

# Moore's Law

Mitja Schmakeit

6. Juni 2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Das Gesetz</b>	<b>2</b>
2.1	Ursprung . . . . .	2
2.2	Etablierte Fassung . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Einhaltung des Gesetzes</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Grenzen</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Zukunft</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>5</b>

# 1 Einleitung

In dieser Arbeit geht es um eine Betrachtung der Gründe der andauernden Gültigkeit von *Moore's Law* (dt. *Mooresches Gesetz*), welches seit 1965 in einer Urfassung existiert und in einer überarbeiteten Fassung bis heute bestand hat. Es wurde von Gordon Moore 1965 im Artikel „Cramming more components onto integrated circuits“ begründet, Carver Mead prägte den eigentlichen Begriff „Moore's Law“ dann um 1970. Moore selbst korrigierte sein Gesetz 1975 noch einmal, nachdem er in der Urfassung auch lediglich von 10 Jahren sprach, in denen das Gesetz so gelten sollte.

## 2 Das Gesetz

### 2.1 Ursprung

In seiner Ursprungsfassung besagt Moores Law, dass sich die Anzahl an Komponenten in einem einzigen integrierten Schaltkreis bei minimalen Kosten jedes Jahr verdoppelt. [Moo65] Unter *Komponenten* sind hierbei beliebige Schaltkreiskomponenten zu verstehen. Der integrierte Schaltkreis sollte dabei auf einen Wafer passen.

Over the longer term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remphain nearly constant for at least 10 years. That means by 1975, the number of components per integrated circuit for minimum cost will be 65,000.

I believe that such a large circuit can be built on a single wafer.

Eine bestimmte Komponentengröße ist zu einem bestimmten Zeitpunkt immer am kostengünstigsten. Wenn man mit dieser Komponentengröße den gesamten Wafer füllt, so erreicht man *minimale Kosten*. Es ist immer möglich, die Komponenten noch weiter zu verdichten und so eine höhere Anzahl an Komponenten pro integriertem Schaltkreis zu erzielen, jedoch sind dann keine minimalen Kosten mehr gegeben und der produzierte Schaltkreis fällt nicht mehr unter Moore's Law.

### 2.2 Etablierte Fassung

Zehn Jahre nach Moore's Artikel änderte er sein Gesetz ab: Die Dichte sollte sich nun nicht mehr Jährlich, sondern nur noch alle zwei Jahre verdoppeln. („The new slope might approximate a doubling every two years,

rather than every year, by the end of the decade“ [Moo75]) Oft wird heute davon geschrieben, dass das Gesetz eine Verdopplung alle 18 Monate besage. Diese Änderung des Zeitraums kommt aber nicht von Moore, wie er auch selbst sagt, sondern von David House, einer Führungskraft von Intel. Real gesehen verdoppelt sich die Leistung etwa alle 20 Monate, womit David House mit seiner Abschätzung näher lag als Moore selbst [Kan03].

Statt von *Schaltkreiskomponenten* wird heute im spezifischen von *Transistoren* gesprochen, da diese den überragenden Großteil eines integrierten Schaltkreises ausmachen. Auch die Bezugsgröße hat sich teilweise anders etabliert, als in Moore's Urfassung. So beziehen manche Quellen die Anzahl der Transistoren nicht auf einen Wafer oder Chip, sondern auf die Fläche. So wird vermieden, dass lediglich die Chips größer werden, um Moore's Law zu genügen.

### 3 Einhaltung des Gesetzes

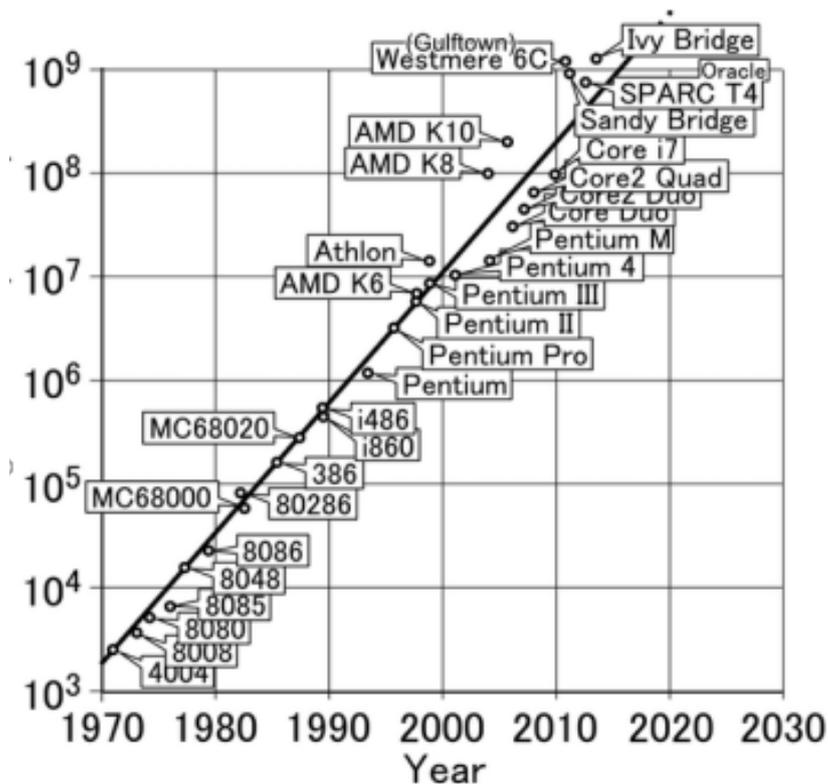


Abbildung 1: Veranschaulichung der Einhaltung des Gesetzes von 1971 bis 2011

Wie in Abbildung 1 ersichtlich wurde Moore's Law bislang sehr gut eingehalten. Dies ist einerseits der guten Voraussage von Moore geschuldet - andererseits versuchen auch die Hersteller das Gesetz einzuhalten. So ist es mittlerweile zu einer Art selbsterfüllenden Prophezeiung geworden („Its research aims at technology that will support Moore's law in the next five to eight years.“ [Ham99], „Wir sind also zuversichtlich, das so genannte "Moore'sche Gesetz" noch eine ganze Weile erfüllen zu können.“ [mac09]).

## 4 Grenzen

Die Einhaltung des Gesetzes ist mit nicht zu verachtenden immer stärker steigenden Kosten verbunden. „Pessimisten“ sehen deshalb ein paar mögliche Grenzen, an denen das Gesetz aufhört zu gelten und die Anzahl Transistoren pro Chip nur noch deutlich langsamer wächst oder sogar stagniert:

- Sobald die Transistoren nur noch ein paar Atome groß sind, kommt es zu gewissen physikalischen Effekten<sup>1</sup>.
- Die Verbindungen zwischen Transistoren können nicht mehr problemlos so klein gemacht werden, wie sie sein müssten. Sie verlangsamen so den Schrumpfungsprozess der gesamten Technologie<sup>2</sup>.
- Da mit jeder Verdichtung der Transistoren mehr bzw. schwerer zu überwindende Probleme auftreten, muss immer mehr Aufwand betrieben werden um Lösungen dazu zu finden. Dies resultiert in immer größer und somit schwerer managbaren Teams von Forschern und deutlich höheren Kosten. Früher oder später wird ein Punkt kommen, an dem sich ein weiterer Ausbau des Forschungsetats nicht mehr lohnt, weil das Endprodukt zu teuer wäre. In diesem Fall würde die Forschung deutlich langsamer werden.

## 5 Zukunft

Die Gültigkeit des Gesetzes in der Zukunft wurde immer wieder angezweifelt. Mittlerweile gelten Verfahren zur Verkleinerung der Transistorengröße bis über 2020 hinaus als gesichert<sup>3</sup>. Dennoch kann man davon ausgehen, dass

---

<sup>1</sup>Tunneleffekt

<sup>2</sup>„Interconnect has been represented as the technology thrust with the largest potential technology gaps.“

<sup>3</sup>Stichwort „Gate-All-Around Transistors“, siehe [Hel13]

das Gesetz nicht für immer gelten wird: Spätestens beim Erreichen weniger kleinster Teilchen ist Schluss. Auch durch Entwicklung vollständig anderer Technologien wie Quantentechnik, bei denen Transistoren eine deutlich untergeordnete Rolle spielen, würde Moore's Law obsolet machen.

## **6 Fazit**

Gordon Moore hat 1965 eine Aussage getroffen, von deren andauernder Gültigkeit er selbst überrascht war. Nachdem die Chipbauer das Gesetz immer wieder für ihre Zukunftspläne hernehmen und danach agieren, erfüllt sich die Prophezeiung selbst: Es wird immer stärker versucht, mit der Technik hinterherzukommen. In der Vergangenheit wurde das immer geschafft - wie lange das in der Zukunft noch klappt, ist unklar - mindestens aber für die nächsten 7 Jahre.

## Literatur

- [Ham99] S. Hamilton. Taking moore's law into the next century. *Computer*, 32:43–48, 1999.
- [Hel13] Alexander Hellemans. Nanowire transistors could keep moore's law alive. Website, 2013. Abrufbar unter „<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/nanowire-transistors-could-keep-moores-law-alive>“; abgerufen am 06. Juni 2013.
- [Kan03] Michael Kanellos. Moore's law to roll on for another decade. Website, 2003. Abrufbar unter „<http://news.cnet.com/2100-1001-984051.html>“; abgerufen am 06. Juni 2013.
- [mac09] macgadget. Interview mit Martin Strobel, Pressesprecher von Intel Deutschland. Website, 2009. Abrufbar unter „<http://www.macgadget.de/News/2009/10/19/W>“; abgerufen am 06. Juni 2013.
- [Moo65] G. E. Moore. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38:114–117, 1965.
- [Moo75] G. E. Moore. Progress in digital integrated electronics. *Electron Devices Meeting*, 21:11–13, 1975.