelegt. Ein Beispielprogramm (schematisch) enthält Abb. 2.

+	$^{E}V_4$	$^{N}V_6$	V_1	$^{N}V_4$	$^{N}V_5$	V_8

Abb. 2: Die Folge von Lochkarten steht für die Wertzuweisungen $V_1 = V_4 + V_6$, $V_6 = 0$, $V_8 = V_4 + V_5$, $V_4 = 0$, $V_5 = 0$. Die Pluskarte ist eine Operationskarte, die die Mühle in den Additionszustand versetzt. Die Variablenkarte mit dem „E“ ist eine erhaltende Zulieferungskarte, die Variablenkarten mit einem „N“ sind Null-Zulieferungskarten. Bei der ersten Addition ist V_1, bei der zweiten Addition V_8 die Empfangskarte.

Die Analytical Engine verfügt über die algorithmischen Grundstrukturen Verzweigung und Schleife. Bei der Verzweigung wird mithilfe einer Test-Operation entschieden, welche Lochkarten abgearbeitet werden. Menabrea deutet Schleifen an, indem er ausführt, dass eine Karte einen bestimmten Registrierapparat instruieren wird, eine Variable von n über n-1, n-2 usw. bis zur 0 herunterzuzählen. Jedes Mal erfolgt eine Multiplikation [ML96, S. 324]. Lovelace formuliert allgemeiner [ML96, S. 347]:

> Ziel dieser Erweiterung ist, die Möglichkeit zu eröffnen, zur Lösung eines Problems jede spezielle Karte oder Menge von Karten *beliebig oft hintereinander* einzusetzen.

Solche Schleifen sollten durch ein Rücklaufsystem realisiert werden.

Lovelace definiert [ML96, S. 363]:

> Eine Schleife, die n andere Schleifen – *eine in die andere verschachtelt* – umfaßt, wird eine Schleife (n+1)ter Ordnung genannt.

Im Informatikunterricht kann man darüber diskutieren, wie Verzeigung und Schleife mithilfe von Lochkarten realisiert werden könnten.

2.3 Optische Telegrafie im 19. Jahrhundert

Eine optische Telegrafenlinie ist ein einfaches Kommunikationssystem. Das Internet ist erheblich komplizierter, selbst wenn man sich auf Wesentliches konzentriert. Anhand der optischen Telegrafie können im Informatikunterricht Sachverhalte besprochen werden, die auch bei modernen Kommunikationssystemen relevant sind. Man denke an das Codieren, Komprimieren, Verschlüsseln, an das Erkennen und Korrigieren von Übertragungsfehlern, an das Nutzen von verschiedenen Kanälen beim Versenden einer E-Mail, an das Angeben des vom Sender verwendeten Zeichensatzes und an die Zeitsynchronisation von Rechnern über das Internet. Die Schülerinnen und Schüler können bereits in der Sekundarstufe I auf altersgemäßem Niveau für Fragestellungen sensibilisiert werden, die auch im Internet auftreten, auch wenn zuzeiten der optischen Telegrafie die Paketvermittlung noch gar nicht erfunden war. Die große Zeit der optischen Telegrafie waren die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts. Jürgen Osterhammel weist in seiner Weltgeschichte auf das Ziel der Telekommunikation hin, Informationen schneller reisen zu lassen als Menschen und Objekte, und auch darauf, dass *das* große neue Medium mit globalisierender Wirkung im 19. Jahrhundert der Telegraph war. Er stellt heraus, dass eine telegraphisch vernetzte Welt bereits um 1800, also *vor* der entsprechenden Technik, denkbar geworden war und zwar durch optische Signalübermittlung [Os09, S. 1024 f.]. Dieser Hinweis stellt die optische Telegrafie in eine Entwicklungslinie hinein und macht sie damit bedeutsam.

Abb. 3: Eine Briefmarke mit der Station 2 (St. Annenkirche in Berlin-Dahlem) und zwei Inspektoren, die die Telegrafenlinie beaufsichtigen.

Im Unterricht wird z. B. die optisch-mechanische Telegrafenlinie zwischen Berlin und der Rheinprovinz thematisiert, die das Königreich Preußen von 1833 bis 1849 unterhielt [He78]. Voll ausgebaut umfasste die Telegrafenlinie 62 Stationen (siehe Abb. 3). Sie wurde ausschließlich für staatliche und militärische Nachrichten genutzt. Im Informatikunterricht kann man Antworten zu folgenden Fragen besprechen [Fo10, S. 55-60]:

- Wie ist ein Zeichen aufgebaut?
- Wie lässt sich ein Zeichen beschreiben?
- Wie viele Zeichen gibt es?
- Wie wird eine Nachricht codiert?
- Welchen Informationsgehalt besitzt ein Zeichen?

- Wie groß war die Schrittgeschwindigkeit? Welches Datenvolumen wurde übertragen?
- Wie lange war ein Zeichen von Berlin nach Koblenz unterwegs?
- Wie wurden Übertragungsfehler festgestellt? Wie wurden diese korrigiert?
- Welche Uhrzeit galt auf der Telegrafenlinie?
- Wie wurde eine Depesche von Paris nach Berlin transportiert?

Die optische Telegrafie eignet sich als Gegenstand von Projektarbeiten. Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Aufgabe, ein Handbuch für die Kommunikation zu erarbeiten. Wesentlicher Bestandteil des Handbuchs wäre die Beschreibung des Protokolls für die Kommunikation. Dabei hätten die Schülerinnen und Schüler weitere relevante Fragen aufzuwerfen und Antworten zu finden, so u.a.:

- Wie ist mit Eildepeschen umzugehen?
- Wie ist vorzugehen, wenn eine normale Depesche oder sogar eine Eildepesche wegen Nebels nicht weitergeleitet werden kann?
- Wie ist in einer Station zu verfahren, wenn sich zwei Depeschen begegnen – die eine kommt aus Berlin, die andere aus Koblenz? Oder lässt sich diese Situation sogar vermeiden?
- Wie ist dem Empfänger einer Depesche mitzuteilen, ob bei der Codierung das Code-Buch oder das Telegrafistenwörterbuch verwendet wurde?
- Wie erfolgt die Adressierung einer dienstlichen Depesche an eine andere Station?

Bei alledem erfinden die Schülerinnen und Schüler ein Kommunikationssystem teilweise neu. Sie stellen dabei Überlegungen an, die bereits vor 200 Jahren angestellt wurden.

Man kann verschiedene Telegrafenlinien vergleichen, so z. B. hinsichtlich des Informationsgehalts eines Zeichens [BM95]. Ein „preußisches Zeichen" wurde aus sechs Telegrafenflügeln gebildet (drei Flügelpaare); jeder Flügel konnte vier Stellungen einnehmen. Ein Zeichen hat also 12 Bit Information. In einem englischen System hatte man sechs Klappen, die jeweils zwei Stellungen einnehmen konnten. Der Informationsgehalt eines Zeichens beträgt daher 6 Bit. Mit zwei „englischen Zeichen" kann man also genau die gleiche Informationsmenge wie mit einem „preußischen Zeichen" übertragen. Im französischen System hatte man einen langen Balken („Regulator") und an ihm befestigt zwei kurze Arme („Indikatoren"). Regulator und Indikatoren konnten jeweils verschiedene Stellungen einnehmen (man konnte sie in 45°-Schritten verstellen). Von 256 Zeichen wurden nur 92 als Grundzeichen verwendet; die anderen Zeichen stellten sich als zu schlecht unterscheidbar heraus. Zwei Grundzeichen wurden hintereinander gesendet, sodass man 92^2 Möglichkeiten hatte (also 8.464). Der Informationsgehalt eines Doppelzeichens beträgt rund 13 Bit.

3 Ausblick

Man kann sicher weitere Arrangements von informatikgeschichtlichen Themen entwickeln und im Unterricht einsetzen. Ein Beispiel dafür wäre das Thematisieren des Kellers mit seinen diversen Anwendungen [FW15].

Literaturverzeichnis

[BM95] Beyrer, K.; Mathis, B.-S. (Hrsg.): So weit das Auge reicht. Die Geschichte der optischen Telegrafie; eine Publikation des Museums für Post und Kommunikation, Frankfurt am Main, anlässlich der gleichnamigen Ausstellung. Braun, Karlsruhe 1995.

[Br15] Bruderer, H.: Meilensteine der Rechentechnik. Zur Geschichte der Mathematik und der Informatik. Walter de Gruyter, Berlin/Boston 2015.

[Fo10] Fothe, M.: Kunterbunte Schulinformatik – Ideen für einen kompetenzorientierten Unterricht in den Sekundarstufen I und II. LOG IN Verlag, Berlin 2010.

[Fo16] Fothe, M.: Die berühmten Anmerkungen – Zum 200. Geburtstag von Ada Countess of Lovelace. LOG IN, Nr. 183/184, S. 12–18, 2016.

[FW15] Fothe, M.; Wilke, T. (Hrsg.): Keller, Stack und automatisches Gedächtnis – eine Struktur mit Potenzial. Lecture Notes in Informatics – Thematics. Band T-7, Bonn 2015.

[He78] Herbarth, D.: Die Entwicklung der optischen Telegrafie in Preussen. Landeskonservator Rheinland. Arbeitsheft 15. Rheinland-Verlag, Köln 1978.

[Kr15] Krämer, S. (Hrsg.): Ada Lovelace. Die Pionierin der Computertechnik und ihre Nachfolgerinnen. Wilhelm Fink, Paderborn 2015.

[Le93] Lehmann, N. J.: Neue Erfahrungen zur Funktionsfähigkeit von Leibniz‘ Rechenmaschine. Studia Leibnitiana, Band XXV/2, S. 1-15, 1993.

[Ma00] Mackensen, L. v.: Die ersten dekadischen und dualen Rechenmaschinen. In (Popp, K.; Stein, E. Hrsg.): Gottfried Wilhelm Leibniz. Das Wirken des großen Universalgelehrten als Philosoph, Mathematiker, Physiker, Techniker. Universität; Schlütersche, S. 85-100, Hannover 2000.

[ML96] Menabrea, L. F.; Lovelace, A.: Grundriß der von Charles Babbage erfundenen Analytical Engine. In (Dotzler, B. Hrsg.): Babbages Rechen-Automate. Ausgewählte Schriften. Computerkultur Band VI. Springer, Wien/New York, S. 309-381, 1996.

[Os09] Osterhammel, J.: Die Verwandlung der Welt. Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts. Beck, München 2009.