

Vorwort

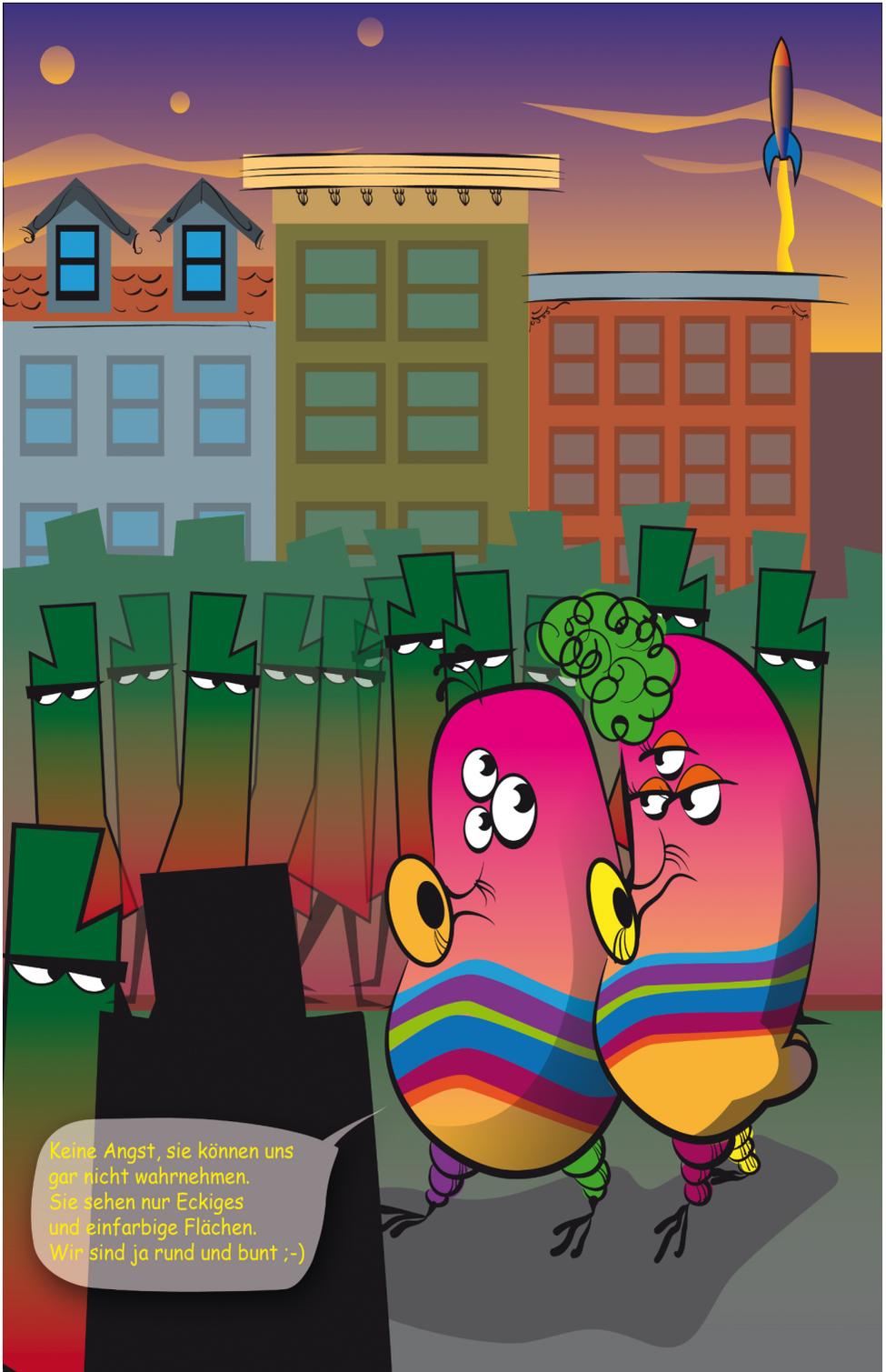
Sehen Sie, liebe Leserinnen und liebe Leser, in der Entwicklung der aktuellen Computertechnologien den Wald vor lauter Bäumen nicht mehr? Nehmen Sie die großen technischen Umwälzungen unserer Zeit nicht mehr im im Kontext gesellschaftlicher Entwicklung wahr (s. Abb. **„eingeschränkte Wahrnehmung“** rechts)? Dieses Buch will das ändern. Es soll nicht nur einen tieferen Einblick in die nur schwer nachvollziehbare Entwicklung künstlicher Intelligenz aufzeigen, sondern eine Einordnung ihrer Möglichkeiten in dem Gesamtumfeld biologischer Leistungsfähigkeit und evolutionärer Mechanismen geben. Das Buch zeigt zunächst die Bäume im Detail, sodass man ihre Fähigkeiten erkennt, und bringt dann den ganzen Wald zum Vorschein – und wie er die Landschaft, unsere Gesellschaft, verändert.

Einerseits kommt die Computertechnik an eine Grenze. Weitere Verkleinerungen der Strukturen in einem Computerchip sind bald nicht mehr möglich. Andererseits finden sich neue Lösungen, die gerade auch für die Aufgaben, die Computer bislang nicht gut leisten konnten, und für die biologische Gehirne sehr geeignet sind: Mustererkennung, Vorhersage etc. Dafür entwickelt man informationstechnische Strukturen, die Ähnlichkeit mit informationsverarbeitenden Strukturen in der Natur haben, eben etwa biologische Gehirne, aber auch zum Beispiel evolutionäre Prozesse.

Diese Entwicklung verfolge ich seit vielen Jahren. Oftmals wurde über künstliche Intelligenz spekuliert, ihr Einsatz als „bald bevorstehend“ völlig falsch und viel zu früh eingeschätzt. Der Grund dafür lag einerseits in der doch noch relativ leistungsschwachen Computern der 1970er, 1980er und auch noch 1990er Computer, andererseits in der Unterschätzung der Komplexität von Aufgaben etwa der Sprach- oder Bildererkennung. Seit dem Einsatz von Convolutional Neural Networks auf spezialisierten Grafikprozessoren um 2012 hat die Verbreitung künstlicher Intelligenz jedoch rasant an Fahrt aufgenommen.

Seit kurzem zeichnen sich nun Entwicklungen ab, die an Leistungsfähigkeit alles in den Schatten stellen werden, was bislang mit Computertechnik in Verbindung gebracht wurde, auch die schon vorhandenen Erfolge in künstlicher Intelligenz. Diese beruhen typischerweise auf Maschinen von riesigen Ausmaßen und ebensolchem Energiehunger. Siri, Alexa, Cortana sitzen ja nicht im Handy oder im Desktop-Computer, sondern führen zu industriellen Komplexen datenverarbeitender Strukturen. Die neuesten Entwicklungen neuromorpher Hardware lassen es aber für möglich erachten, dass bald komplizierte Mustererkennungen, Vorhersagen etc. wirklich lokal ablaufen. Der wichtigste Technologietreiber ist hier wohl die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen. Zumindest teilautonome andere Geräte dürften bald folgen, Roboter inbegriffen – vom Smartphone mit integriertem Sprachverständnis gar nicht zu sprechen.

Und es steht eine weitere Revolution an, die Computerleistungen verspricht, die man sich bislang gar nicht vorstellen kann. Sie wird in der



Keine Angst, sie können uns
gar nicht wahrnehmen.
Sie sehen nur Eckiges
und einfarbige Flächen.
Wir sind ja rund und bunt :-)

Speerspitze geführt von den Entwicklungen der Quantencomputer, auch von photonischen Computern. Alles zusammengetragen führt deren Leistungsfähigkeit nahtlos zu Überlegungen, die Ethik, Evolution und Bewusstsein betreffen.

Grundsätzlich liegen den Ausführungen möglichst sachliche, vorurteilsfreie Einschätzungen zugrunde. Die im letzten Kapitel des Buchs beschriebenen Überlegungen und Thesen sind allerdings meinungsgeprägt. Diese Thesen sind – wie es für Thesen charakteristisch ist – nicht wissenschaftlich abgesichert; dennoch bin ich der Überzeugung, dass sie einen Beitrag zur Bewertung zukünftiger Entwicklungen geben können.

Meine Überlegungen hatten ihren Ursprung in einer sinnfreien Kirchenindoktrination. Eltern und Großeltern waren von Geburt an neuapostolisch; mehrfach wöchentlich wurde ich reichlich mit Glaubensbotschaften überschüttet.

Dennoch entwickelte sich in mir kein tiefer, emotionaler Glauben. Als ich dann etwa zwölf Jahre alt war, gab es deutliche Fragen nach dem Warum und Wieso, auch Abweichungen von Handlungsvorgaben: Fernseh-Schauen, Besuche von Rock-Konzerten oder Tanzschule waren gewünscht, obwohl sie von der Kirche als von Gott fortbringend (vom Teufel angeboten) klassifiziert wurden. Meine Unzufriedenheit mit Kirche und Glauben gipfelte darin, dass ich mit etwa 16 oder 17 Jahren auch einmal eine Sprechstunde eines hohen neuapostolischen Würdenträgers aufsuchte, Bischof Paul Brückner in meiner Geburtsstadt Herne, und ihn mit Fragen konfrontierte, die mich beschäftigten. Schon früh entwickelte ich Interesse an Technik und Wissenschaft. Bereits mit neun Jahren las ich regelmäßig ein Magazin, das eine große Bandbreite zwischen Technik, Wissenschaft, Auto, Foto und Film, Radio und Tonband sowie Bastelarbeiten abdeckte: „Hobby, das Magazin der Technik“. Zu meinen Lieblings-Spielsachen gehörten schon ab 1963 „Kosmos“-Kästen (s. Abb.), zunächst ein „Elektromann“, später verschiedene weitere Radio- und Elektronik-

Prospektseiten zu Kosmos-Kästen von 1963. Auch wenn die Preise nicht niedrig waren – gerade für Arbeiterfamilien (siehe Preisliste links), so weckten und stärkten die Experimentierkästen aber bei vielen Kindern das Interesse an Naturwissenschaft und Technik – auch bei mir.

PREISLISTE
gültig ab 1. März 1963. Änderungen vorbehalten

LEHRSPIELEZUG 79,-

| | |
|--|---------------|
| Elektromann | DM 25,80 |
| All-Chemist | DM 27,60 |
| Radlmann | DM 39,60 |
| Röhre dazu | DM 6,90 |
| Optik- u. Fotomann | DM 36,60 |
| Technikum | DM 36,60 |
| Kosmoman | DM 38,10 |
| Bautechniker | DM 38,40 |
| Ergänzungspackungen mit Bausteinen | DM 7,- u. 3,- |

EXPERIMENTIER-BAUKÄSTEN

| | |
|----------------------------|----------|
| Radio-Elektronik A | DM 94,20 |
| Einführungsbuch dazu | DM 4,20 |
| Ergänzungskasten B | DM 54,- |
| Ergänzungskasten C | DM 54,- |
| Elektronik | DM 84,- |
| Chemie | DM 120,- |
| Mechanik | DM 114,- |
| Optik | DM 84,- |

SELBSTBAUBAUWERKE

| | |
|------------------------------------|----------|
| Selbstbau-Haareferrohr | DM 39,- |
| Selbstbau-Mikroskop | DM 39,- |
| Selbstbau-Himmelfernrohr | DM 39,75 |
| Röhre dazu | DM 9,80 |
| Stativ mit Gelenk | DM 69,80 |
| Sucherfernrohr mit Halterung | DM 27,90 |

SONSTIGES

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Konstruktionspielzeug Stecofix | DM 18,- |
| Transformator zum Radlmann | DM 16,80 |
| Gleichrichter zum Radlmann | DM 15,20 |
| Netzsendegerät u. Radlmann | DM 16,- |
| KOSMOS-Taschenmikroskop | DM 16,50 |
| Der kleine Späher | DM 6,90 |

*Für Besitzer des A-Kastens nur DM 4,-
Gutschein liegt den Kästen bei.

NR. 60-00/13/036320

Lieber junger Freund!

Die große Welt der Technik, in der wir heute leben, ist aus tausenderlei kleinen Erfindungen und Entdeckungen entstanden. Auch Du kannst solche Entdeckungen selbst machen. Viele sind in den Anleitungsbüchern, die zu den Kosmos-Kästen gehören, sehr spielerisch beschrieben, andere werden Dir selbst bald einfallen, wenn Du erst durch diese Kästen ein richtiger junger Fachmann geworden bist. Die ganze Welt der Technik und der Naturwissenschaften steht Dir offen, denn für alle Gebiete gibt es solche Experimentierkästen. Du findest sie hier alle abgebildet und beschrieben, jeder Kasten ein vollständiges kleines Labor, mit dem Du viele interessante Maschinen, richtig arbeitende Geräte oder Versuchsanordnungen selbst nachbauen kannst. Experimentiere und forsche! Ist durch die KOSMOS-Kästen zu seinem schönen Beruf gekommen!



Liebe Eltern!

Die technisierte und automatisierte Umwelt weicht in der heutigen Jugend erstaunlich frühzeitig das Interesse für physikalische und chemische Zusammenhänge. Das ist auch gut so, denn die Zukunft unserer Kinder wird ein Leben mit und in der Technik sein. Je früher sie damit vertraut werden, um so leichter haben sie es später. Wenn also ihr Junge sich für Elektrizität, Maschinen oder Bau Technik zu interessieren beginnt, wenn das Mater. Naturgenie erst für Chemie oder Biologie, dann machen Sie mit einem Experimentierkasten bestimmt eine sehr große Freude. Und Sie hegen damit gleichzeitig der Gefahr vor, daß sich die Kinder unangelegentlich mit unkontrollierbarem Material verschaffen, das nicht immer harmlos ist. Mit den KOSMOS-Lernspielzeugkästen können sie nicht nur garantiert gefahrlos experimentieren, sondern haben daneben eine gute Anleitung und Erklärung. Die so gewonnenen Fachkenntnisse machen sich in Schule und Beruf bald vielfach bezahlt.

KOSMOS LEHRSPIELEZUG

Das ist der **ELEKTROMANN** von mir und dem besten Kasten!

120 Experimente
mit 100 Bausteinen



Für Jungen von 10 - 15

Elektrizität – ist das nicht für jeden Jungen ein Wort voll lockender Schmelzwass? Von Kind an kennt er ja die Wirkungen dieser wunderbaren Kraft: Licht und Wärme spendet sie, treibt Tümpel, Telefon, Radio und hunderte Staubsauger.

Hier tritt alles sinnvoll beisammen, was ein Junge braucht, um beständig und experimentiernd selbst in dieses interessante Gebiet der Technik einzudringen. Dabei gibt es keine Gefahren, denn einzige Stromquelle ist und bleibt die beigefügte Taschenbatterie. In der ausführlichen Anleitung erklärt Dr. W. Frohlich vom ersten Aufbauschritt eines Lichtbogens, über Köpfe, Messergang und Telefon, bis zum Start des selbstkonstruierten Motors alles ganz genau, und zwar mit vielen Zeichnungen und in einem SHI, der schon Zehn- bis Zwölftklässler verständlich ist.

Mit 48 Bauteilen
Anleitung, darin
83 Abbildungen



Kästen. Dann interessierte mich auch die Physik, und ich begann, mich über grundsätzliche Fragen zu Kosmos, Zeit und Raum zu informieren.

In einer seiner offiziellen Sprechstunden stellte ich dem Bischof ein paar Fragen, u. a. zu einem wiederholt bei Predigten vorgebrachten Beispiel: Menschen hätten ein Weizenkorn nachgemacht. Das hätte wie ein natürliches ausgesehen, sei aber nicht zu einem Halm aufgegangen. Ich meinte dazu: Dann muss man etwas falsch gemacht haben. Wenn etwas gleich ist, muss es auch gleich funktionieren.

Insbesondere kann ich mich an eine Frage erinnern, die mein naturwissenschaftliches Interesse widerspiegelte – und den Bischof wohl überraschte wie auch etwas ratlos machte. Ich zitierte, in der Bibel hieße es ja, die von Jesus letztendlich Auserwählten würden Dinge sehen, die nie eines Menschen Auge gesehen hätte. Und ich demonstrierte dann: „Wenn ich diesen Aschenbecher hier auf dem Tisch anders hinstelle, hat dieses Situation zusammen mit mir und Ihnen hier auch noch niemand gesehen. So etwas kann ja mit Dinge sehen, die nie eines Menschen Auge gesehen hat nicht gemeint sein. Ist es möglich, dass wir dann vierdimensional sehen oder Raum und Zeit überblicken können, also etwas, was über unsere derzeit realen Möglichkeiten hinausgeht?“ Um klar zu sagen: Zu keiner meiner Fragen – auch nicht die nach mangelnden weiblichen Würdenträgern – wusste der Bischof eine zufriedenstellende Antwort.

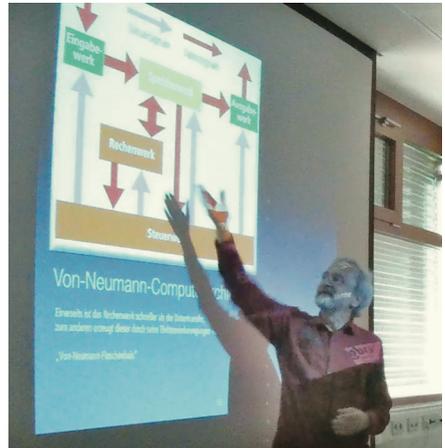
In der Kirche wurde auch wiederholt gepredigt, Himmel sei als „Himmel der Gemeinschaft“ zu deuten. Nun, vielleicht verwirklicht sich das ja einmal, wenn es gelingen sollte, Gehirne miteinander zu verbinden, seien es biologische untereinander oder solche zusammen mit künstlichen...

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von informationsverarbeitenden Systemen stehen auf jeden Fall mehr denn je offen, auch wenn es nicht ein so einfaches Verfahren mehr gibt wie die Strukturverkleinerung. Das damit verbundene exponentielle Wachstum der Computerleistung in den letzten rund 60 Jahren dürfte nicht viel weitergehen. Dafür eröffnen sich neue Wege mit ungleich komplexeren Strukturen. Und Komplexität ist das, was letztlich auch zu einem Bewusstsein führen könnte.

Lassen Sie sich also von der geschichtlichen Entwicklung der Rechenmaschinen tragen, Einblicke ins Gehirn werfen, um dann neueste Computerarchitekturen kennenzulernen – und das evolutionäre Geschehen insgesamt zu erkennen.

Gaiberg bei Heidelberg, im August 2020
Rolf Kickuth

Meiner lieben Familie gewidmet: Angela, Marvin, Alison



**Vortrag über KI
2019 in Heidelberg.**

1 Keine Inspiration: Die Rechenmaschine

Die Erfindung des Computers war keine Inspiration – anders als es der Titel dieses Buchs für neue Computerarchitekturen nahelegt, sondern aus unmittelbarem Bedarf heraus geboren. Für ganz frühe Konstrukte waren astronomische Beobachtungen der Anlass, viele Rechenoperationen auszuführen. Ein besonderer Bedarf für schnelles, umfangreiches Rechnen entstand aber erst im 20. Jahrhundert beim Militär, und daher gab es auch die finanziellen Mittel dafür. Es galt beispielsweise, optimale Geschossbahnen für weitreichende Kanonen zu berechnen, oder auch verschlüsselte Nachrichten zu knacken. Daher entwickelte man Rechenmaschinen, die zunächst im wörtlichen Sinne mechanisch und genau Zahlen nach Rechenvorschriften miteinander verrechneten.

1.1 Die Begriffe „Computer“ und „Inspiration“

Was die Ausdrücke „Computer“ sowie „Inspiration“ bedeuten, erschließt sich in einem ersten Schritt, wenn man sich die deutsche Übersetzung der lateinisch-stämmigen Wörter ansieht. Dabei wird auch deutlich, dass ein Computer zunächst nichts mit Inspiration zu tun hat.

1.1.1 Computare: Eine Einschränkung von „Denken“

Das lateinische Wort „computare“ heißt zusammenrechnen, berechnen, hat seine Wurzeln in „putare“: meinen, denken, überlegen, sich vorstellen. Die Vorsilbe „con-“ (auch com-, cor- oder col-) bedeutet „zusammen“ oder „gemeinsam“ und schränkt damit quasi die mit „putare“ gegebene Funktionen ein. Berechnungen – das Computing – wurden für die Menschen wichtig beim Betrachten der Sterne und dem Bedürfnis, deren Bewegungen, die ja auch etwas mit der irdischen Zeitmessung zu tun haben, vorauszuberechnen. In der frühen Kirchengeschichte erfolgte eine Ablösung des jüdischen Kalenders durch den Julianischen Kalender.

Die hieraus resultierenden Berechnungsschwierigkeiten des Osterdatums dauerten bis zum Mittelalter an und waren Gegenstand zahlreicher Publikationen, häufig betitelt mit „Computus Ecclesiasticus“. Der früheste Text, in dem das Wort Computer isoliert verwendet wird, stammt von 1613: Das Oxford English Dictionary von 2008 sagt in dem Artikel zu „computer“: “1613 ‘R. B.’ Yong Mans Gleanings 1, I haue read the truest computer of Times, and the best Arithmetician that euer breathed, and he reduceth thy dayes into a short number.”

Der englische Begriff „computer“ war zunächst eine Berufsbezeichnung für – meist weibliche – Hilfskräfte, die immer wiederkehrende Berechnungen z. B. für die Astronomie, für die Geodäsie oder für die Ballistik ausführten. In größeren Kreisen bekannt wurde diese Bedeutung von „Computer“ durch den Oskar-nominierten Hollywood-Film „Hidden Figures – Unerkannte Heldinnen“ von 2016. Er handelt von den drei afro-

amerikanischen Mathematikerinnen Katherine Johnson (1918-2020), Dorothy Vaughan (1910-2008) und Mary Jackson (1921-2005), die maßgeblich am Mercury- und am Apollo-Programm der National Aeronautics and Space Administration (NASA) beteiligt waren. Die bei der NASA angestellten schwarzen Mathematikerinnen hatten zur Zeit der Gründung der Weltraumorganisation aufgrund der in den USA praktizierten Rassentrennung ein von ihren weißen Kolleginnen gesondertes Büro. Sie konnten an andere Abteilungen „ausgeliehen“ werden. Frauen wurden als „Computer in Röcken“ und Schwarze als „colored computers“ bezeichnet.

1.1.2 Inspirare: Mit Leben füllen

Inspiration leitet sich vom lateinischen „spirare“ für hauchen, atmen, leben ab; die Vorsilbe in- ist hier selbsterklärend: Etwas mit Leben, Inhalt, Bedeutung füllen. Das war für die frühen Computer nicht angedacht. Sie sollten wie angemerkt einfach Geschossbahnen errechnen oder Geheimcodes knacken. Im Deutschen nannte man sie lange Zeit ja auch „Rechenmaschinen“ oder abwertend „Rechenknechte“. Mit dem Begriff der Maschine verbindet sich auch die Vorstellung eines oder mehrerer wiederholt ausgeführter, abstumpfender, mechanischer Vorgänge. Was nimmt es Wunder, dass die ersten Rechenmaschinen tatsächlich mechanische Konstrukte waren, teils so kompliziert, dass sie erst lange nach ihrem ersten Entwurf tatsächlich gebaut werden konnten.

1.2 Ein Blick in die Historie der Rechner

Rechenhilfsmittel sind keine Erfindung der Neuzeit. Schon seit Urzeiten nutzen Menschen einen Abakus (s. Abb.). Das lateinisierte, griechische Wort (ábakos) bedeutet „Tafel“ oder „Brett“ womöglich sogar – aus einer semitischen Sprache abgeleitet – „Staub wischen“. Das deutet auf die Bedienung hin: Es ist ein Rechenrahmen mit auf dünnen Stangen oder Fäden aufgefädelt Kugeln oder Steinen. Durch ein Verschieben der Steine kann man Grundrechenarten ausführen. Der Abakus ist vermutlich sumerischen Ursprungs; er tauchte etwa zwischen 2700 und 2300 v. Chr. auf. Natürlich kam irgendwann der Wunsch auf, sich wiederholende Rechenvorgänge – etwa gleichartige Additionen zum Erzeugen einer Multiplikation – zu automatisieren.

Schüler einer holländischen Grundschulklasse lernen den Umgang mit dem **Abakus**.



1.2.1 Mechanismus von Antikythera

Ein ganz spezielles mechanisches Rechenwerk gab es schon im Jahre 80 vor Christus: Das Räderwerk von Antikythera (s. Abb.) ist ein astronomisches Gerät, dessen ausgefeilte Technik die heutige Wissenschaft in Erstaunen versetzt. Astronomische Berechnungen wa-



Teil des **Mechanismus von Antikythera**, die Vorderseite des Fragments A mit vierspeichigem Hauptantriebsrad. Er ist heutzutage in 82 Einzelteile zerfallen.

Nachbau des Mechanismus von Antikythera von Mogi Vicentini, 2007. Vorne und hinten – durch das Acrylglas hindurch zu sehen – sind Skalen für astronomische Konstellationen angebracht.

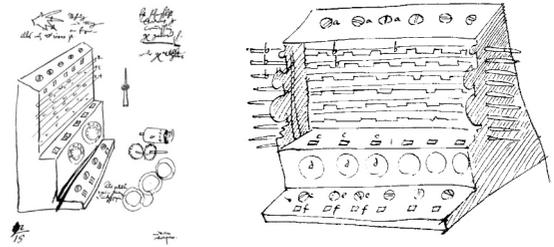


ren für die Menschen sehr früh wichtig, weil darauf die Kalender beruhen. Ostern 1900 fand der Schwammtaucher Elias Stadiatis das Wrack eines griechischen Handelsschiffs vor Antikythera in einer Tiefe von etwa 42 Metern. Zahlreiche Statuen und andere Kunstschätze wurden geborgen und in das Archäologische Nationalmuseum nach Athen gebracht. Dort entdeckte der Archäologe Valerios Stais (1857-1923) am 17. Mai 1902 in einem Klumpen aus korrodiertem Material ein Zahnrad: Teil des Mechanismus von Antikythera. Er ist heutzutage in 82 Einzelteile zerfallen.

Der Mechanismus weist 30 erhaltene Zahnräder auf. Zum vollständigen Funktionieren des Mechanismus sind jedoch noch fünf weitere nicht erhaltene Zahnräder notwendig. Die Zähne aller Zahnräder wurden in gleicher Form – gleichschenklige Dreiecke – mit gleichem Winkel (60 Grad) und in derselben Größe, circa 1,5 mm, angefertigt, so dass jedes Zahnrad in jedes andere Zahnrad ineinander greifen konnte. Heutige Zahnräder weisen keine Dreiecksverzahnung, sondern eine Evolventen- oder Zykloidenverzahnung auf, die gleichmäßigere Laufeigenschaften garantiert. Die mehr als 30 Zahnräder waren in verschiedenen Getrieben angeordnet. Es gab normale Getriebe, epizyklische Getriebe (Planetenge triebe) und sogar ein Differentialgetriebe, dessen Erfindung bislang erst auf das 13. Jahrhundert nach Christus datiert wurde.

Nach Analyse des Mechanismus mit Hilfe spezieller Computertomografie im Jahr 2006 weiß man, dass

es sich um ein kompliziertes mechanisches Kalendarium handelt (s. Abb.). Dabei wurde keine neue Astronomie aufgestellt; man behielt das geozentrische Weltbild bei. Der Mechanismus bildete dennoch auch die beobachteten Unregelmäßigkeiten der Planetenbahnen nach. Da die Übersetzungen der Zahnräder Rechenoperationen (Multiplikationen und Divisionen) durchführen, handelt es sich um einen Analogrechner. Damit ist der Mechanismus von Antikythera der älteste erhaltene Analogrechner der Welt. Es werden aber nicht wie beim Rechnen zwei oder mehrere Größen miteinander verrechnet. Vielmehr lassen sich nur feste Beziehungen zwischen mehreren zeitlich periodisch veränderlichen Größen darstellen. Zu einem für einen Zeitpunkt vorgegebenen Wert der einen Größe zeigt der Mechanismus automatisch den Wert der anderen Größen an.



Originalzeichnungen von Wilhelm Schickard zu seiner Rechenmaschine. Anders als bei der Pascal-Maschine kann man die Einstellräder des Addierwerks bei Schickard zur Subtraktion einfach rückwärts drehen.

1.2.2 Rechenmaschinen von Schickard und Pascal

Später wollte man genauere Rechenoperationen durchführen können. Im Jahre 1623 schrieb der deutsche Astronom und Mathematiker Wilhelm Schickard (1592-1635) in einem Brief an seinen Wissenschaftskollegen Johannes Kepler (1571-1630), er hätte eine Rechenmaschine entworfen und fertigte dazu eine Zeichnung an (s. Abb.). Die Maschine soll auch einmal gebaut worden sein, ging aber wohl bei einem Hausbrand verloren. Sie soll Additionen, Subtraktionen und auch Multiplikationen sowie Divisionen ausgeführt haben können. 1960 wurde sie rekonstruiert (s. Abb.).

Nachbau von Wilhelm Schickards Rechenmaschine. Sie wurde 1960 rekonstruiert und ist in Tübingen zu sehen, wo Schickard studierte und lehrte.

1645 führte der französische Mathematiker und Physiker Blaise Pascal (1623-1662) seine Rechenmaschine „Pascaline“ vor. Er fertigte einige dieser Maschinen und versandte sie an europäische Fürstenthäuser. Daher existieren heute noch Original-Pascalinen, und man streitet sich, ob Schickard oder Pascal der Erfinder der Rechenmaschine war...



1.2.3 Rechenmaschinen von Babbage

Später entwickelte man sogar mechanische Rechenwerke, mit de-