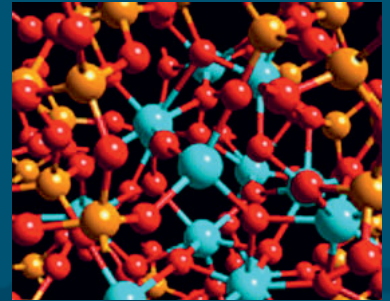
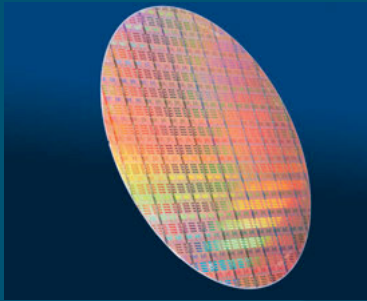


Walter Hehl



# Trends in der Informationstechnologie

Von der Nanotechnologie zu virtuellen Welten

v/dlf



**Walter Hehl**

# **Trends in der Informationstechnologie**

**Von der Nanotechnologie zu virtuellen Welten**

**v/d/f**

**vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich**

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

### **Coverabbildungen**

Vorderseite (von links nach rechts):

- IBM Watson Research Center, Mark Podlaseck: künstlerische Verbindung von virtueller und realer Welt
- Aufnahme des Autors: experimenteller 200-mm-Siliziumwafer von IBM
- IBM Forschungslabor Zürich: Simulation einer Hafniumdioxid-Schicht

Rückseite (von links nach rechts):

- Avatar des Autors in Second-Life-Umgebung (Snapshot), erstellt von Marcel Begert, IBM Forschungslabor Zürich
- IBM Böblingen: Ausschnitt aus dem Cell-Chip von STI
- IBM Hursley, Ian Hughes: Second-Life-Simulation eines Tennis-Turniers in Wimbledon

ISBN: 978-3-7281-3174-4 (Printausgabe)

ISBN: 978-3-7281-3381-6 (eBook)

Doi-Nr.: 10.3218/3381-6

[www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch)

[verlag@vdf.ethz.ch](mailto:verlag@vdf.ethz.ch)

© 2008, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Die exponentielle Entwicklung der Grundtechnologien.....</b>	<b>13</b>
1.1 Exponentielles Wachstum: Bis jetzt und weiter .....	13
1.1.1 Warum Exponentialgesetze? Das Beispiel der Entwicklung der mobilen Kommunikation.....	15
1.1.2 Exponentialgesetz und „Redshift“-Systeme .....	17
1.1.3 Moore’sches Gesetz und Evolution .....	19
1.2 Aktuelle Aufgaben in der Chiptechnologie und das Problem des Stromverbrauchs.....	19
1.3 Nanotechnologie und IT .....	21
1.4 Grüne IT (I) .....	25
1.5 Schlussbemerkungen zu Grundtechnologien und das „Gesetz von Gilder“ .....	28
<b>2 Trends im Computer System Design.....</b>	<b>31</b>
2.1 Exponentielles Wachstum der Systeme: übergrosse Systeme (Ultra Large Systems).....	31
2.2 Wissenschaftlich-technische Systeme und ihre wachsende Bedeutung .....	33
2.3 Spielekonsolen und andere optimierte Systeme, „Accelerators“ und flüssige Architekturen.....	35
2.4 Der Trend zu tiefem Parallelismus .....	37
<b>3 Sensoren überall .....</b>	<b>41</b>
3.1 Miniaturisierung und Entmaterialisierung .....	41
3.2 Ereignisgetriebene Systeme und Cyberphysik.....	44
3.2.1 Elektromog – elektromagnetische Strahlung in der Welt des Pervasive Computing .....	47
3.3 Neue Dienste in Industrie- und Schwellenländern .....	49
3.3.1 Privater Verkehr und Transportwesen .....	50
3.3.2 Präsenzdienste (Presence Services) und umgekehrter Datenschutz (Reversal of Defaults).....	51

3.3.3	Lifelogging als ultimativer Präsenzdienst .....	53
3.3.4	Mobile Dienste an der Basis.....	54
3.4	Grüne IT (II) .....	58
<b>4</b>	<b>Softwarerends .....</b>	<b>65</b>
4.1	Software zwischen Vermächtnis und Moderne .....	65
4.1.1	Die Rolle der Software .....	65
4.1.1.1	Open Source als sozial-technischer Trend.....	68
4.1.2	Komplexität und Softwaresysteme .....	70
4.2	Die Kongruenz von Software und Unternehmensprozessen und das „Gesetz von Coase“ .....	73
4.2.1	Programmierung mit Modellsprachen (MDD).....	73
4.2.2	Orchestrierung, Choreographie und Mobilität von Diensten .....	74
4.3	Software und Integrität in Unternehmen .....	76
4.4.	Leichte Software und leichte Information (Web 2.0) .....	79
<b>5</b>	<b>Digitale Gemeinschaften (Communities) und virtuelle Welten .....</b>	<b>89</b>
5.1	Soziales Computing.....	89
5.2	Entwicklungsstufen der Zusammenarbeit.....	90
5.3	Virtuelle Welten und die reale Welt.....	94
5.3.1	Virtuelle Welten .....	95
5.3.2	Kommunikation und Gruppen in virtuellen Welten.....	98
5.3.3	Virtuelle Welten, reale Welt und zurück .....	99
<b>6</b>	<b>Trends in Services .....</b>	<b>105</b>
6.1	Der gesellschaftliche Trend zu Dienstleistungen .....	105
6.2	Mathematik und IT: mathematische „Business Optimization“ .....	111
6.3	Visualisierung von Daten .....	114
6.4	Die Zukunft von Services: auf dem Weg zum Serviceingenieur .....	116
6.5	Physische Services: Dienste durch Roboter .....	118
6.5.1	Einführung und Marktkategorien .....	118
6.5.2	Persönliche Servicecomputer und Roboter „2.0“ .....	119
6.5.3	Menschliche Gefühle und Roboter: das unheimliche Tal .....	121

---

<b>7</b>	<b>IT und Innovation: Schlussgedanken .....</b>	<b>127</b>
7.1	Innovation in Unternehmen .....	127
7.1.1	Innovation und innere Widersprüche.....	127
7.1.2	Unternehmen, Software, Computerspiele: Entscheidungen in Unsicherheit.....	128
7.1.3	Ebenen der Innovation.....	129
7.2	Innovation und IT.....	130
7.2.1	Lebenszyklen von Technologien.....	130
7.2.2	Innovation mit IT in Unternehmen.....	134
7.3	Innovation und IT in der Dritten Welt.....	137
7.4	Schlussbemerkungen .....	138
7.4.1	Digitale Gräben und „Bifurkationen“ .....	138
7.4.2	Digitale Konvergenzen .....	140
<b>8</b>	<b>Die Kernaussagen in Kurzform: „Executive Summaries“ .....</b>	<b>143</b>
8.1	Empfehlungen und Kernaussagen zu den Abschnitten.....	144
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>149</b>
9.1	Abkürzungen und Akronyme in der IT: Vorbemerkungen.....	149
9.2	Verwendete Abkürzungen .....	150
9.3	Auswahl der verwendeten Fachausdrücke .....	153
9.4	Ausgewählte Referenzen .....	157
9.5	Farbige Abbildungen .....	163
<b>Dank</b>	.....	<b>174</b>
<b>Register</b>	.....	<b>175</b>

## Folgende Publikationen könnten Sie auch interessieren:



### **Projektmanagement – Das Wissen für den Profi**

ISBN 978-3-7281-3290-1



### **Sterben und Erben in der digitalen Welt**

ISBN 978-3-7281-3545-2



### **Berufe der ICT, 42 Informatik-Berufsbilder und die notwendigen Kompetenzen**

ISBN 978-3-7281-3536-0

Weitere Informationen und  
Leseproben finden Sie online  
unter **[vdf.ethz.ch](http://vdf.ethz.ch)**



# Vorwort

Der Begriff der Informationstechnologie oder der „IT“ ([ai ti:]) ist eine Übertragung aus dem Englischen: Er ist in heutiger Verwendung so breit angelegt wie die Anwendungen der IT selbst, und er reicht von Informatik, Computertechnik und Nachrichtentechnik bis hin zu den psychologischen und sozialen Aspekten der Informationsverarbeitung. Wir wollen im folgenden IT auch als IKT oder ICT (Informations- und Kommunikationstechnologie, Information Communication Technology) verstehen, also die Kommunikationsseite der Information einbeziehen.

IT ist in praktisch alle Bereiche der Gesellschaft eingedrungen. Ob Naturwissenschaftler oder Ingenieur, Geisteswissenschaftler, Betriebswirt, Unternehmer oder einfach „Consumer“, wir sind alle Nutzer und Objekte der Informationstechnologie. Ein anderer Aspekt der IT betrifft die zeitliche Dimension, nämlich die hohe Geschwindigkeit der IT-Weiterentwicklung. Die rasante IT-Entwicklung beeinflusst nicht nur alle primären IT-Bereiche wie technische Informatik, Wirtschaftsinformatik und Softwareentwicklung, sondern auch alle Anwendungsbereiche von der Ausbildung über die Medien zur Politik. Überall erzeugt die IT Veränderungen, positiv bewertet als Innovationen, negativ assoziiert mit Problemen oder zumindest mit Ängsten. Es gibt keinen Stillstand, sondern eine Übereinstimmung mit der Dynamik des globalen Wirtschaftssystems: Wissenschaft, Technik und Informatik sind eine globale Allianz mit der Wirtschaft eingegangen!

Dieser Leitfaden will einige der aktuellen Entwicklungen und Trends in der IT aufzeigen. Das Spektrum reicht dabei von physikalischen und elektrotechnischen Grundlagen (ohne Formeln) bis zu sozialen Trends. Das Schwergewicht liegt auf den technischen Entwicklungstrends selbst, auf den ‚harten‘ Entwicklungen in der Chiptechnologie ebenso wie auf den ‚weichen‘ Trends in der Software und in der sozialen IT. Die Diskussion der sozialen Implikationen selbst wird dabei nur gestreift und zum Teil den entsprechenden Anwendern überlassen, auf die Gefahr des Eindrucks der Technikgläubigkeit. Vorteil dieser Vorgehensweise ist (hoffentlich) die Brauchbarkeit des Büchleins für die verschiedensten Berufsgruppen, vom Fachinformatiker bis zum Unternehmer oder zum interessierten „Endbenutzer“. Die IT zwingt durch ihren besonderen Charakter, wie das kontinuierliche exponentielle Wachstum der Leistung und der Systemgrößen und der immer engeren Vernetzung der Welt, allerdings zu einigen prinzipiellen Gedanken zur Zukunft und deren Vorausschaubarkeit, jenseits der direkten Technologie.

Viele Unternehmen und Regierungen haben Abteilungen, die sich mit der Zukunft der IT beschäftigen, i.A. im Zusammenhang mit der Strategie des Unternehmens, der Zukunft der Produkte oder der Dienstleistungen. Manche dieser Outlook-Reports sind firmenvertraulich, andere werden direkt zur Kommunikation mit Kunden und Bürgern verwendet. Firmenintern sind diese „Future Landscapes“, „CTO Reports“ oder „Insight/Foresight Maps“ wichtige Werkzeuge zur Synchronisation des gesamten Unternehmens, des Teams der Mitarbeiter und zur Identifikation neuer Geschäftsfelder.

Der jährliche „Global Technology Outlook (GTO)“ der IBM-Forschung identifiziert so seit mehr als einem Jahrzehnt IT-Trends, die in den nächsten Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft von unmittelbarer Bedeutung sind – gesucht sind keine extremen Visionen. Extern wird dieser Bericht als Vortrag für Veranstaltungen mit Kunden, mit Politikern und Gremien sowie im akademischen Bereich verwendet. Der „GTO“ ist auch regelmässiger Bestandteil von Workshops zur Zukunft der IT mit Kunden.

Die Beratungsorganisation der IBM „Global Business Services“ erstellt zusammen mit der IBM-Forschung und externen Beratern einen weiteren Report zu sozialen und wirtschaftlichen Veränderungen unter der Bezeichnung „Global Innovation Outlook (GIO)“. Dieser Bericht ist sowohl als Broschüre als auch als Datei frei erhältlich.

Ein anderes Beispiel einer Zukunftsanalyse ist die „Nokia World Map“, die Nokia seit 2002 erstellt. Entsprechend der engen Verknüpfung der mobilen Kommunikation mit sozialen Entwicklungen versucht dieser Zukunftsreport eine Analyse der Trends der nächsten Jahre sowohl auf technischem Gebiet wie im persönlichen und gesellschaftlichen Bereich.

Neben Trends und Ideen aus der Literatur sind in das Buch eigene Beobachtungen eingeflossen, Gespräche mit oder Referate von Hunderten von Experten und insbesondere die Erfahrungen aus Seminaren mit Kunden und Politikern.

Der Autor hat etwa 500 solcher Innovationsworkshops mit Kunden aus aller Welt organisiert und durchgeführt, mit Unternehmen von ABB bis ZF, Bosch bis Volvo und mit Originalbeiträgen von Fachleuten aus allen Bereichen der IT. Die kundenseitigen Teilnehmer sind CIO's, aber auch Leiter von Forschung und Entwicklung, Strategie- und Innovationsmanager oder gelegentlich CEO's und Firmeninhaber. Hervorzuheben sind Workshops mit besonderen Gruppen im Bereich des Technologiemanagements, wie die Nokia Gruppe für Insight und Foresight, mit ungewöhnlichen Kunden wie der katholischen Kirche oder besonders mit Unternehmen aus der sich entwickelnden Welt wie

Mobiltelefon-Gesellschaften aus China oder Pakistan: Unternehmen, die wie die katholische Kirche schon viele Jahrhunderte bestehen, oder eine Gesellschaft aus Pakistan, die vor 3 Jahren gegründet wurde und bereits nach Afrika expandiert!

Der Einfluss von IT auf den jeweiligen Geschäftsbereich des Kunden ist das Thema der Workshops. Einige dieser Erfahrungen fliessen in die folgenden Kapitel ein.

Die Zukunft der IT berührt viele Berufe direkt: Naturwissenschaftler, Ingenieure, Geisteswissenschaftler, Manager und natürlich die Informatiker selbst, aber auch jedermann als Verbraucher, als nationalen Bürger und als Weltbürger. Dieses Buch versucht drei Bereiche zu adressieren:

- die Entwicklung der technischen Seite der IT, von der Nanotechnologie bis zu sozialen Verfahren,
- die Bedeutung der IT-Trends für Industrie, Wirtschaft und neue Dienstleistungen, möglichst mit daraus folgenden pragmatischen Einsichten oder gar Empfehlungen,
- die Einflüsse der IT auf Umwelt und Gesellschaft, das Potenzial für neue Strukturen und auch unsere eigene menschliche Position zu diesen Technologien.

Das Spektrum der technischen IT reicht von den physikalischen Grundlagen zu IT-Systemen. Für die Physik ist der Umgang mit kleinen Grössen wie dem Nanometer typisch, gelegentlich sogar dem Pikometer und sehr kleinen internen Taktzeiten, gemessen in Nanosekunden oder Pikosekunden. Mikroprozessoren sind heute Produkte der Nanotechnologie. Für IT-Systeme sind umgekehrt astronomisch grosse Zahlen typisch, etwa das Terabyte oder Petabyte oder noch grössere Werte.

Auf der Anwendungsseite tritt zu der klassischen Unternehmens-IT immer mehr IT in der realen, physikalischen Umgebung mit sensorbasierten Systemen, aber auch „Metaversen“, virtuellen Welten.

Die IT ist auch für den Intellektuellen heute ein nicht wegzudenkender technisch-kultureller Bereich: Ein Ziel des Buches ist es, dem an der IT interessierten Intellektuellen eine Einführung in einige aktuelle Schlagwörter im Sinne der „Must-Know“-Begriffsliste von George Dvorsky (Dvorsky, 2007) zu geben, von der technischen Singularität bis zur verstärkten Realität, von Avataren bis zur Sousveillance. Eine Hilfe hierzu ist das Glossarium im letzten Abschnitt mit etwa 50 Begriffen und etwa gleich vielen Akronymen.

Im letzten Kapitel werden die wesentlichen Aussagen auf den drei Ebenen technisch, anwendungsspezifisch und allgemein jeweils in Schlagzeilenform zusammengefasst.

Wir hoffen zum einen, einige neue Aspekte in und um IT aufzeigen zu können, und zum anderen, eine befruchtende Diskussion anzustossen.

# 1 Die exponentielle Entwicklung der Grundtechnologien

## 1.1 Exponentielles Wachstum: Bis jetzt und weiter

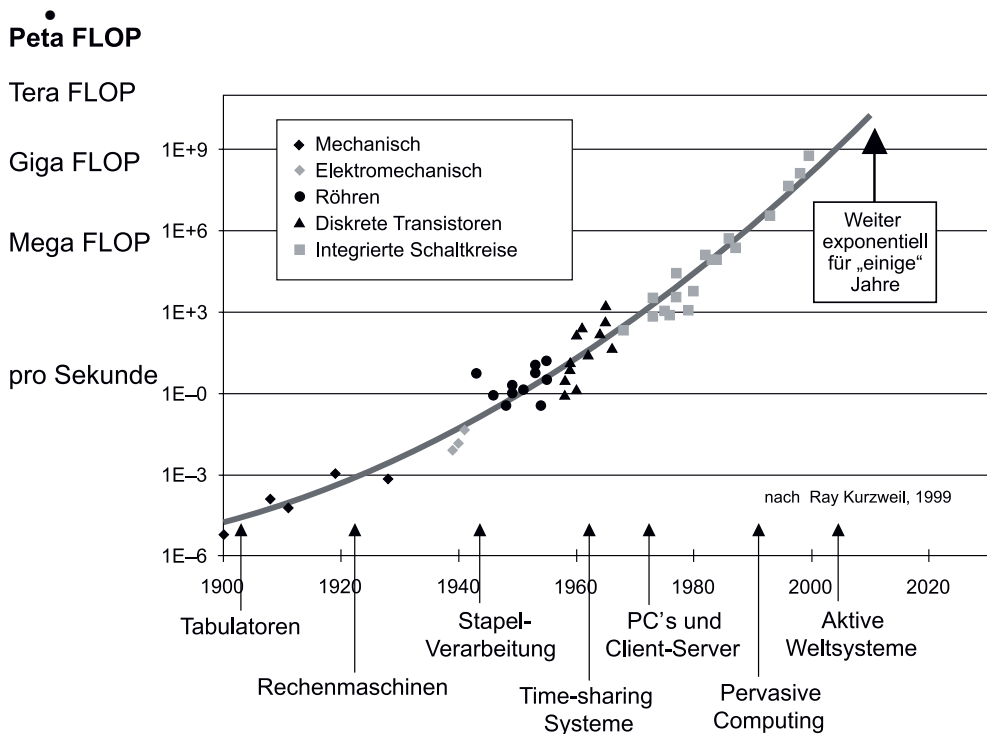
Die moderne Computertechnik beginnt mit der Höchstintegration (VLSI) von Bauelementen auf einem Siliziumchip etwa in den 60er Jahren. Seit dieser Zeit hat die Dichte der Transistoren auf dem Chip jedes Jahr zugenommen, um 40 bis 60 % jedes Jahr. Heutige Chips enthalten Hunderte von Millionen von Transistoren, der IBM-Power6-Prozessorchip zum Beispiel 790 Millionen. Eine ganze Reihe von Eigenschaften haben sich Hand in Hand (und kausal verknüpft) gleichzeitig in diesen vier Jahrzehnten entwickelt:

- Verkleinerung der kleinsten erzeugten Strukturen (man produziert heute 90-nm- und 65-nm-Strukturen, mit Plänen zu 35 nm und 25 nm Fabrikation). Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat etwa 40–50'000 nm Durchmesser, einzelne Atome um etwa 0,1 nm
- Erhöhung der Taktfrequenzen der Elektronik, damit auch nahezu parallel eine Erhöhung der Rechnerleistung
- Verringerung des Stromverbrauchs pro Transistor

Diese Entwicklung war im Wesentlichen möglich durch die konsequente Skalierung (Verkleinerung) der Transistoren. Dieser Trend wurde zwar vorhergesagt, aber die wirkliche Entwicklung hatte einen Unterschied zur Vorhersage: Der Stromverbrauch der Chips (genauer: die Leistungsdichte Watt/cm<sup>2</sup>) wurde gleichzeitig drastisch erhöht (s. u.) – die Vorhersage war konstanter Stromverbrauch gewesen!

Das Phänomen des exponentiellen Wachstums im Chipbau wurde 1964 von Gordon Moore, Mitbegründer von Intel, beobachtet und wird als „Moore'sches Gesetz“ bezeichnet (Abb. 1-1). Wir wollen das Moore'sche Gesetz im Folgenden ohne Anführungszeichen verwenden, obwohl es kein Gesetz im Sinne der Physik ist: Es beschreibt a posteriori das Verhalten der IT, für die Zukunft ist es eine Behauptung. Zwei prinzipielle Bemerkungen hierzu trotzdem:

- Erstens: das Wachstum wird in der Hardware noch für einige Jahre (sicher für 5–8 Jahre) andauern,
- zweitens: es ist die wichtigste Beziehung zwischen Technik und Wirtschaft, die wir kennen, mit noch nicht absehbaren Konsequenzen.



**Abbildung 1-1:** Das Moore'sche Gesetz in normalisierter Form (nach Moravec und Kurzweil): Wie mächtig ist der Computer, den man für etwa 1000 \$, 1000 € oder 1000 CHF kaufen kann? Die technische Vorhersage ist eine ähnliche Fortsetzung des Wachstums für die nächsten Jahre, wenn auch mit Problemen. Die philosophische Prognose von Ray Kurzweil ist die Erscheinung der „Singularität“. Die Masseinheit FLOP pro Sekunde entspricht den Rechenoperationen pro Sekunde.

Neben den erwarteten graduellen Veränderungen führte die Beobachtung des (beschleunigten) technischen Wachstums zum philosophischen Konzept der „technischen Singularität“ (Vernor Vinge, 2003, und Ray Kurzweil, 2006). In der starken Form bedeutet es die Hypothese, dass in der Singularität – also nach weiterem drastischen Wachstum – die Maschinenintelligenz unsere biologische Intelligenz übersteigt und eine völlig neue Evolution auslöst. Unbestritten ist wohl die schwache Form des Konzepts: Die IT-Entwicklung wird die Welt weiter drastisch verändern, es ist insgesamt eine Singularität in der Geschichte der Menschheit.

Als Derivate der Urform des Moore'schen Gesetzes (dem Wachstum der Transistorendichte auf Chips) können wir viele verbundene oder verwandte exponentielle Wachstumsgesetze finden, auf der technischen Seite etwa

- die Speicherdichte von Speichermedien wie Magnetplatten,
- die Übertragungsgeschwindigkeit von festen Datenleitungen und
- die Bandbreite von drahtlosen Verbindungen.

Auf der Anwendungsseite sind Beispiele (sozusagen Moore'sche Beziehungen höherer Ordnung)

- die gespeicherte Datenmenge pro Benutzer oder pro Unternehmen oder im Internet als Ganzes oder auch
- die Anzahl von Bildern, die eine Privatperson im Laufe des Jahres produziert.

### **1.1.1 Warum Exponentialgesetze? Das Beispiel der Entwicklung der mobilen Kommunikation**

Die innere Logik des exponentiellen Wachstums („je mehr man kann, desto mehr gewinnt man“) in der IT zeigt auch diese kausale Kette beim Fortschritt der drahtlosen Kommunikationstechnik sowohl in der Fernkommunikation (mit den Generationen der Mobilkommunikation) als auch im lokalen oder metropolitanen Bereich mit Verfahren wie WLAN, WiMAX und dem radarähnlichen UWB, aber auch bei den Chips für die satellitengestützte Ortsbestimmung mit GPS und dem eventuellen zukünftigen System Galileo:

1. Verkleinerung der Transistordimension reduziert den Strombedarf und
2. reduziert die relativen Produktionskosten (pro Schaltkreis) und
3. erhöht die Arbeitsfrequenz.

Damit werden

4. mobile Anwendungen möglich oder intelligenter,  
und da sie preiswerter angeboten werden können gibt es weiter
5. einen „Rebound-Effekt“, wachsende Stückzahlen durch die neuen Möglichkeiten bei niedrigerem Preis.

Die wachsenden Stückzahlen reduzieren ihrerseits durch die „Lernkurve“ die Erstellungskosten weiter. Dies zeigen insbesondere die Schlüsselzahlen bei mobilen Telefonen („Handys“): Getrieben durch Technik, Wirtschaft und den globalen sozialen Impe-

tus der Mobilität gibt es heute etwa 2,7 Milliarden mobile Telefone, pro Jahr werden etwa 1 Milliarde weitere Telefone produziert und der Preis für die Grundfunktionen des mobilen Telefons wird weiter sinken (und damit der des preiswertesten verfügbaren Computers!).

Doch die Aufwärtsspirale (der „Virtuous Circle“) dreht sich weiter:

Höhere Arbeitsfrequenzen auf handelsüblichen Computerchips (sog. CMOS-Chips) ermöglichen unmittelbar höhere Datenraten und Bandbreiten: Normale Computerchips können damit die Funktionen von bisheriger teurer Speziallogik übernehmen, etwa von Gallium-Arsenid-Technologie, die bisher für Höchstgeschwindigkeitselektronik eingesetzt wurde. Immer mehr Kommunikationsfunktionen wandern nahezu kostenlos in den Prozessorteil des Chips (man sagt, auch beim mobilen Telefon, „des Radios“), auch der teure Analogteil der Kommunikation um die Antenne wird immer kleiner. Dadurch sinken (wie gehabt oder noch einmal) die Kosten, mehr Intelligenz steht zur Verfügung – und es gibt wieder den „Rebound“-Effekt mit neuen Massenanwendungen wie WLAN oder GPS in vielen mobilen Geräten!

Die Aufwärtsspirale kann weitergehen, solange Technik, Wirtschaft und Potenzial zusammenpassen; für das Wachstum der Mobiltelefonie, die im Wesentlichen durch die Weltbevölkerung begrenzt wird, gilt dies sicher für noch die nächsten 5 Jahre.

Die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Entwicklung der IT ermöglicht einen besonderen technisch-sozialen Effekt, das Leapfrogging (Überspringen einer Technologie), insbesondere in der Kommunikationsinfrastruktur. Die konventionelle Infrastruktur in Europa wie in den USA beruht historisch auf festen Leitungen und festen Anschlüssen für die berühmte „letzte Meile“. In vielen Ländern der sich entwickelnden Welt bleibt die Menge der festen Leitungen auf eine kleine Oberschicht und einige staatliche Institutionen beschränkt. Die mobile Infrastruktur übernimmt die Hauptlast der Kommunikation. Im schmalbandigen Bereich ist dies mit dem mobilen Telefon in vollem Gange, im breitbandigen Zugang kann man hier den Trend zu WiMax-Netzen erwarten: Mit Netzen nach diesem neuen Standard lassen sich auch über metropolitane Entfernungen wie etwa 50 km Verbindungen mit bis zu etwa 100 Mbit/s etablieren. Damit lassen sich selbst kleinere Rechenzentren anbinden!

Ganz andere moderne Derivate der Moore'schen Beziehung von grosser Bedeutung sind die sogenannten Carlson-Kurven in der Biotechnik: Das Wachstum der Leistungsfähigkeit biotechnischer und bioinformatischer Prozesse wie das Sequencing von Genen und analog das Wachstum synthetischer biologischer Strukturen folgt ganz ähnlichen Exponentialbeziehungen mit dem Moore'schen Gesetz als Mitverursacher.

In der IT war die bisherige Konsequenz alle 10–15 Jahre ein Paradigmenwechsel: vom Batchbetrieb (Stapelbetrieb) und Glasshouse-Rechenzentren über Client-Server-Archi-



tekturen (im Wesentlichen der PC-Ära) zu Pervasive Computing (Computing überall). Und mit jedem Paradigmenwechsel ist die Informationstechnologie tiefer in die Gesellschaft eingedrungen!

Seit Malthus 1798 seine Bevölkerungstheorie aufgestellt hat, ist es klar, dass kein exponentielles Wachstum unbegrenzt lange andauern kann. Schön wird dies durch die Fabel vom Schachbrett und den Reiskörnern illustriert: Ein Korn auf das erste Feld gelegt, zwei auf das zweite, vier auf das dritte usw. Die unschuldige geometrische Reihe überschreitet nach etwa 46 Feldern die globale Reisernte! Allerdings: Schon seit einigen Jahren werden von der elektronischen Industrie mehr Transistoren produziert als von der Landwirtschaft der Welt Reiskörner!

### **1.1.2 Exponentialgesetz und „Redshift“-Systeme**

Das exponentielle Wachstum betrifft auch die Computersysteme als Ganzes, aber nicht gleichmässig. Als Ganzes ist auch das Internet als globale Infrastruktur exponentiell gewachsen – dies liess sich am Wachstum der Internetserver und der Websites ablesen und ganz drastisch am Ausgehen der physikalischen Internetadressen im jetzigen Internet Version 4. Dadurch entstand der Zwang zum Übergang zur nächsten technischen Stufe, dem Internet Version 6 mit  $2^{128}$  oder  $3,4 \cdot 10^{38}$  Adressen, genügend für etwa  $6,6 \cdot 10^{21}$  Adressen pro Quadratmeter Erdoberfläche.

Das Web mit dem weltweiten Einzugsgebiet und Potenzial ermöglicht damit Unternehmen, die die geeignete Geschäftsidee haben, für einige Jahre zumindest sogar schneller zu wachsen als nach dem Moore'schen Gesetz die IT allgemein. Beispiele hierzu sind Systeme wie Amazon, eBay, Google oder YouTube. Dieses Wachstum ist im Einklang mit der Aussage des Gilder'schen Paradigmas (George Gilder, 1996), das wir unten erläutern werden: Es sagt aus, dass die Systeme durch die Ressource bestimmt werden, die nur sehr begrenzt zur Verfügung steht. In der letzten Dekade war die Bandbreite des Internets, insbesondere der Zugang oder „die letzte bzw. erste Meile“ limitierend und damit ausschlaggebend für Client-Server-Architekturen und „fette“ Klienten, d.h. PCs mit umfangreichen lokalen Anwendungsprogrammen. Nun steht Bandbreite wenigstens in der entwickelten Welt zur Verfügung, sogar für massvolle Videodatenströme mit ihren höheren Ansprüchen.

Damit können erfolgreiche IT-Systeme exponentiell an den Grenzen der technischen Möglichkeiten wachsen, sie werden für ihre Anwendung – Buchhandel, Informationssuche, Geschäftsnetze, Privathandel oder Videobibliothek –, zu den zentralen „Hubs“ der Welt. Es ist eine Wiederkehr grosser zentraler Systeme in grösstem Massstab als „Rising Stars“: Greg Papadopoulos (Richard Martin, 2007) hat diese Kategorie von viralen Anwendungssystemen mit einem anderen astronomischen Begriff belegt:

„Redshift“-Systeme nach der astronomischen Rotverschiebung der entferntesten Galaxien. Während die Computersysteme klassischer Unternehmen, etwa einer Bank, typischerweise mit der Gesamtindustrie wachsen, wachsen bei länger anhaltendem lawinenartigen Erfolg diese „Redshift“-Systeme zu globalen Supersystemen, sowohl im Umfang ihrer Hardware als auch in Bezug auf die Anzahl der Benutzer. Dieser Trend ist dabei, die IT-Welt zu verändern. Es ist eine kuriose Wiederkehr des Grundgedankens des IT-historischen Lehrsatzes von Herbert Grosch (Gesetz von Grosch, 1953) aus der Zeit der dominierenden Mainframes: Die Leistungsfähigkeit von Computerhardware steige mit dem Quadrat des Preises. Der PC hatte die Kostenstruktur zu Gunsten von verteilten Anwendungen umgestossen. Heute ist es aber die Businesssebene, die grosse Systeme favorisiert, die als logisch zentralisierte Supersysteme einen ganzen globalen Marktbereich übernehmen: logisch zentral, physikalisch als verteilte Wolken (Clouds) von Tausenden von Servern in Computerfarmen.

Diese supererfolgreichen „Redshift“-Unternehmen haben einen extremen Einfluss auf die Weltwirtschaft und unsere Weltgesellschaft als Ganzes: Sie übernehmen als Supersysteme etwa wie

- Google – das faktische Wissen,
- eBay – den Handel mit Gütern,
- Amazon – den Handel mit Büchern,
- Bharti – die mobile Telefonie in Indien bzw. der Dritten Welt usf.

Die Suchmaschine Google als „Redshift“-Unternehmen zum Beispiel ist zum einen der wichtigste Lieferant von faktischem Wissen geworden, vom Schüler bis zum Journalisten. Zum anderen ist Google eine perfekte kommerzielle Handelsmaschine für Fakten zu Mikropreisen „pro Klick“ (im Wesentlichen zu zahlen vom Anbieter der Information). Das Ergebnis von Nachfragen wird aus der Infrastruktur des Google-Systems durch eingebaute oder bezahlte Regeln erzeugt: Die zugehörige Infrastruktur besteht vermutlich aus den weltweit grössten Computerfarmen der Welt – „vermutlich“, denn Details der Infrastruktur von Google sind nicht publiziert, sondern werden als Teil der Kernkompetenz des Unternehmens betrachtet (George Gilder schätzt 2006 für Google beispielsweise etwa 200 Petabytes Plattenspeicher und etwa 450'000 Server).

Bharti Indien ist ein Beispiel für ein derartig wachsendes nationales Unternehmen in einer „Redshift“-Industrie, der mobilen Kommunikation in den sich entwickelnden Ländern. Innerhalb von drei Jahren stieg die Kundenzahl von 7 auf 40 Millionen Kunden. In diesem Fall war dieses extreme Wachstum nur möglich durch radikales Outsourcing der notwendigen IT-Aufgaben an ein Unternehmen mit umfassender Kapazität.