

Artificial Life (dt. Künstliches Leben), die analog zu ›Artificial Intelligence‹ (↑Intelligenz, künstliche) gebildete Bezeichnung für ein heterogenes Forschungsgebiet, in dem (a) anhand von Computerprogrammen und Robotern untersucht wird, welche strukturellen Bedingungen hinreichend für ↑Leben bzw. für bestimmte biologische Phänomene sind, und (b) in Anlehnung an biologische Vorgänge neuartige Algorithmen oder Mechanismen entworfen werden. Typisch für beide Ansätze sind Systeme, die aus vielen gleichartigen Komponenten zusammengesetzt sind und sich nach einfachen lokalen Regeln entwickeln, wobei es durch ↑Selbstorganisation zur Emergenz (↑emergent/Emergenz) komplexer globaler Gesetzmäßigkeiten kommt; Komplexität, die nicht von einem ebenso komplexen Bauplan herrührt, sondern sich aus dem Befolgen eines einfachen Rezeptes ergibt.

Als Pioniere der A.-L.-Forschung können A. M. Turing (Turing 1952) und J. von Neumann betrachtet werden. Von Neumann wies die prinzipielle Möglichkeit der *Selbstreproduktion* sowohl für physikalische als auch für abstrakte ↑Automaten, so genannte *zelluläre Automaten*, nach (von Neumann 1966, Burks 1970). Solcher zellulärer Automaten bedient sich auch das Solitärspiel *Life* des Mathematikers J. Conway, in dem neben sich selbst reproduzierenden Strukturen auch Universelle ↑Turing-Maschinen konstruiert werden können (Gardner 1983, Poundstone 1985).

Neuere A.-L.-Projekte reichen von der Modellierung relativ spezieller biologischer Phänomene bis hin zu Versuchen, ganze Evolutionsprozesse (↑Evolution) im Medium des Computers in Gang zu setzen. So konkurrieren in T. Rays *Tierra*-Programm Stücke des Speicherinhaltes miteinander um die Rechenzeit, die sie zur Vervielfältigung benötigen. Der Kopierprozeß macht gelegentlich zufällige Fehler (↑Mutation), unterschiedliche Kopien haben unterschiedlichen Fortpflanzungserfolg, und schadhafte Kopien werden nach einiger Zeit entfernt (↑Selektion). Bei den sich daraus ergebenden Evolutionsprozessen treten spontan Phänomene wie Parasitismus, Kooperation und ›Betrug‹ (das Ausnützen des kooperativen Verhaltens anderer ohne Gegenleistung) auf (Ray 1992).

In Rays Programm wird den ›Replikatoren‹ (Dawkins 1976) durch den Experimentator keine *explizite* Richtung vorgegeben, in die sie sich entwickeln müssen (etwa durch eine aufgesetzte Fitness-Funktion, die über den Fortpflanzungserfolg entscheidet). Welche Replikatoren erfolgreich sind – bzw.: was Fitness ist –, wird vielmehr implizit durch ihre Umwelt festgelegt, d.h., durch die Eigenschaften des Kopier- und Selektionsverfahrens und durch den sich wandelnden Bestand an konkurrierenden Replikatoren.

J. H. Holland hingegen nutzt mit seinen *Genetischen Algorithmen* gezielt die gestalterische Kraft des ›evolutionären Algorithmus‹ (Dennett 1995), um bessere (und überraschende) Lösungen für vorgegebene Probleme zu finden. Genetische Algorithmen sind Zahlenfolgen, die als Verfahren zur Lösung einer Klasse von Problemen interpretiert werden können. Als Selektionskriterium wird hier der Erfolg beim Problemlösen verwendet, wodurch die Entwicklungsrichtung explizit vorgegeben ist.

Noch bessere Ergebnisse erzielt man, wenn man einen ›Rüstungswettlauf‹ zwischen Lösungen und Problemen hervorruft, indem man auch die Vertreter

der Problemklasse als Genetische Algorithmen darstellt und sie einer Evolution parallel zu der der Lösungen unterzieht. Dadurch wird verhindert, daß die Lösungen sich zu sehr auf eine bestimmte Teilklasse von Problemen spezialisieren (Holland 1975, 1992, Hillis 1992). Eine Variante dieses Verfahrens wurde verwendet, um zu untersuchen, welche Algorithmen am erfolgreichsten beim iterierten ↑*Gefangenendilemma* abschneiden, in Abhängigkeit davon, mit welchen anderen Algorithmen sie zu tun haben (Axelrod/Hamilton 1981, Axelrod 1984, Lindgren 1992, Dawkins 1989, Kap. 12).

Auch die konnektionistische Künstliche Intelligenz kann als eine Art von A.-L.-Forschung aufgefaßt werden, und in den ↑Sozialwissenschaften kommen unter der Bezeichnung ›Artificial Societies‹ ebenfalls A.-L.-Methoden zur Anwendung (Gilbert 1995, Epstein/Axtell 1996).

Das wichtigste Verdienst von A. L. ist es, ein völlig neuartiges Experimentierfeld für Fragen der theoretischen ↑Biologie eröffnet zu haben. Bis dahin war diese, mangels der Entdeckung außerirdischen Lebens, auf die Untersuchung einer einzigen Sorte von Leben angewiesen, der irdischen. In Form von A.-L.-Programmen stehen nun quasi künstliche Welten zur Verfügung, in denen man informationelle ›Wesen‹ nach frei wählbaren Regeln interagieren lassen kann, um dann zu beobachten, was für höherstufige Phänomene sich aus den jeweiligen Regeln ergeben. Dabei kann man die relevanten Parameter variieren und so experimentell herausfinden, welches die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für verschiedene Sorten von selbstorganisierter Komplexität sind.

A. L. erforscht also Leben ›bottom-up‹, auf synthetischem Wege, indem versucht wird, biologische Phänomene *hervorzubringen*, wohingegen die Biologie es ›top-down‹, analytisch, untersucht, indem sie *aktuelle* biologische Systeme zu verstehen versucht. Daher bezeichnet C. G. Langton A. L. als ›the biology of possible life‹ (in: Boden 1996, S. 39).

Wie bei der Künstlichen Intelligenz stellt sich auch bei A. L. die Frage nach der Trennlinie zwischen ↑*Simulation* und *Realisierung*. Kann eine hinreichend realistische und detailgenaue Simulation von Leben (bzw. ↑Bewußtsein) eine Realisierung desselben (in einem anderen Substrat) sein? Auf diese Weise stellt sich insbes. die Frage neu, was Leben eigentlich sei. Der Einwand, das Ablauen eines Programmes könne nicht genügen, damit ein Computer lebendig zu nennen wäre, greift dabei zu kurz: Es geht nicht um das Lebendig-Sein des Computers in der materiellen Welt, sondern um das von informationellen Entitäten in der vom Programm konstituierten künstlichen Welt.

Literatur: R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, New York 1984, London etc. 1997 (dt. *Die Evolution der Kooperation*, München 1987, 4. Aufl. 1997); ders./W. D. Hamilton, *The Evolution of Cooperation*, *Science* 211 (1981), 1390–1396; M. A. Bedau, A. L., in: *The Cambridge Dictionary of Philosophy*, 1st ed., Cambridge/New York/Oakleigh 1995, 50 f. (2nd ed., Cambridge/New York/Oakleigh/Madrid 1999, 57 f.); M. A. Boden (ed.), *The Philosophy of A. L.*, Oxford etc. 1996; A. W. Burks (ed.), *Essays on Cellular Automata*, Champaign-Urbana 1970; R. Dawkins, *The Selfish Gene*, New York/Oxford 1976, new ed. Oxford 1989 (dt. *Das egoistische Gen*, erg. u. überarb. Neuauf., Heidelberg/Berlin/Oxford 1994); D. C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Mean-*

ings of Life, New York 1995 (dt. Darwins gefährliches Erbe. Die Evolution und der Sinn des Lebens, Hamburg 1997); J. Epstein/R. Axtell, Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up, Cambridge Mass. 1996; M. Gardner, Wheels, Life, and Other Mathematical Amusements, Kap. 20–22, New York/San Francisco 1983; N. Gilbert, Artificial Societies. The Computer Simulation of Social Life, London 1995; W. D. Hillis, Co-Evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization Procedure, in: Langton et al., 1992, a.a.O., 313–324; J. H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence, Ann Arbor Mich. 1975; ders., Genetische Algorithmen, Spektrum d. Wiss. 1992, H. 9, 44–51; C. G. Langton (ed.), A. L.. Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings 6), Reading Mass. 1989; ders., A. L., in: C. G. Langton (ed.), 1989, a.a.O., 1–49 (auch in: M. A. Boden [ed.], 1996, a.a.O., 39–94); ders./C. Taylor/J. D. Farmer/S. Rasmussen (eds.), A. L. II, Reading Mass. 1992; ders., A. L.. An Overview, Cambridge Mass. 1998; K. Lindgren, Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics, in: C. G. Langton et al. (eds.), 1992, a.a.O., 295–312; J. von Neumann, Theory of Self-Reproducing Automata, edited and completed by A. W. Burks, Urbana Ill. 1966; W. Poundstone, The Recursive Universe. Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge, New York 1985, Oxford 1987; T. S. Ray, An Approach to the Synthesis of Life, in: C. G. Langton et al. (eds.), 1992, a.a.O., 371–408 (auch in: M. A. Boden [ed.], 1996, a.a.O., 111–145 [ohne Appendices]); C. W. Reynolds, Flocks, Herds, and Schools. A Distributed Behavioral Model, Proceedings of SIGGRAPH '87, Computer Graphics V 21/4 (1987), 25–34; M. Sipper/J. A. Reggia, Roboter, die sich selbst vermehren, Spektrum d. Wiss. 2002, H. 4, 26–33; A. Thompson, Hardware Evolution. Automatic Design of Electronic Circuits in Reconfigurable Hardware by Artificial Evolution, London/Berlin/Heidelberg 1998; A. M. Turing, The Chemical Basis of Morphogenesis, Philos. Transact. Royal Soc., Series B, 237 (1952), 37–72; S. Wolfram, A New Kind of Science, Champaign Ill. 2002; weitere Literatur: s. Boden 1996, bes. S. 397–400. C. B.