

Turing | Computing Machinery and Intelligence

Great Papers Philosophie

Alan M. Turing
Computing Machinery
and Intelligence
Können Maschinen denken?

Englisch / Deutsch

Aus dem Englischen übersetzt und herausgegeben
von Achim Stephan und Sven Walter
Unter Mitarbeit der Mitglieder des
Turing-Studienprojektes

Reclam

2., durchgesehene und ergänzte Auflage

RECLAMS UNIVERSAL-BIBLIOTHEK Nr. 14464
2021, 2023 Philipp Reclam jun. Verlag GmbH,
Siemensstraße 32, 71254 Ditzingen

Copyright © 1950, Oxford University Press

Gestaltung: Cornelia Feyll, Friedrich Forssman
Druck und Bindung: Esser printSolutions GmbH,
Untere Sonnenstraße 5, 84030 Ergolding
Printed in Germany 2023

RECLAM, UNIVERSAL-BIBLIOTHEK und
RECLAMS UNIVERSAL-BIBLIOTHEK sind eingetragene Marken
der Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG, Stuttgart
ISBN 978-3-15-014464-0

Auch als E-Book erhältlich

www.reclam.de

Computing Machinery and Intelligence

Können Maschinen denken?

COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

BY A. M. TURING

1. *The Imitation Game.*

I PROPOSE to consider the question, 'Can machines think?' 5
This should begin with definitions of the meaning of the terms 'machine' and 'think'. The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words 'machine' and 'think' are to be found by examin- 10
ing how they are commonly used it is difficult to escape the conclusion that the meaning and the answer to the question, 'Can machines think?' is to be sought in a statistical survey such as a Gallup poll. But this is absurd. Instead of attempting such a definition I shall replace the question by 15
another, which is closely related to it and is expressed in relatively unambiguous words.

The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the 'imitation game'. It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interro- 20
gator (C) who may be of either sex. The interrogator stays in a room apart from the other two. The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman. He knows them by la-

KÖNNEN MASCHINEN DENKEN?

ALAN M. TURING

1. *Das Imitationsspiel.*

- ICH SCHLAGE VOR, dass wir uns mit der Frage »Können
5 Maschinen denken?« auseinandersetzen. Am Anfang einer solchen Betrachtung sollten eigentlich Definitionen der Begriffe »Maschine« und »denken« stehen. Man könnte diese Definitionen so formulieren, dass sie so weit wie möglich den normalen Gebrauch dieser Worte widerspiegeln.
10 Doch diese Haltung ist gefährlich. Will man die Bedeutung der Wörter »Maschine« und »denken« am allgemeinen Sprachgebrauch ausrichten, kommt man kaum umhin, die Bedeutung und die Antwort auf die Frage »Können Maschinen denken?« auf dem Wege einer statistischen Erhebung wie zum Beispiel einer Gallup Poll zu ermitteln. Aber
15 das ist absurd. Anstatt mich um solch eine Definition zu bemühen, werde ich daher die Frage durch eine andere ersetzen, die eng mit ihr verwandt und in recht eindeutigen Worten formuliert ist.
20 In seiner neuen Form lässt sich das Problem als ein Spiel beschreiben, das wir als »Imitationsspiel« bezeichnen wollen. Es wird von drei Personen gespielt, einem Mann (A), einer Frau (B) und einem Fragesteller (C), der männlichen oder weiblichen Geschlechts sein kann. Der Fragesteller
25 befindet sich in einem separaten Raum. Ziel des Spiels für den Fragesteller ist es festzustellen, wer von den anderen beiden der Mann und wer die Frau ist. Er kennt sie zunächst

bels X and Y, and at the end of the game he says either 'X is A and Y is B' or 'X is B and Y is A'. The interrogator is allowed to put questions to A and B thus:

C: Will X please tell me the length of his or her hair?

Now suppose X is actually A, then A must answer. It is A's [434] object in the game to try and cause C to make the wrong identification. His answer might therefore be

'My hair is shingled, and the longest strands are about nine inches long.'

In order that tones of voice may not help the interrogator the answers should be written, or better still, typewritten. The ideal arrangement is to have a teleprinter communicating between the two rooms. Alternatively the question and answers can be repeated by an intermediary. The object of the game for the third player (B) is to help the interrogator. The best strategy for her is probably to give truthful answers. She can add such things as 'I am the woman, don't listen to him!' to her answers, but it will avail nothing as the man can make similar remarks.

We now ask the question, 'What will happen when a machine takes the part of A in this game?' Will the interrogator decide wrongly as often when the game is played like this as he does when the game is played between a man and a woman? These questions replace our original, 'Can machines think?'

als X und Y. Am Ende des Spiels sagt er entweder »X ist A und Y ist B« oder »X ist B und Y ist A«. Der Fragesteller darf an A und B Fragen stellen wie:

C: Würde mir X bitte sagen, wie lang sein oder ihr Haar ist?

- 5 Angenommen, X sei de facto A, dann muss A antworten. Die Aufgabe von A [434] bei diesem Spiel besteht nun darin, C möglichst zur falschen Identifizierung zu veranlassen. Entsprechend könnte seine Antwort lauten:

10 »Ich trage eine Bubikopffrisur und die längsten Strähnen sind ungefähr 20 cm lang.«

Damit der Fragesteller die Befragten nicht an der Stimme erkennt, sollten die Antworten geschrieben oder besser noch maschinengeschrieben sein. Im Idealfall verläuft die Kommunikation zwischen beiden Räumen über einen
15 Fernschreiber. Alternativ könnte ein Mittler die Fragen und die Antworten wiederholen. Das Ziel der Spielerin (B) besteht darin, dem Fragesteller zu helfen. Die beste Strategie für sie besteht wahrscheinlich darin, wahrheitsgetreu zu antworten. Sie kann ihren Antworten Anmerkungen hin-
20 zufügen, wie z. B. »Ich bin die Frau, höre nicht auf ihn«. Das nützt jedoch nichts, da der Mann ja Ähnliches sagen kann.

Fragen wir uns nun Folgendes: »Was passiert, wenn eine Maschine in diesem Spiel die Rolle von A übernimmt?« Wird sich der Fragesteller in diesem Fall ebenso oft falsch
25 entscheiden wie dann, wenn das Spiel von einem Mann und einer Frau gespielt wird? Diese Fragen treten an die Stelle unserer Ausgangsfrage: »Können Maschinen denken?«

2. Critique of the New Problem.

As well as asking, 'What is the answer to this new form of the question', one may ask, 'Is this new question a worthy one to investigate?' This latter question we investigate without further ado, thereby cutting short an infinite regress. 5

The new problem has the advantage of drawing a fairly sharp line between the physical and the intellectual capacities of a man. No engineer or chemist claims to be able to produce a material which is indistinguishable from the human skin. It is possible that at some time this might be done, but even supposing this invention available we should feel there was little point in trying to make a 'thinking machine' more human by dressing it up in such artificial flesh. The form in which we have set the problem reflects this fact in the condition which prevents the interrogator from seeing or touching the other competitors, or hearing their voices. Some other advantages of the proposed criterion may be shown up by specimen questions and answers. Thus: 10 15 20

Q: Please write me a sonnet on the subject of the Forth Bridge.

A: Count me out on this one. I never could write poetry.

Q: Add 34 957 to 70 764.

A: (Pause about 30 seconds and then give as answer) 105 621. 25

Q: Do you play chess?

2. Kritische Bemerkungen zum neuen Problem.

Anstelle von »Was ist die Antwort auf diese neue Frage?« könnte man auch fragen: »Ist diese neue Frage überhaupt eine Untersuchung wert?« Widmen wir uns ohne weiteres
5 Getue dieser letzten Frage, um einen infiniten Regress zu vermeiden.

Das neue Problem besitzt den Vorteil, dass es eine ziemlich scharfe Trennungslinie zwischen den physischen und den intellektuellen Fähigkeiten eines Menschen zieht. Kein
10 Ingenieur oder Chemiker wird von sich behaupten, er könne ein Material produzieren, das von der menschlichen Haut nicht zu unterscheiden ist. Möglich, dass dies irgendwann einmal gelingt; doch selbst dann, wenn man annimmt, dass eine derartige Erfindung existiert, sollte man
15 doch meinen, dass es wenig sinnvoll wäre, eine »denkende Maschine« dadurch menschlicher gestalten zu wollen, dass man sie mit solch künstlichem Fleisch ausstaffiert. Die Form unserer Problemstellung trägt dieser Tatsache insofern Rechnung, als sie den Fragesteller daran hindert, die
20 anderen Beteiligten zu sehen, zu berühren oder ihre Stimmen zu hören. Einige andere Vorteile des Kriteriums, das wir vorgeschlagen haben, lassen sich anhand von exemplarischen Fragen und Antworten aufzeigen, wie etwa:

F: Schreiben Sie mir bitte ein Sonett über die Forth-Brücke.

25 A: Da bin ich raus; ich könnte niemals Gedichte schreiben.

F: Addieren Sie die beiden Zahlen 34 957 und 70 764.

A: (warte etwa 30 Sekunden und gib dann als Antwort)
105 621.

F: Spielen Sie Schach?

A: Yes. [435]

Q: I have K at my K1, and no other pieces. You have only K at K6 and R at R1. It is your move. What do you play?

A: (After a pause of 15 seconds) R-R8 mate.

The question and answer method seems to be suitable for introducing almost any one of the fields of human endeavour that we wish to include. We do not wish to penalise the machine for its inability to shine in beauty competitions, nor to penalise a man for losing in a race against an aeroplane. The conditions of our game make these disabilities irrelevant. The 'witnesses' can brag, if they consider it advisable, as much as they please about their charms, strength or heroism, but the interrogator cannot demand practical demonstrations. 5 10

The game may perhaps be criticised on the ground that the odds are weighted too heavily against the machine. If the man were to try and pretend to be the machine he would clearly make a very poor showing. He would be given away at once by slowness and inaccuracy in arithmetic. May not machines carry out something which ought to be described as thinking but which is very different from what a man does? This objection is a very strong one, but at least we can say that if, nevertheless, a machine can be constructed to play the imitation game satisfactorily, we need not be troubled by this objection. 15 20 25

It might be urged that when playing the 'imitation game' the best strategy for the machine may possibly be some-

A: Ja. [435]

F: Mein König steht auf e8; sonst habe ich keine Figuren mehr. Sie haben nur noch Ihren König auf e6 und einen Turm auf h1. Sie sind am Zug. Wie ziehen Sie?

5 A: (nach einer Pause von 15 Sekunden) h1 nach h8 – matt.

Die Frage-und-Antwort-Methode scheint geeignet zu sein, fast jeden gewünschten Bereich menschlichen Verhaltens abzudecken. Wir wollen weder die Maschine für ihre Unfähigkeit bestrafen, in Schönheitswettbewerben zu glänzen,
10 noch einen Menschen dafür, in einem Rennen gegen ein Flugzeug zu verlieren. Die Bedingungen unseres Spiels machen diese Unvermögen irrelevant. Die »Zeugen« mögen, wenn es ihnen ratsam erscheint, mit ihren Reizen, ihren Kräften oder ihrer Heldenhaftigkeit prahlen, so viel sie
15 wollen, der Fragesteller kann schließlich keine praktischen Vorführungen verlangen.

Möglicherweise könnte man unser Spiel kritisieren, weil man der Meinung ist, dass die Maschine zu sehr im Nachteil sei. Wenn der Mensch versuchen sollte, so zu tun, als
20 sei er die Maschine, würde er zweifellos einen miserablen Eindruck machen. Er würde sich sofort durch seine Langsamkeit und seine rechnerische Ungenauigkeit verraten. Könnten Maschinen nicht etwas tun, das zwar als Denken bezeichnet werden sollte, das sich jedoch stark von dem
25 unterscheidet, was ein Mensch tut? Dies ist ein schwerwiegender Einwand. Zumindest aber können wir sagen, dass er uns nicht zu beunruhigen braucht, wenn dennoch eine Maschine konstruiert werden kann, die das Imitationsspiel befriedigend zu spielen vermag.

30 Man könnte einwenden, dass beim Imitationsspiel die

thing other than imitation of the behaviour of a man. This may be, but I think it is unlikely that there is any great effect of this kind. In any case there is no intention to investigate here the theory of the game, and it will be assumed that the best strategy is to try to provide answers that would naturally be given by a man. 5

3. *The Machines concerned in the Game.*

The question which we put in § 1 will not be quite definite until we have specified what we mean by the word 'machine'. It is natural that we should wish to permit every kind of engineering technique to be used in our machines. 10 We also wish to allow the possibility that an engineer or team of engineers may construct a machine which works, but whose manner of operation cannot be satisfactorily described by its constructors because they have applied a method which is largely experimental. Finally, we wish to 15 exclude from the machines men born in the usual manner. It is difficult to frame the definitions so as to satisfy these three conditions. One might for instance insist that the team of [436] engineers should be all of one sex, but this 20 would not really be satisfactory, for it is probably possible to rear a complete individual from a single cell of the skin (say) of a man. To do so would be a feat of biological technique deserving of the very highest praise, but we would

beste Strategie für die Maschine möglicherweise gar nicht darin besteht, menschliches Verhalten zu imitieren. Das mag sein, ich halte es jedoch für unwahrscheinlich, dass dies nennenswerte Auswirkungen haben würde. Auf jeden
5 Fall geht es hier nicht darum, die Theorie des Spiels zu untersuchen. Wir nehmen schlicht an, dass die beste Strategie darin besteht, nach Möglichkeit so zu antworten, wie ein Mensch es natürlicherweise tun würde.

3. Um was für Maschinen geht es in dem Spiel?

- 10 Die in Abschnitt 1 gestellte Frage wird erst dann klar definiert sein, wenn wir spezifiziert haben, was wir unter dem Begriff »Maschine« verstehen. Selbstverständlich möchten wir in unseren Maschinen jede Art von Ingenieurstechnik zulassen. Wir möchten auch die Möglichkeit zulassen, dass
15 ein Ingenieur oder ein Team von Ingenieuren eine funktionierende Maschine konstruieren darf, deren Arbeitsweise sie nicht zufriedenstellend beschreiben können, weil die von ihnen angewandte Methode weitgehend experimentell war. Und schließlich möchten wir Menschen, die auf übli-
20 che Weise geboren wurden, nicht zu den Maschinen zählen. Es ist schwierig, die Definitionen so zu formulieren, dass sie diese drei Bedingungen erfüllen. Man könnte z. B. darauf bestehen, dass das Ingenieursteam [436] aus Personen gleichen Geschlechts besteht. Das wäre jedoch nicht wirk-
25 lich zufriedenstellend, da es wahrscheinlich möglich ist, ein vollständiges Individuum aus einer einzigen Hautzelle, etwa einer menschlichen, zu züchten. Das wäre zwar eine Meisterleistung biologischer Technik, die allerhöchstes Lob

not be inclined to regard it as a case of 'constructing a thinking machine'. This prompts us to abandon the requirement that every kind of technique should be permitted. We are the more ready to do so in view of the fact that the present interest in 'thinking machines' has been aroused by a particular kind of machine, usually called an 'electronic computer' or 'digital computer'. Following this suggestion we only permit digital computers to take part in our game. 5

This restriction appears at first sight to be a very drastic one. I shall attempt to show that it is not so in reality. To do this necessitates a short account of the nature and properties of these computers. 10

It may also be said that this identification of machines with digital computers, like our criterion for 'thinking', will only be unsatisfactory if (contrary to my belief), it turns out that digital computers are unable to give a good showing in the game. 15

There are already a number of digital computers in working order, and it may be asked, 'Why not try the experiment straight away? It would be easy to satisfy the conditions of the game. A number of interrogators could be used, and statistics compiled to show how often the right identification was given.' The short answer is that we are not asking whether all digital computers would do well in the game nor whether the computers at present available would do well, but whether there are imaginable computers which would do well. But this is only the short answer. We shall see this question in a different light later. 25

verdiente, jedoch wären wir nicht geneigt, darin die »Konstruktion einer denkenden Maschine« zu sehen. Das veranlasst uns, die Forderung aufzugeben, dass jede Art von Technik zugelassen werden sollte. Wir sind dazu umso
5 mehr bereit angesichts der Tatsache, dass das gegenwärtige Interesse an »denkenden Maschinen« durch eine ganz bestimmte Art von Maschinen geweckt wurde, die man gewöhnlich als »elektronische Rechner« oder als »digitale Rechner« bezeichnet. Dieser Überlegung folgend, lassen wir
10 nur digitale Rechner an unserem Spiel teilnehmen.

Diese Einschränkung erscheint auf den ersten Blick sehr drastisch. Ich versuche jedoch zu zeigen, dass dem in Wirklichkeit nicht so ist. Dies erfordert eine kurze Betrachtung der Natur und Eigenschaften dieser Rechner.

15 Man sollte noch hinzufügen, dass diese Gleichsetzung von Maschinen mit digitalen Rechnern ebenso wie unser Kriterium für »Denken« nur dann unbefriedigend sein wird, wenn sich (was ich nicht glaube) herausstellt, dass digitale Rechner nicht fähig sind, bei dem Spiel gut abzuschneiden.

20 Es gibt bereits eine Reihe digitaler Rechner im betriebsfähigen Zustand, und man könnte fragen: »Warum das Experiment nicht einfach durchführen? Es wäre ein Leichtes, die Bedingungen des Spiels zu erfüllen. Man könnte einige Fragesteller heranziehen und statistisch erheben, wie oft
25 die richtige Identifizierung gelang.« Die kurze Antwort hierauf ist, dass wir weder fragen, ob alle digitalen Rechner im Spiel gut abschneiden würden, noch, ob die derzeit verfügbaren Rechner gut abschneiden würden, sondern ob Rechner vorstellbar sind, die gut abschneiden würden.
30 Aber das ist nur die kurze Antwort. Wir werden diese Frage später in einem anderen Licht sehen.

4. *Digital Computers.*

The idea behind digital computers may be explained by saying that these machines are intended to carry out any operations which could be done by a human computer. The human computer is supposed to be following fixed rules; 5 he has no authority to deviate from them in any detail. We may suppose that these rules are supplied in a book, which is altered whenever he is put on to a new job. He has also an unlimited supply of paper on which he does his calculations. He may also do his multiplications and additions on a 10 'desk machine', but this is not important.

If we use the above explanation as a definition we shall be in [437] danger of circularity of argument. We avoid this by giving an outline of the means by which the desired effect is achieved. A digital computer can usually be regarded 15 as consisting of three parts:

- (i) Store.
- (ii) Executive unit.
- (iii) Control.

The store is a store of information, and corresponds to the 20 human computer's paper, whether this is the paper on which he does his calculations or that on which his book of rules is printed. In so far as the human computer does calculations in his head a part of the store will correspond to his memory. 25

4. Digitale Rechner.

Die Idee, die hinter digitalen Rechnern steht, ließe sich erklären, indem man sagt, dass diese Maschinen dafür gedacht sind, jede Operation auszuführen, die von einem menschlichen Rechner ausgeführt werden könnte. Vom menschlichen Rechner wird erwartet, dass er festen Regeln folgt; von diesen darf er nicht im Geringsten abweichen. Wir können annehmen, dass diese Regeln in einem Buch zur Verfügung gestellt werden, das stets angepasst wird, wenn er eine neue Aufgabe erhält. Er verfügt außerdem über einen unbeschränkten Papiervorrat für seine Berechnungen. Seine Multiplikationen und Additionen darf er auch auf einer »Tischrechenmaschine« ausführen, doch das ist nicht von Bedeutung.

Wenn wir die oben gegebene Erklärung als Definition verwenden, laufen wir [437] Gefahr, zirkulär zu argumentieren. Dies vermeiden wir, indem wir umreißen, mit welchen Mitteln das gewünschte Ergebnis erreicht wird. Digitale Rechner bestehen gewöhnlich aus drei Bestandteilen:

- (i) Speicher.
- (ii) Ausführende Einheit.
- (iii) Steuereinheit.

Der Speicher ist ein Informationsspeicher und entspricht dem Papier des menschlichen Rechners, und zwar entweder dem Papier, auf dem er rechnet, oder dem Papier des Buches, in dem die Regeln festgehalten sind. In dem Umfang, in dem der menschliche Rechner Berechnungen im Kopf ausführt, entspricht ein Teil des Speichers dessen Gedächtnis.

The executive unit is the part which carries out the various individual operations involved in a calculation. What these individual operations are will vary from machine to machine. Usually fairly lengthy operations can be done such as 'Multiply 3540675445 by 7076345687' but in some machines only very simple ones such as 'Write down 0' are possible. 5

We have mentioned that the 'book of rules' supplied to the computer is replaced in the machine by a part of the store. It is then called the 'table of instructions'. It is the duty of the control to see that these instructions are obeyed correctly and in the right order. The control is so constructed that this necessarily happens. 10

The information in the store is usually broken up into packets of moderately small size. In one machine, for instance, a packet might consist of ten decimal digits. Numbers are assigned to the parts of the store in which the various packets of information are stored, in some systematic manner. A typical instruction might say— 15

'Add the number stored in position 6809 to that in 4302 and put the result back into the latter storage position'. 20

Needless to say it would not occur in the machine expressed in English. It would more likely be coded in a form such as 6809430217. Here 17 says which of various possible operations is to be performed on the two numbers. In this 25

Die ausführende Einheit ist derjenige Teil, der die verschiedenen einzelnen Operationen einer Berechnung ausführt. Worin diese einzelnen Operationen bestehen, variiert von Maschine zu Maschine. In der Regel können ziemlich lange Operationen ausgeführt werden, wie etwa
5 »Multipliziere 3540675445 mit 7076345687«, bei einigen Maschinen sind dagegen nur ganz einfache Operationen möglich, wie etwa »Schreibe 0«.

Wie erwähnt, wird das dem menschlichen Rechner zur
10 Verfügung gestellte »Regelbuch« in der Maschine durch einen Teil des Speichers ersetzt. Dieser wird dann als »Befehlsliste« bezeichnet. Die Steuereinheit hat dafür zu sorgen, dass die Befehle korrekt und in der richtigen Reihenfolge abgearbeitet werden. Sie ist so konstruiert, dass dies
15 notwendigerweise geschieht.

Die im Speicher enthaltene Information ist gewöhnlich in relativ kleine Pakete aufgeteilt. In einer bestimmten Maschine könnte ein solches Paket beispielsweise aus zehn Dezimalziffern bestehen. Den Teilen des Speichers, in denen die verschiedenen Informationspakete gespeichert werden, werden nach einem bestimmten System Nummern zugewiesen. Ein typischer Befehl könnte lauten:

»Addiere die an Position 6809 gespeicherte Zahl zu der an Position 4302 gespeicherten Zahl und lege das Ergebnis an der letztgenannten Speicherposition ab.«
25

Es versteht sich von selbst, dass ein solcher Befehl nicht in natürlicher Sprache in der Maschine erscheint. Er wird eher in einer Form wie 6809430217 kodiert, wobei 17 hier angibt, welche der verschiedenen möglichen Operationen

case the operation is that described above, *viz.* ‘Add the number ...’ It will be noticed that the instruction takes up 10 digits and so forms one packet of information, very conveniently. The control will normally take the instructions to be obeyed in the order of the positions in which they are stored, but occasionally an instruction such as [438] 5

‘Now obey the instruction stored in position 5606, and continue from there’

may be encountered, or again

‘If position 4505 contains 0 obey next the instruction stored in 6707, otherwise continue straight on.’ 10

Instructions of these latter types are very important because they make it possible for a sequence of operations to be repeated over and over again until some condition is fulfilled, but in doing so to obey, not fresh instructions on each repetition, but the same ones over and over again. To take a domestic analogy. Suppose Mother wants Tommy to call at the cobbler’s every morning on his way to school to see if her shoes are done, she can ask him afresh every morning. Alternatively she can stick up a notice once and for all in the hall which he will see when he leaves for school and which tells him to call for the shoes, and also to destroy the notice when he comes back if he has the shoes with him. 15 20

mit den beiden Zahlen ausgeführt werden soll. In diesem Fall also »Addiere die Zahl ...«. Wie man sieht, besteht der Befehl aus zehn Ziffern und bildet, praktischerweise, ein Informationspaket. Die Steuereinheit wird die Befehle gewöhnlich in der Reihenfolge ihrer Speicherposition ausführen, gelegentlich trifft man jedoch auch auf Befehle wie [438]:

»Führe jetzt den an Position 5606 gespeicherten Befehl aus und fahre von dort aus fort«

10 oder

»Falls Position 4505 den Wert 0 enthält, führe als Nächstes den an Position 6707 stehenden Befehl aus, andernfalls fahre weiter fort.«

Befehle der letzteren Art sind sehr wichtig, da sie es ermöglichen, eine Folge von Operationen so lange zu wiederholen, bis eine bestimmte Bedingung erfüllt ist – und zwar nicht, indem sie für jeden Wiederholungsschritt neuen Befehlen folgen, sondern indem sie dieselben Befehle immer wieder ausführen. Um einen Vergleich aus dem täglichen Leben zu nehmen: Wenn die Mutter beispielsweise möchte, dass Thomas jeden Morgen auf seinem Schulweg beim Schuster nachfragt, ob ihre Schuhe fertig sind, kann sie ihm dies jeden Morgen aufs Neue sagen. Sie könnte aber auch ein für alle Mal eine Notiz in den Flur hängen, die ihn beim Verlassen des Hauses daran erinnert, auf dem Weg zur Schule nach den Schuhen zu fragen, und ihn zudem auffordert, die Notiz zu vernichten, wenn er die Schuhe dabei hat.

The reader must accept it as a fact that digital computers can be constructed, and indeed have been constructed, according to the principles we have described, and that they can in fact mimic the actions of a human computer very closely.

5

The book of rules which we have described our human computer as using is of course a convenient fiction. Actual human computers really remember what they have got to do. If one wants to make a machine mimic the behaviour of the human computer in some complex operation one has to ask him how it is done, and then translate the answer into the form of an instruction table. Constructing instruction tables is usually described as ‘programming’. To ‘programme a machine to carry out the operation A’ means to put the appropriate instruction table into the machine so that it will do A.

10

15

An interesting variant on the idea of a digital computer is a ‘digital computer with a random element’. These have instructions involving the throwing of a die or some equivalent electronic process; one such instruction might for instance be, ‘Throw the die and put the resulting number into store 1000’. Sometimes such a machine is described as having free will (though I would not use this phrase myself). It is not normally possible to determine from observing a machine whether it has a random element, for a similar effect can be produced by such devices as making the choices depend on the digits of the decimal for π .

20

25

Der Leser muss es als eine Tatsache hinnehmen, dass digitale Rechner nach den von uns beschriebenen Prinzipien gebaut werden können und auch gebaut wurden, und dass sie tatsächlich die Handlungen eines menschlichen Rechners sehr genau nachahmen können.

Das Regelbuch, das der menschliche Rechner unserer Beschreibung nach nutzt, ist natürlich nur eine zweckdienliche Fiktion. Echte menschliche Rechner haben im Kopf, was sie tun müssen. Möchte man, dass sich eine Maschine bei einer komplexen Operation wie ein menschlicher Rechner verhält, muss man ihn fragen, wie er diese ausführt, und die Antwort dann in die Form einer Befehlsliste übersetzen. Das Erstellen solcher Befehlslisten bezeichnet man gewöhnlich als »programmieren«. »Eine Maschine so zu programmieren, dass sie die Operation A ausführt« bedeutet, der Maschine die geeignete Befehlsliste einzugeben, damit sie A ausführt.

Eine interessante Variante der Idee eines digitalen Rechners ist ein »digitaler Rechner mit einem Zufallselement«. Die Befehle solcher Rechner schließen das Werfen eines Würfels oder einen äquivalenten elektronischen Vorgang ein. So könnte ein solcher Befehl etwa lauten: »Würfle und lege die gewürfelte Zahl an Position 1000 ab«. Manchmal wird einer solchen Maschine ein freier Wille zugeschrieben (obwohl ich diesen Ausdruck selbst nicht verwenden würde). Gewöhnlich ist es nicht möglich, durch Beobachtung einer Maschine festzustellen, ob sie ein Zufallselement besitzt, da ähnliche Effekte etwa auch durch Vorrichtungen erzeugt werden können, bei denen die Entscheidung von den Ziffern der Dezimalbruchentwicklung für π abhängig gemacht wird.