**Zustandsautomaten / Endlicher Automat**

**Allgemein**

Ist ein Modell eines Verhaltens, bestehend aus Zuständen, Zustandsübergängen und Aktionen. Ein Endlicher Automat (EA) ist ein Spezialfall aus der Menge der Automaten.

**Zustand**

Ein Zustand kann Informationen über die Vergangenheit beinhalten, da das System ihn ja auf dessen bisherigem Weg erreicht hat. D.h., er reflektiert die Änderungen der Eingabe seit dem Systemstart bis jetzt.

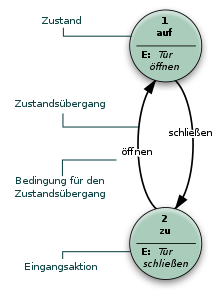
**Zustandsübergang**

Ein Zustandsübergang ist ein Übergang aus dem aktuellen Zustand in einen neuen/anderen Zustand. Es kommt dazu, wenn die angegebenen logischen Bedingungen/Eingaben vorliegen, die erfüllt sein müssen, um den Übergang zu ermöglichen.

**Aktion**

Eine Aktion ist die Ausgabe des Endlichen Automaten, die in einer bestimmten Situation erfolgt:

* **Eingangsaktion**: Aktion wird ausgeführt bei Eintritt in einen Zustand
* **Ausgansaktion**: Aktion wird bei Verlass eines Zustands generiert
* **Eingabeaktion**: Aktion wird abhängig von aktuellem Zustand und Eingabe generiert, ein Zustand kann also mehrere Aktionen beinhalten (werden abhängig davon ausgeführt)
* **Übergangsaktion**: Aktion wird abhängig /während eines Zustandsübergangs ausgeführt

**Darstellung**

Ein EA kann als Zustandsübergangsdiagramm dargestellt werden.

Zusätzlich werden mehrere Typen von Übergangstabellen benutzt. Die folgende Tabelle zeigt eine sehr verbreitete Form von Übergangstabellen: Die Kombination aus dem aktuellen Zustand (B) und Eingabe (Y) führt zum nächsten Zustand (C). Die komplette Information über die möglichen Aktionen wird mit Hilfe von Fußnoten angegeben. Eine Definition des EA, die auch die volle Ausgabeinformation beinhaltet, ist mit Zustandstabellen möglich, die für jeden Zustand einzeln definiert werden.

Ein Bild, das Tisch enthält.

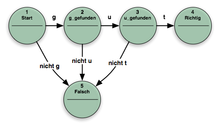
Automatisch generierte Beschreibung

Die Definition des EA wurde ursprünglich in der [Automatentheorie](https://de.wikipedia.org/wiki/Automatentheorie) eingeführt und später in der Computertechnik übernommen.

Zustandsmaschinen werden hauptsächlich in der Entwicklung digitaler Schaltungen, Modellierung des Applikationsverhaltens (Steuerungen), generell in der Softwaretechnik sowie Wort- und Spracherkennung benutzt.

**Klassifizierung**

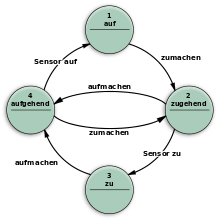
**Akzeptoren**: akzeptieren & erkennen die Eingabe und signalisieren durch ihren Zustand das Ergebnis nach außen. In der Regel werden Symbole (Buchstaben) als Eingabe benutzt. Die Abbildung zeigt einen EA, der das Wort „gut“ akzeptiert. Akzeptoren werden vorwiegend in der Wort- und Spracherkennung eingesetzt.



**Transduktion**: generieren Ausgaben in Abhängigkeit von Zustand und Eingabe mit Hilfe von Aktionen. Sie werden vorwiegend für Steuerungsaufgaben eingesetzt, wobei grundsätzlich zwei Typen unterschieden, werden:

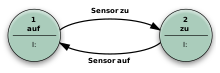
* **Moore-Automat**

Im Moore-Modell werden nur Eingangsaktionen benutzt. Das Verhalten eines Moore-Automaten ist dadurch, verglichen mit dem Mealy-Modell, einfacher und leichter zu verstehen. Das Beispiel in der Abbildung zeigt einen Moore-Automaten, der eine Aufzugstür steuert. Die Zustandsmaschine kennt zwei Befehle „aufmachen“ und „zumachen“, die von einem Benutzer eingegeben werden können. Die Eingangsaktion im Zustand „Aufgehend“ startet eine Motor, der die Tür öffnet und die Eingangsaktion im Zustand „Zugehend“ startet den Motor in entgegengesetzter Richtung. Die Eingangsaktionen in den Zuständen „Auf“ und „Zu“ halten den Motor an. Sie signalisieren außerdem die Situation nach außen (z. B. zu anderen EA).



* **Mealy-Automat**

Im [Mealy-Modell](https://de.wikipedia.org/wiki/Mealy-Automat) werden Eingabeaktionen benutzt, d. h., die Ausgabe{\displaystyle \Gamma } hängt von Zustand{\displaystyle S} und Eingabe{\displaystyle \Sigma } ab. Der Einsatz von Mealy-Automaten führt oft zu einer Verringerung der Anzahl zu berücksichtigender Zustände. Die Funktion des EA ist dadurch komplexer und oft schwieriger zu verstehen. Das Beispiel in der Abbildung zeigt einen Mealy-EA, der das gleiche Verhalten wie der EA im Moore-Beispiel aufweist. Dabei gibt es zwei Eingabeaktionen mit „starte den Motor, um die Tür zu schließen, wenn die Eingabe ‚zumachen‘ erfolgt“ und „starte den Motor in entgegengesetzter Richtung, um die Tür zu öffnen, wenn die Eingabe ‚aufmachen‘ erfolgt“.



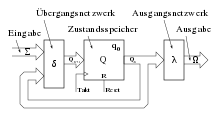
Sofern das zeitliche Verhalten unberücksichtigt bleiben kann, sind Moore- und Mealy-Automaten gleichwertig. Unter dieser Voraussetzung kann, der eine in den jeweils anderen überführt werden; oft werden in der Praxis Mischmodelle benutzt. Im Bereich des synchronen Systemdesigns ([Digitalelektronik](https://de.wikipedia.org/wiki/Digitalelektronik)) dagegen gibt es wichtige Unterschiede, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Diese betreffen sowohl die unterschiedliche Zahl von Zuständen als auch die zeitliche Charakteristik der generierten Kontrollsignale.

Eine weitere Klassifizierung der EA wird durch die Unterscheidung zwischen [deterministischen](https://de.wikipedia.org/wiki/Deterministischer_endlicher_Automat) (DEA) und [nicht-deterministischen](https://de.wikipedia.org/wiki/Nichtdeterministischer_endlicher_Automat) (NEA) Automaten gemacht. In den deterministischen Automaten existiert für jeden Zustand genau ein Übergang für jede mögliche Eingabe. Bei den nicht-deterministischen Automaten kann es keinen oder auch mehr als einen Übergang für die mögliche Eingabe geben.

Ein EA, der nur aus einem Zustand besteht, wird als kombinatorischer EA bezeichnet. Er benutzt nur Eingabeaktionen.

**Die Logik des EA**

Der nächste Zustand und die Ausgabe des EA ist eine Funktion der Eingabe und des aktuellen Zustandes. Die Abbildung zeigt den Ablauf der Logik.

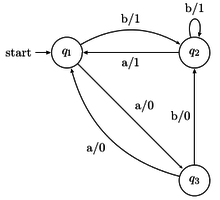


**Optimierung**

Ein EA wird optimiert, indem die Zustandsmaschine mit der geringsten Anzahl von Zuständen gefunden wird, die die gleiche Funktion erfüllt. Dieses Problem kann zum Beispiel mit Hilfe von [Färbungsalgorithmen](https://de.wikipedia.org/wiki/F%C3%A4rbung_(Graphentheorie)) gelöst werden.

**Homing-Folgen und UIO-Folgen**

**Homing-Folgen**: (auch Homing-Sequenz) ist eine Folge von Eingaben, sodass sich anhand der Ausgaben bestimmen lässt, in welchem Zustand sich die Maschine danach befindet. Dadurch kann bei stark zusammenhängenden Zustandsmaschinen sehr leicht eine Folge gefunden werden, um wieder zum Initialzustand zurückzukehren, also nach Hause. Jede minimale Zustandsmaschine besitzt eine Homing-Folge. In der Abbildung sehen Sie ein Beispiel von der Maschine.



**UIO-Folgen** (Unique-Input-Output-Folge) ist eine Folge von Eingaben, um anhand der Ausgaben zu bestimmen, aus welchem Zustand man gestartet ist. Eine solche Folge existiert nicht immer, das Problem, eine zu finden ist PSPACE-vollständig.

**Implementierung**

**Hardware**: In digitalen Schaltungen werden EA mit Hilfe von speicherprogrammierbaren Steuerungen, logischen Gattern, Flip-Flops oder Relais gebaut. Eine Hardwareimplementation benötigt normalerweise ein Register, um die Zustandsvariable zu speichern, eine Logikeinheit, die die Zustandsübergänge bestimmt, eine zweite Logikeinheit, die für die Ausgabe verantwortlich ist, sowie einen Taktgeber oder ein Verzögerungsglied, um zwischen vorherigem, aktuellem und nachfolgendem Zustand weiterschalten/unterscheiden zu können.

**Software**: In der Softwareentwicklung werden meist folgende Konzepte verwendet, um Applikationen mit Hilfe von Zustandsmaschinen zu modellieren bzw. implementieren:

* [Ereignisgesteuerter endlicher Automat](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ereignisgesteuerter_endlicher_Automat&action=edit&redlink=1)
* [Virtueller endlicher Automat](https://de.wikipedia.org/wiki/Virtueller_endlicher_Automat)

**Reale Computer als EA-Server**: Alle in der wirklichen Welt existenten digitalen [Computer](https://de.wikipedia.org/wiki/Computer) haben eine endliche Speichergröße und können somit nur eine endliche (wenn auch sehr hohe) Zahl von digitalen Schaltzuständen annehmen. Sie lassen sich daher als Teilmenge der endlichen Automaten betrachten. Jedoch ist es für theoretische Betrachtungen oft nützlicher, sie stattdessen als Teilmenge leistungsfähigerer Automatenmodelle, wie etwa der [Turingmaschine](https://de.wikipedia.org/wiki/Turingmaschine), zu betrachten.

Darstellung

**Turingmaschine** auf einer Folie zusätzlich