

DIE SUCHE NACH  
**KÜNSTLICHER  
INTELLIGENZ**

NILS J. NILSSON

*Eine Geschichte  
von Ideen und Erfolgen*





# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>xi</b>
<b>Teil I. Anfänge</b>	
<b>Kapitel 1 Träume und Träumer</b>	<b>3</b>
<b>Kapitel 2 Ideen und Forschungsansätze</b>	<b>9</b>
2.1 Philosophie und Logik	9
2.2 Vom Leben selbst	14
2.3 Aus den Ingenieurwissenschaften	24
<b>Teil II. Erste Forschungsbemühungen: die 1950er- und 1960er-Jahre</b>	
<b>Kapitel 3 Zusammenkünfte</b>	<b>47</b>
3.1 Session on Learning Machines	47
3.2 Das Dartmouth Summer Project	50
3.3 Mechanisierung von Denkprozessen	54
<b>Kapitel 4 Mustererkennung</b>	<b>59</b>
4.1 Zeichenerkennung	60
4.2 Neuronale Netze	62
4.3 Statistische Methoden	70
4.4 Anwendung von Mustererkennung in der Luftaufklärung	72
<b>Kapitel 5 Erste heuristische Programme</b>	<b>78</b>
5.1 Der Logic Theorist und die heuristische Suche	78
5.2 Das Beweisen von Sätzen der Geometrie	82
5.3 Der General Problem Solver	84
5.4 Spielprogramme	86
<b>Kapitel 6 Semantische Repräsentationen</b>	<b>93</b>
6.1 Lösen von geometrischen Analogieaufgaben	93
6.2 Speichern von Informationen und Beantworten von Fragen	95
6.3 Semantische Netzwerke	97
<b>Kapitel 7 Verarbeitung natürlicher Sprache</b>	<b>100</b>
7.1 Sprachliche Ebenen	100

7.2 Die maschinelle Übersetzung	104
7.3 Das Beantworten von Fragen	107
<b>Kapitel 8 Die Infrastruktur der 1960er-Jahre</b>	<b>111</b>
8.1 Programmiersprachen	111
8.2 Die ersten KI-Laboratorien	113
8.3 Forschungsförderung	116
8.4 Das Feld war bestellt	118
<b>Teil III. Die Blütezeit: Mitte der 1960er- bis Mitte der 1970er-Jahre</b>	
<b>Kapitel 9 Bilderkennung</b>	<b>123</b>
9.1 Hinweise aus der Biologie	124
9.2 Gesichtserkennung	125
9.3 Bilderkennung per Computer von dreidimensionalen festen Objekten	127
<b>Kapitel 10 „Hand-Augen“-Forschung</b>	<b>139</b>
10.1 Am MIT	139
10.2 In Stanford	141
10.3 In Japan	143
10.4 Edinburghs „FREDDY“	143
<b>Kapitel 11 Wissensrepräsentation und logisches Denken</b>	<b>148</b>
11.1 Deduktionen in der symbolischen Logik	148
11.2 Das Situationskalkül	151
11.3 Logische Programmierung	152
11.4 Semantische Netzwerke	153
11.5 Skripte und Frames	155
<b>Kapitel 12 Mobile Roboter</b>	<b>161</b>
12.1 Shakey, der SRI-Roboter	161
12.2 Der Stanford-Wagen	176
<b>Kapitel 13 Fortschritte in der Verarbeitung natürlicher Sprache</b>	<b>180</b>
13.1 Maschinelle Übersetzung	180
13.2 Verständlichkeit	181
<b>Kapitel 14 Computerspiele</b>	<b>192</b>
<b>Kapitel 15 Das Dendral-Projekt</b>	<b>196</b>
<b>Kapitel 16 Konferenzen, Bücher und Finanzierung</b>	<b>201</b>
<b>Teil IV. Anwendungen und Spezialisierungen in den 1970er-Jahren bis in die frühen 1980er-Jahre</b>	
<b>Kapitel 17 Spracherkennung und Verständnissysteme</b>	<b>207</b>
17.1 Sprachverarbeitung	207
17.2 Die Sprachverständnisarbeitsgruppe	209

17.3 Das Forschungsprogramm der DARPA zum Sprachverständnis	210
17.4 Die spätere Forschung im Bereich der Spracherkennung	219
<b>Kapitel 18 Beratungssysteme</b>	<b>222</b>
18.1 Der computergestützte Berater des SRI	222
18.2 Expertensysteme	227
<b>Kapitel 19 Das Verstehen von Anfragen und Signalen</b>	<b>242</b>
19.1 Die Situation	242
19.2 Der Zugriff auf Computersysteme mit natürlicher Sprache	245
19.3 HASP/SIAP	251
<b>Kapitel 20 Fortschritte bei der Bilderkennung</b>	<b>256</b>
20.1 Jenseits der Linienerkennung	256
20.2 Das Finden von Objekten in Szenen	261
20.3 Das Programm der DARPA zum Verstehen von Bildern	265
<b>Kapitel 21 Zeiten des Booms</b>	<b>270</b>
<b>Teil V. Projekte der „neuen Generation“</b>	
<b>Kapitel 22 Die Japaner sorgen für Aufregung</b>	<b>275</b>
22.1 Das Projekt der Computer der fünften Generation	275
22.2 Einige Auswirkungen des japanischen Projekts	279
<b>Kapitel 23 Das strategische Computerprogramm der DARPA</b>	<b>284</b>
23.1 Der strategische Computerplan	284
23.2 Hauptprojekte	287
23.3 Die technologische Grundlage der KI	293
23.4 Bewertung	296
<b>Teil VI. Zwischenspiel</b>	
<b>Kapitel 24 Bremsschwellen</b>	<b>303</b>
24.1 Meinungen von verschiedenen Beobachtern	303
24.2 Skalierungsprobleme	318
24.3 Anerkannte Mängel	324
24.4 Der „Winter der KI“	326
<b>Kapitel 25 Kontroversen und alternative Paradigmen</b>	<b>329</b>
25.1 Über Logik	329
25.2 Ungewissheit	330
25.3 „Flickschusterei“	332
25.4 Über das Verhalten	333
25.5 Gehirnähnliche Berechnung	337
25.6 Das Simulieren der Evolution	340
25.7 Die Reduzierung der Ziele der KI	343

**Teil VII. Das wachsende Instrumentarium seit den 1980er-Jahren**

<b>Kapitel 26 Denken und Darstellung</b>	<b>349</b>
26.1 Nicht monotone oder anfechtbare Schlussfolgerung	349
26.2 Qualitatives Denken	352
26.3 Semantische Netzwerke	354
<b>Kapitel 27 Weitere Ansätze zum Thema Denken und Darstellung</b>	<b>365</b>
27.1 Das Lösen von Bedingungserfüllungsproblemen	365
27.2 Problemlösungen durch Aussagenlogik	368
27.3 Darstellung von Text als Vektoren	374
27.4 Die latente semantische Analyse	377
<b>Kapitel 28 Bayessche Netze</b>	<b>382</b>
28.1 Die Darstellung von Wahrscheinlichkeiten in Netzen	382
28.2 Automatische Konstruktion von Bayesschen Netzen	390
28.3 Probabilistische relationale Modelle	391
28.4 Temporale Bayessche Netze	394
<b>Kapitel 29 Maschinelles Lernen</b>	<b>399</b>
29.1 Das gedächtnisbasierte Lernen	399
29.2 Fallbasiertes Schlussfolgern	401
29.3 Entscheidungsbäume	403
29.4 Neuronale Netze	410
29.5 Unüberwachtes Lernen	415
29.6 Verstärkendes Lernen	417
29.7 Erweiterungen	425
<b>Kapitel 30 Natürliche Sprachen und natürliche Szenarien</b>	<b>433</b>
30.1 Die Verarbeitung natürlicher Sprache	433
30.2 Bilderkennung	438
<b>Kapitel 31 Intelligente Systemarchitekturen</b>	<b>458</b>
31.1 Computerarchitekturen	459
31.2 Kognitive Architekturen	472
<b>Teil VIII. Moderne KI: heute und morgen</b>	
<b>Kapitel 32 Außergewöhnliche Errungenschaften</b>	<b>485</b>
32.1 Spiele	485
32.2 Robotersysteme	492
<b>Kapitel 33 Allgegenwärtige künstliche Intelligenz</b>	<b>506</b>
33.1 KI zu Hause	506
33.2 Fortgeschrittene Fahrassistentensysteme	507
33.3 Routensuche auf Karten	508
33.4 Persönliche Empfehlungen	509
33.5 Computerspiele	510

<b>Kapitel 34 Kluge Werkzeuge</b>	<b>512</b>
34.1 In der Medizin	512
34.2 Zur Zeitplanung	514
34.3 Für den automatischen Handel	515
34.4 Im Geschäftsleben	515
34.5 Für Übersetzungen	516
34.6 Zur Automatisierung von Erfindungen	517
34.7 Zur Gesichtserkennung	517
<b>Kapitel 35 Die Suche geht weiter</b>	<b>520</b>
35.1 In den Laboren	521
35.2 Hin zu künstlicher Intelligenz auf menschlichem Niveau	531
35.3 Zusammenfassung	540
<b>Index</b>	<b>545</b>



# 1

---

## Träume und Träumer

WIE jeder Weg beginnt auch die Suche nach der künstlichen Intelligenz (KI) mit Träumen. Die Vorstellung von Maschinen mit menschlichen Fähigkeiten – sich bewegenden Automaten oder logisch denkenden Apparaten – ist schon sehr alt. Menschenähnliche Maschinen wurden in vielen Erzählungen beschrieben und in Skulpturen, Gemälden und Zeichnungen dargestellt.

Vermutlich kennen Sie schon viele davon, aber lassen Sie mich dennoch einige nennen. In der *Ilias* von Homer ist die Rede davon, dass Hephaistos selbstfahrende Dreifüße und goldene Dienerinnen konstruiert, die den lahmen Gott der Schmiedekunst unterstützen.<sup>1\*</sup> In den griechischen Sagen, wie sie uns Ovid in seinen *Metamorphosen* erzählt, erschafft der Künstler Pygmalion von Zypern eine Elfenbeinstatue in Form einer wunderschönen Frau, Galatea, die von Aphrodite zum Leben erweckt wird.<sup>2</sup>

[...] und die Jungfrau fühlt mit Erröten,  
Wie er sie küsst, und, scheu aufschlagend zum Lichte die lichten  
Augen, erblickt sie zugleich mit dem Himmel des Liebenden Antlitz.

Auch der griechische Philosoph Aristoteles (384–322 v. Chr.) erträumte sich Automatisierungen, allerdings hielt er sie für eine unmöglich zu realisierende Fantasie – somit sei Sklaverei notwendig, wollte man den Menschen Muße erlauben. In seiner *Politik* schrieb er:<sup>3</sup>

Denn wenn jedes Werkzeug auf Befehl oder diesem zuvorkommend seine Leistung vollzöge, wie von den Bildsäulen des Dädalos die Sage geht oder von den Dreifüßen des Hephaistos, die, nach des Dichters [d. h. Homers] Wort, „aus eigenem Trieb sich in die Götterversammlung begeben“, wenn so die Webschiffe von selbst webten und die Zitherschlägel spielten, dann hätten weder die Meister ein Bedürfnis nach Gesellen, noch die Herren nach Sklaven.

Aristoteles wäre sicher erstaunt, könnte er einen von selbst laufenden Jacquardwebstuhl oder ein Pianola, ein selbst spielendes Klavier, sehen.

Ramon Llull (um 1235–1316), ein katalanischer Mystiker und Dichter, machte sich selbst daran, seine Visionen zu verwirklichen. Er fertigte eine Reihe von Papierscheiben an, die *Ars Magna* (Große Kunst), die unter anderem als Werkzeug in einem Glaubensstreit dazu dienen sollten, Muslime durch Logik und zwingende Argumente zum christlichen Glauben zu bekehren (Abb. 1.1). Eins dieser Systeme ist mit den Eigenschaften

---

\*Um den Leser nicht unnötig abzulenken, stehen nummerierte Anmerkungen mit Verweisen auf Quellenmaterial am Ende eines jeden Kapitels. Dahinter steht die Seitenzahl, unter der auf diese Anmerkung verwiesen wird.

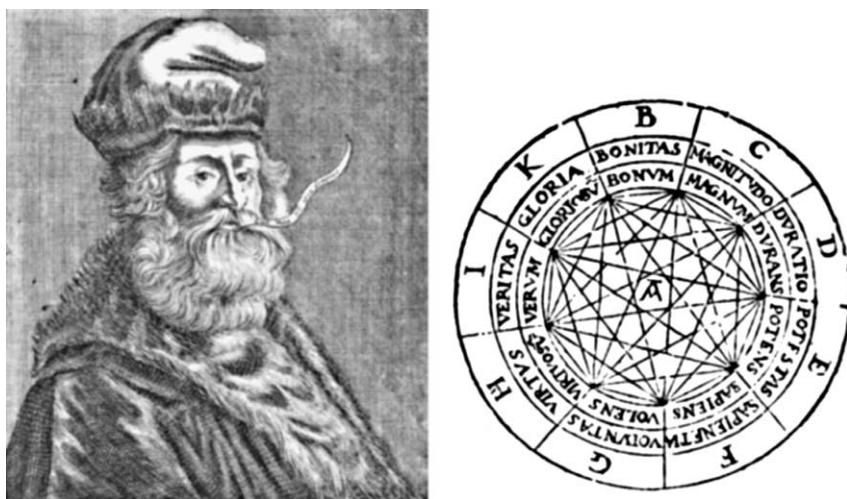


Abbildung 1.1: Ramon Llull (links) und seine *Ars Magna* (rechts).

Gottes beschriftet, und zwar Güte, Größe, Ewigkeit, Macht, Weisheit, Wille, Tugend, Wahrheit und Ehre. Wurden diese Scheiben entsprechend gedreht, sollte man Antworten zu verschiedenen theologischen Fragestellungen erhalten.<sup>4</sup>

Seiner Zeit (wie üblich) voraus zeichnete Leonardo da Vinci um 1495 Entwürfe für einen menschenähnlichen Roboter in Gestalt eines Ritters (siehe Abb. 1.2). Ob Leonardo oder einer seiner Zeitgenossen versuchten, die Konstruktion umzusetzen, ist nicht bekannt. Leonardos Ritter konnte sich aufrichten, Arme und Kopf bewegen und seinen Mund öffnen.<sup>5</sup>

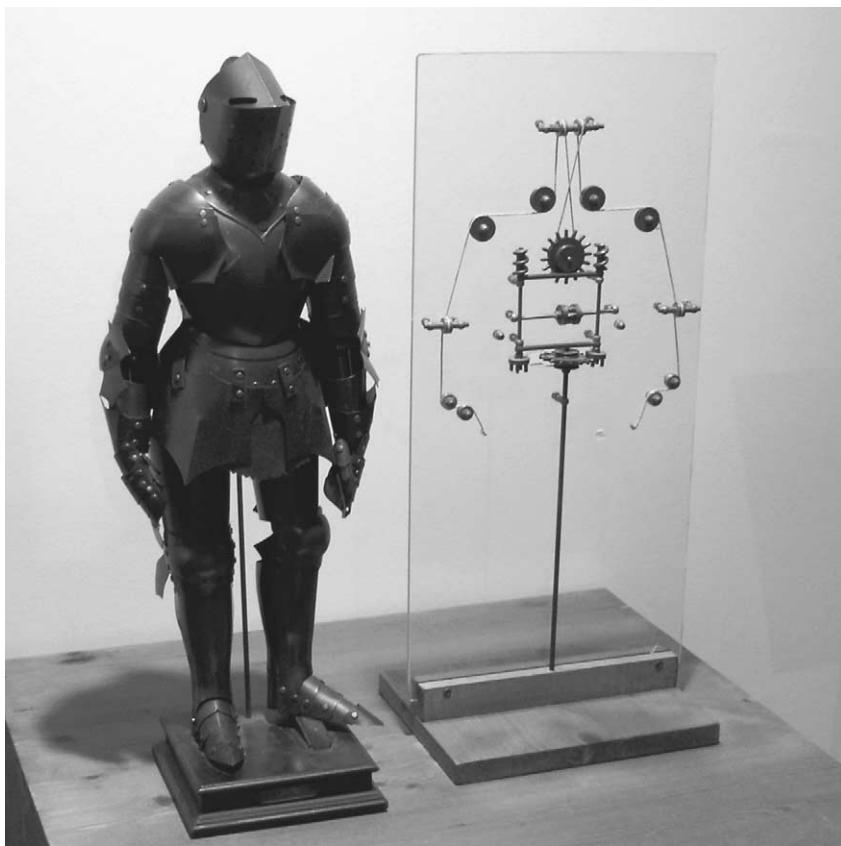
Im Talmud ist die Rede von künstlichen Kreaturen, „Golems“ genannt, die von heiligen Personen erschaffen wurden. Sie sind, wie Adam, meistens aus Erde geformt. Es existieren Geschichten über Rabbiner, die Golems als Diener hatten. Wie die Besen im „Zauberlehrling“ waren Golems manchmal schwer zu beherrschen.

1651 veröffentlichte Thomas Hobbes (1588–1679) seine Schrift *Leviathan* über den Gesellschaftsvertrag und den idealen Staat. In der Einleitung scheint Hobbes der Meinung zu sein, dass der Bau von „künstlichen Lebewesen“ möglich wäre.<sup>6</sup>

Denn da Leben doch nichts anderes ist als eine solche Bewegung der Glieder, die sich innerlich auf irgend einen vorzüglichen Teil im Körper gründet, warum sollte man nicht sagen können, daß alle Automaten oder Maschinen, welche wie z. B. die Uhren durch Federn oder durch ein im Innern angebrachtes Räderwerk in Bewegung gesetzt werden, gleichfalls ein künstliches Leben haben? Ist das Herz nicht als Springfeder anzusehen? Sind nicht die Nerven ein Netzwerk und der Gliederbau eine Menge von Rädern, die im Körper diejenigen Bewegungen hervorbringen ...

Vielleicht nennt der Wissenschaftshistoriker George Dyson Hobbes deshalb den „Ürvater der künstlichen Intelligenz“.<sup>7</sup>

Neben fiktionalen Mechanismen erschufen einige Menschen auch wirkliche Maschinen, die sich erstaunlich lebensecht bewegten.<sup>8</sup> Die raffinierteste war die mechanische Ente des französischen Erfinders und Ingenieurs Jacques de Vaucanson (1709–1782). 1738 stellte er sein Meisterwerk vor, das schnattern, mit den Flügeln flattern, rudern, Wasser trinken, Körner essen und „verdauen“ konnte.



**Abbildung 1.2:** Modell eines künstlichen Ritters nach Zeichnungen von Leonardo da Vinci.

Vaucanson selbst drückte es so aus:<sup>9</sup>

Meine zweite Maschine, oder „Automat“, ist eine „Ente“, in der ich den Mechanismus der Innereien nachbilde, die sich in den Tätigkeiten Essen, Trinken und Verdauen ausdrücken, wobei die Funktion all der für diese Aktionen notwendigen Körperteile exakt imitiert wurde. Die Ente streckt ihren Kopf aus, um Körner aus der Hand zu nehmen, schluckt und verdaut sie und scheidet durch die übliche Öffnung aus.

Es ist umstritten, ob das „ausgeschiedene“ Material wirklich von den Körnern stammte, die die Ente verschluckt hat. Auf einer Website über historische Automaten<sup>10</sup> wird behauptet: „Als der Magier Robert-Houdin 1844 Vaucansons Ente instand setzte, entdeckte er: ‚Die Ausscheidungen waren bereits vorbereitet: Es handelte sich um eine Art Brei aus grün gefärbten Brotkrumen . . .‘.“

Mal abgesehen von der Verdauung war Vaucansons Ente ein bemerkenswertes Stück Ingenieurskunst. Dessen war er sich bewusst. Er schrieb:<sup>11</sup>

Ich nehme an, dass eine Person von Verstand und Aufmerksamkeit erkennen wird, wie schwierig es war, so viele verschiedene bewegliche Teile in diesen kleinen „Automaten“ einzusetzen; zum Beispiel damit er aufsteht und seinen Hals nach rechts und links wirft. Sie werden die verschiedenen Wechsel der Achsen und Drehpunkte bemerken, sie werden auch bemerken, dass, was manchmal der Drehpunkt für ein bewegliches Bauteil ist, ein anderes Mal beweglich zu dem Bauteil ist, welches in diesem Mo-



**Abbildung 1.3:** Frédéric Vidonis ANAS, basierend auf der Ente von Vaucanson. (Fotografie mit freundlicher Genehmigung von Frédéric Vidoni.)

ment fest ist. Mit einem Wort, sie werden eine ungeheure Anzahl von mechanischen Kombinationen sehen.

Einmal aufgezogen führt diese Maschine alle seine Aktionen aus, ohne noch einmal angefasst zu werden.

Ich vergaß zu erwähnen, dass die „Ente“ trinkt, mit dem Schnabel im Wasser spielt und ein gurgelndes Geräusch macht wie eine echte lebendige „Ente“. Kurz, ich habe mich bemüht, alle Handlungen des lebenden Tieres nachzumachen, welche ich sorgfältig beachtet habe.

Leider existieren nur Kopien der Ente. Das Original verbrannte um 1879 in einem Museum in Nischni Nowgorod. ANAS, eine nachgebaute Version, können Sie unter <http://vimeo.com/14904318> in Aktion erleben.<sup>12</sup> Sie wurde 1998 von Frédéric Vidoni, einem Konstrukteur vieler mechanischer Kunstwerke, entworfen und gebaut und ist im Automatenmuseum in Grenoble ausgestellt. (Siehe Abb. 1.3.)

Ein Beispiel wiederum für einen fiktionalen Automaten ist die mechanische lebensgroße Puppe Olimpia aus der Erzählung *Der Sandmann* von E. T. A. Hoffmann (1776–1822). Die Hauptfigur Nathanael verliebt sich in Olimpia, die angebliche Tochter seines Professors, und tanzt mit ihr auf einem Ball, ohne zu bemerken, dass es sich nur um einen Automaten handelt.

Karel Čapek, ein tschechischer Autor und Dramatiker, veröffentlichte 1920 das Drama *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)* (siehe Abb. 1.4). Auf Čapek wird die Herkunft des Worts „Robot“ zurückgeführt, was auf Deutsch „Frondienst“ oder „Fronarbeit“ bedeutet. (Ein „Robotnik“ ist ein Fronarbeiter.)



**Abbildung 1.4:** Szene aus einer New Yorker Aufführung von *R.U.R.*

Das Stück wurde im Januar 1921 in Prag uraufgeführt. Die Roboter werden in der auf einer Insel gelegenen Fabrik von Rossum's Universal Robots mithilfe eines Ersatzstoffs für Protoplasma in Serie hergestellt. Auf einer Website über das Stück steht:<sup>13</sup> „Roboter merken sich alles und denken nichts Neues. Domin [dem Leiter der Fabrik] zufolge würden sie ‚gute Universitätsprofessoren abgeben‘ ... Von Zeit zu Zeit wirft ein Roboter seine Arbeit nieder und knirscht mit den Zähnen. Die menschlichen Fabrikdirektoren betrachten dieses Verhalten als Hinweis auf einen Produktionsfehler, aber Helena [die die Roboter befreien will] deutet es als Zeichen einer entstehenden Seele.“

Ich werde über den Ausgang nichts verraten, nur so viel, dass Čapek der Technisierung nicht sehr positiv gegenüberstand. Er glaubte, dass Arbeit ein notwendiger Bestandteil des menschlichen Lebens sei. In einem Zeitungsartikel schrieb er 1935 (seiner Ge pflogenheit nach in der dritten Person): „Mit vollständigem Entsetzen verweigert er jede Verantwortung für den Gedanken, dass Maschinen den Platz von Menschen einnehmen könnten oder dass etwas wie Leben, Liebe oder Aufbegehren jemals in ihren Zahnrädern erwachen könnte. Er würde diese finstere Vision als unverzeihliche Überbewertung der Mechanik oder als schwere Beleidigung des Lebens ansehen.“<sup>14</sup>

Von Čapek selbst stammt auch eine interessante Anekdote darüber, wie er zum Wort „Roboter“ für sein Stück kam. Als die Idee für das Stück „noch warm war, eilte er unverzüglich zu seinem Bruder Josef, dem Maler, der vor einer Staffelei stand und vor sich hin malte ... „Ich weiß nicht, wie ich diese künstlichen Arbeiter nennen soll“, sagte er. „Ich könnte sie Labori nennen, aber das scheint mir ein wenig zu gelehrt.“ „Dann nenne sie Roboter“, murmelte der Maler, den Pinsel im Mund, und fuhr fort zu malen.“<sup>15</sup>

Isaac Asimov, Autor von Science-Fiction (und „Science-Fakten“) verfasste viele Geschichten über Roboter. Seine erste Kurzgeschichtensammlung, *Ich, der Robot*, enthielt neun Kurzgeschichten über „positronische“ Roboter.<sup>16</sup> Weil er der Science-Fiction-Geschichten überdrüssig war, in denen Roboter (so wie Frankenstein's Monster) destruktiv handelten, wurden Asimovs Robotern die „Robotergesetze“ in ihre positronischen Gehirne fest eingebaut. Die drei Gesetze lauteten folgendermaßen:

**Erstes Gesetz:** Ein Roboter darf kein menschliches Wesen verletzen oder durch Untätigkeit gestatten, dass einem menschlichen Wesen Schaden zugefügt wird.

**Zweites Gesetz:** Ein Roboter muss den ihm von einem Menschen gegebenen Befehlen gehorchen, es sei denn, ein solcher Befehl würde mit Regel Eins kollidieren.

**Drittes Gesetz:** Ein Roboter muss seine eigene Existenz beschützen, solange dieser Schutz nicht mit Regel Eins oder Zwei kollidiert.

Asimov fügte später ein „nulltes“ Gesetz hinzu, das die ganze Menschheit schützen sollte:<sup>17</sup>

**Nulltes Gesetz:** Ein Roboter darf die Menschheit nicht verletzen oder durch Untätigkeit gestatten, dass die Menschheit zu Schaden kommt.

Der Weg zur künstlichen Intelligenz, ob utopisch oder nicht, beginnt mit Träumen wie diesen. Aber um Träume Wirklichkeit werden zu lassen, bedarf es Ideen zum Vorgehen. Glücklicherweise gab es viele solcher Ideen, wie wir sehen werden.

## Anmerkungen

<sup>1</sup>The Iliad of Homer, übersetzt von Richmond Lattimore, S. 386, Chicago: The University of Chicago Press, 1951. (Paperback edition, 1961.) [3]

<sup>2</sup>Ovid, Metamorphoses, Book X, S. 243–297, aus einer Übersetzung ins Englische, circa 1850. Siehe <http://www.pygmalion.ws/stories/ovid2.htm>. [3]

<sup>3</sup>Aristotle, The Politics, S. 65, übersetzt von T. A. Sinclair, London: Penguin Books, 1981. [3]

<sup>4</sup>Siehe E. Allison Peers, Fool of Love: The Life of Ramon Lull, London: S. C. M. Press, Ltd., 1946. [3]

<sup>5</sup>Siehe [http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's\\_robot](http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's_robot). [4]

<sup>6</sup>Thomas Hobbes, The Leviathan, paperback edition, Kessinger Publishing, 2004. [Für die Übersetzung siehe: [http://www.welcker-online.de/Texte/Hobbes/leviathan\\_einf.pdf](http://www.welcker-online.de/Texte/Hobbes/leviathan_einf.pdf)] [4]

<sup>7</sup>George B. Dyson, Darwin Among the Machines: The Evolution of Global Intelligence, S. 7, Helix Books, 1997. [4]

<sup>8</sup>Für eine Website zu Automaten und Spieluhren siehe [http://www.automates-anciens.com/english\\_version/frames/english\\_frames.htm](http://www.automates-anciens.com/english_version/frames/english_frames.htm). [4]

<sup>9</sup>Aus Jacques de Vaucanson, „An account of the mechanism of an automaton, or image playing on the German-flute: as it was presented in a memoire, to the gentlemen of the Royal-Academy of Sciences at Paris. Von M. Vaucanson ... Together with a description of an artificial duck...“ Übersetzt aus dem französischen Original von J. T. Desaguliers, London, 1742. Online verfügbar unter <http://e3.uci.edu/clients/bjbecker/NatureandArtifice/week5d.html>. [4]

<sup>10</sup>[http://www.automates-anciens.com/english\\_version/automatons-music-boxes/vaucanson-automatons-androids.php](http://www.automates-anciens.com/english_version/automatons-music-boxes/vaucanson-automatons-androids.php). [5]

<sup>11</sup>de Vaucanson, Jacques, a.a.O. [5]

<sup>12</sup>Vielen Dank an Prof. Barbara Becker von der University of California, Irvine, für den Hinweis auf die Websites unter: [automates-anciens.com](http://www.automates-anciens.com). [6]

<sup>13</sup><http://jerz.setonhill.edu/resources/RUR/index.html>. [6]

<sup>14</sup>Für eine Übersetzung des Zeitungsartikels mit dem Titel „The Author of Robots Defends Himself“ ins Englische siehe <http://www.depauw.edu/sfs/documents/capek68.htm>. [7]

<sup>15</sup>Aus einer von mehreren Websites zu Čapek siehe <http://Capek.misto.cz/english/robot.html>. Siehe auch <http://Capek.misto.cz/english/>. [7]

<sup>16</sup>Laut der Website zu Isaac Asimov, <http://www.asimovonline.com/>, stammt der Titel nicht von Asimov selbst, sondern von seinem Verleger, der sich den Titel von einer Kurzgeschichte von Eando Binder, erschienen 1939, „ausgeliehen“ hat. [7]

<sup>17</sup>Siehe [http://www.asimovonline.com/asimov\\_FAQ.html#series13](http://www.asimovonline.com/asimov_FAQ.html#series13) für Informationen über die Entstehung dieser vier Gesetze. [8]