

## Hauptbeitrag

# Die veränderliche Ökonomie des Computers: Von Groschs Gesetz zum PC

Michael Friedewald

**Zusammenfassung** Die Betriebsart von Computern hat sich den vergangenen fünfzig Jahren mehrfach verändert. Dabei haben nicht nur technologische Gründe eine Rolle gespielt, sondern auch bestimmte Vorstellungen über die Leistungsfähigkeit des Computers im Vergleich zu der des Menschen und die daraus resultierende Produktivität eines Computersystems. Dieser Artikel gibt ein Überblick über die historische Entwicklung dieser Vorstellungen.

**Schlüsselwörter** Computergeschichte, Wirtschaftlichkeit, Betriebsweise von Computern

**Summary** The operating mode of computer systems has changed frequently during the last fifty years. It should not be forgotten that there were not only technological reasons for these changes but also certain ideas about the efficiency of the computer in comparison to a human user and the resulting productivity of computer systems. This article gives a survey of the historical developments of these ideas.

**Key words** Computer history, Economy, Operating mode

**Computing Reviews Classification** K.2, K.4.3, K.6.2

## 1. Groschs Gesetz

Einer der ersten, der sich systematische Gedanken über die Ökonomie des Computers, also den Zusammenhang zwischen Leistung und Kosten machte, war Herbert R. J. Grosch, der 1950 die Leitung des ersten Computer-Vertriebsbüros von IBM außerhalb des New Yorker Konzernhauptquartiers übernommen hatte. In dieser Funktion mußte sich Grosch Gedanken darüber machen, wie hoch die Miete für einen Computer sein sollte, welche Entwicklungstrends zu erwarten waren und welche Versprechungen er potentiellen Kunden machen konnte [5]. Die Basis für Groschs Überlegungen war äußerst schmal. 1950 war gerade eine Handvoll elektronischer Digitalcomputer in Betrieb, die meisten erst seit wenigen Monaten. Der erste kommerzielle Computer UNIVAC I von Remington Rand kam erst

Michael Friedewald  
RWTH Aachen, Lehrstuhl für Geschichte der Technik, Kopernikusstrasse 16, 52056 Aachen, e-mail: friedewald@histech.rwth-aachen.de

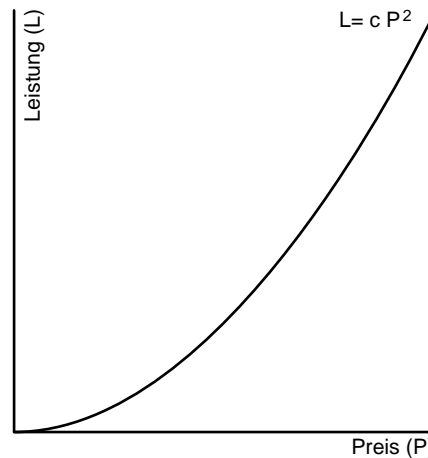
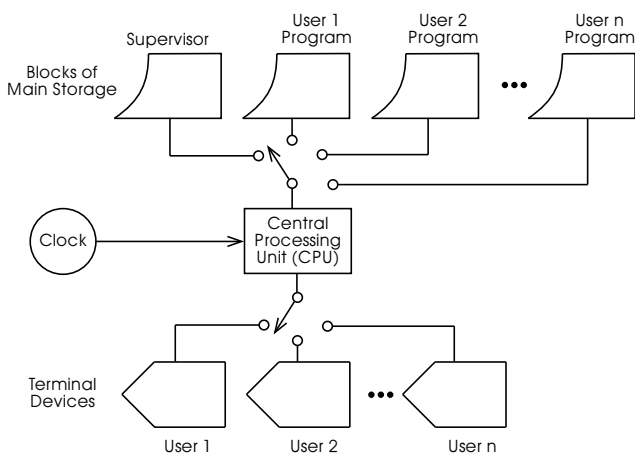


Abb. 1 Groschs Gesetz

1951 auf den Markt, IBMs erster eigener Computer, der Defense Calculator 701 erst im Jahre 1953 [4]. Trotzdem versuchte Grosch eine Abschätzung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von den Kosten für die existierenden und in Entwicklung befindlichen Computer, wobei er auch handbetriebene und elektromechanische Rechenmaschinen in die Berechnungen einbezog. Die Werte, auf die Grosch dabei kam, lagen zunächst grob auf einer Parabel [5, 6]. Groschs Gesetz!

Groschs mittlerweile verfeinerten Ergebnisse wurden 1953 im Journal of the Optical Society of America veröffentlicht. In seinem Aufsatz stellte Grosch zunächst heraus, daß sich der Einsatz eines Computer überhaupt erst bei Problemen eignet, die sehr umfangreich sind oder häufig auftreten. Unter diesen Randbedingungen sei „economy . . . a square root of the speed“ [6]. Bei Groschs Gesetz handelt es sich also um nichts anderes als eine weitere Formulierung der vielfach zu beobachtenden Skalenökonomie, also der Tatsache, daß mit wachsender Größe einer technischen Anlage oder mit wachsender Produktionsmenge die Kosten pro ausgebrachter Mengeneinheit sinken [15].

Obwohl Grosch ursprünglich den Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit und den Kosten eines Computers feststellen wollte, um daraus einen realistischen Preis bestimmen zu können, wurde Groschs Gesetz im Laufe der fünfziger Jahre – auch als Folge von Groschs reger Publikations- und Vortragstätigkeit – immer mehr zu einem reinen Instrument der Preisgestaltung. Ein viermal leistungsfähigeres Gerät rechtfertigte also den doppelten Mietpreis, unabhängig von den anfallenden Kosten. Da die Kunden diese Art der Preisgestaltung



**Abb. 2** Schema eines Time-Sharing Systems

annahmen, wurde Groschs Gesetz in den Folgejahren zu einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung<sup>1</sup>. Trotz dieses Zirkelschlusses hatte Groschs Gesetz angesichts der technologischen Randbedingungen der fünfziger Jahre seine Berechtigung. Computer bestanden aus Tausenden von Elektronenröhren und später Transistoren, die einzeln miteinander verbunden werden mußten. Der Betrieb eines solchen Geräts war zudem mit erheblichen Fixkosten für Wartungspersonal verbunden, das den Computer innerhalb von wenigen Stunden reparieren können mußte, falls ein Fehler auftrat.

Computer waren deshalb in den fünfziger und sechziger Jahren ausnahmslos sehr große und kapitalintensive Geräte, bei denen man darauf achten mußte, daß sie stets gut ausgelastet waren. Die daraus resultierende Betriebsweise war der Stapelbetrieb. Dabei gaben die Benutzer ihre Programme mit allen zugehörigen Daten in Form von Lochkartenstapeln beim Bedienpersonal des Computers ab. Dieses legte je nach Wichtigkeit der Aufträge und Auslastung der Maschine die Reihenfolge fest, in der die Programme in den Computer eingelesen und bearbeitet wurden. Nach einigen Stunden oder sogar erst nach einigen Tagen erhielten die Benutzer die Ergebnisse in Form eines weiteren Lochkartenstapels bzw. eines Computerausdrucks zurück. Falls sich herausstellte, daß das Programm fehlerhaft war, mußte dieser Zyklus mehrfach wiederholt werden.

Diese Form des Computerbetriebs war zwar optimal für den wirtschaftlichen Betrieb eines digitalen Großrechners geeignet, ließ aber die Bedürfnisse der Benutzer weitgehend außer acht.

## 2. Time-Sharing-Systeme

Die Benutzer, die um 1960 unzufrieden mit der bisherigen Betriebsweise von Computern blieben, waren ausgebildete Programmierer, Wissenschaftler und Ingenieure, die nicht so mit dem Computer interagieren konnten, wie sie wollten. Unter ihnen

<sup>1</sup> Es ist allerdings nicht gesagt, daß eine andere Art der Preisermittlung zu höheren Preisen geführt hätte, da selbst IBM während der fünfziger Jahre mit Computern keine nennenswerten Gewinne machte [4].

waren auch John McCarthy und Christopher Strachey, die 1959 unabhängig voneinander die Entwicklung von Time-Sharing-Systemen vorschlugen, bei denen der Benutzer die Möglichkeit erhalten sollte, im Dialog mit dem Computer zu arbeiten [11, 18].

Weil Computer in den sechziger Jahren weiterhin sehr kapitalintensiv waren, war auch beim Time-Sharing die möglichst hohe Auslastung der Hardware ein vorrangiges Ziel, an die Verwendung des Computers als Einbenutzermaschine war nicht zu denken. Aber Computer verarbeiteten Informationen wesentlich schneller als Menschen. Programmierer benötigten deshalb keinen ununterbrochenen Zugriff auf die Maschine, ihnen genügte ein Zugriff alle paar Sekunden.

Bei Time-Sharing-Systemen schaltete der Computer in schneller Folge zwischen den Programmen der einzelnen Benutzer hin und her (Abb. 2). Für den Benutzer wirkte der Computer zwar langsamer als er tatsächlich war, ansonsten hatte er aber das Gefühl, die Maschine stehe ihm allein zur Verfügung.

Zu einem der vehementesten Verfechter des Dialogbetriebs wurde Joseph C. R. Licklider, der 1962 Direktor des neu geschaffenen Büros für Informationstechnik der Advanced Research Projects Agency (ARPA) wurde. Licklider hatte 1960 einen einflußreichen Aufsatz mit dem programmatischen Titel „Man-Computer Symbiosis“ veröffentlicht, in dem er die menschliche Produktivität bei der Tätigkeit mit dem Computer untersuchte. Er kam dabei zu dem vernichtenden Ergebnis, daß der Benutzer eines Computers im Stapelbetrieb mehr als 80% seiner Zeit damit verbringt, entweder auf Ergebnisse zu warten, oder die in Form von langen Zahlenkolonnen ausgegebenen Daten in eine einfach lesbare, z. B. grafische Form zu bringen [10]. In seiner Funktion bei der ARPA förderte Licklider während der sechziger Jahre die Entwicklung einer Reihe einflußreicher Time-Sharing-Systeme, von denen das Project MAC am Massachusetts Institute of Technology mit seinen Betriebssystemen CTSS und Multics wohl das bekannteste sein dürfte [3].

Die Einführung von kommerziellen Time-Sharing-Systemen Ende der sechziger Jahre führte zu einer rapiden Steigerung der menschlichen Produktivität. Die Fehlersuche während der Programmentwicklung konnte nun im Dialog mit dem Computer durchgeführt werden, das zeitraubende Analysieren der gedruckten Speicherabzüge entfiel. Sie führte aber auch dazu, daß methodische Schwächen auf Seiten der Programmierer offensichtlich wurden, die man ab 1967/68 unter dem Schlagwort „Software Engineering“ zu beheben versuchte. Der Dialogbetrieb führte aber auch zur Entwicklung völlig neuartiger Anwendungen, wie z. B. Buchungssystemen.

Trotz dieser unbestreitbaren Vorteile waren Time-Sharing-Systeme wirtschaftlich nicht unproblematisch. Die große Auslastung des Computers, die nach dem bestehenden Paradigma besonders vorteilhaft war, kehrte sich schnell in sein Gegenteil um. Um der zunehmenden Anzahl von Nutzern einen verzögerungsfreien Dialogbetrieb garantieren zu können, mußten die Abstände, in denen zwischen den einzelnen Benutzern hin- und hergeschaltet wurde (Zeitscheiben), extrem kurz werden. Dies führte zu einem nicht unerheblichen Aufwand bei der Koordinierung der laufenden Aufträge. Zusätzlich existierte ein Trend zur Verwendung von immer leistungsfähigeren und teureren Computern, deren Kosten dann anteilig auf die Nutzer verteilt wurden. Unglücklicherweise bedeutete dies, daß ein Benutzer während der ihm zugeteilten Zeit die komplette Leistung des Prozessors zur Verfügung hatte, egal ob er diese für sein

Problem benötigte oder nicht. Ein Großteil der Programme verursachte deswegen unnötig hohe Kosten [2].

Ein weiterer Schwachpunkte von Time-Sharing-Systemen war die Notwendigkeit von ausgefeilten Routinen zur Vergabe von Prioritäten und zum Schutz des Speichers vor unerlaubtem Zugriff, die das Problem des Verwaltungsaufwands weiter verstärkten [12,17]. Am gravierendsten stellte sich jedoch die Unberechenbarkeit der Antwortzeiten heraus. Die Tatsache, daß die Benutzer nicht einkalkulieren konnten, ob ein Auftrag nur wenige Minuten oder mehrere Stunden benötigte, führte dazu, daß sich viele Programmierer ihre Zeit so einteilten, daß sie den Computer am Abend oder in der Nacht benutzten, wenn sich nur wenige Benutzer die Maschine teilen mußten. Dieses Verhalten wurde bei einigen Personen so extrem, daß es auf Jahre hinaus das Bild des Computerenthusiasten, des Hackers, prägte [20].

### 3. Mikroelektronik und Personal Computer (PC)

Ende der sechziger Jahre änderte sich die technologische Grundlage der Skalenökonomie beim Computer. 1958/59 hatten Jack Kilby, jr. von Texas Instruments und Robert Noyce von Fairchild Semiconductors im Abstand von wenigen Monaten unabhängig voneinander die ersten integrierten Schaltkreise entwickelt. Dabei wurden erstmals in einem kontinuierlichen Prozeß die Bauelemente und die sie verbindenden Leiterbahnen einer Schaltung im Substrat des Halbleiters selbst aufgebaut. Mit dieser Technologie entfiel nicht nur die arbeitsintensive Verdrahtung des Schaltung, sie ermöglichte auch eine weitere Miniaturisierung.

Nachdem die ersten Kinderkrankheiten der integrierten Schaltkreise überwunden waren, wurde auch die Produktion von Halbleiterchips vom Mechanismus der Skalenökonomie bestimmt: Hohe Stückzahlen bei gleichzeitig sinkendem Ausschuß führten zu sinkenden Preisen. Gleichzeitig sank der Preis pro Transistor bei immer höherer Integration weiter ab. Ende der sechziger Jahre formulierte Gordon Moore, Mitbegründer von Intel, ein weiteres ökonomisches Gesetz der Mikroelektronik und damit des Computers. Demnach kann man alle zwei Jahre eine Verdopplung der auf einem Chip integrierten Transistorfunktionen bei gleichzeitig gleichbleibenden Produktionskosten erwarten (Abb. 3). Moores Gesetz besagt also nichts anderes als einen exponentiellen Anstieg des Preis-/Leistungsverhältnisses bei Computerspeichern und Mikroprozessoren [14,16].

Wie schon bei den Time-Sharing-Systemen reagierten die renommierten Hersteller wie IBM erst spät. Die Initiative bei der Verwertung von integrierten Schaltkreisen für neue Typen von Computern wurde denn auch von Xerox, einem Neuling im Computergeschäft, übernommen. Xerox hatte 1970, kurz nach dem Einstieg in das Computergeschäft, mit dem Xerox Palo Alto Research Center (PARC) ein Forschungslaboratorium eingerichtet, das sich mit der Schaffung des Büros der Zukunft beschäftigen sollte. Durch die Anwerbung angesehener Computerwissenschaftler wie Butler Lampson, Charles Thacker und Alan Kay wurde PARC bald zum kreativsten und langfristig einflußreichsten Entwicklungslabor für Computertechnik [17].

Bei PARC erkannte man rasch die Möglichkeiten, die

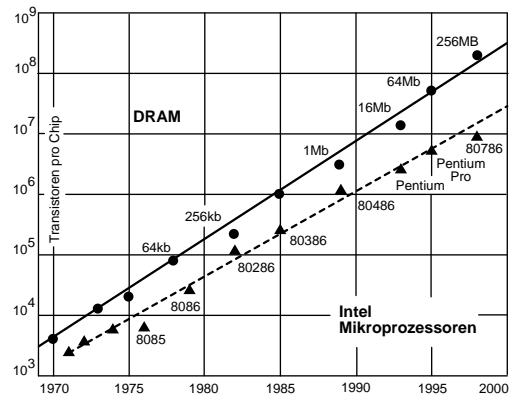


Abb. 3 Moores Gesetz

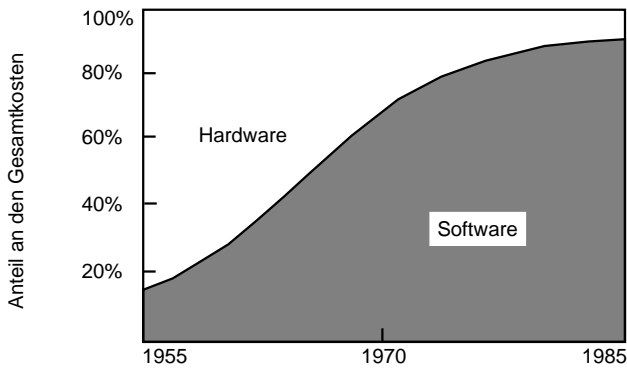
die integrierten Halbleiterbauelemente für die Entwicklung kleiner Computer boten. Und obwohl der Alto, PARCs erster PC, selbst für die damalige Zeit nicht sonderlich leistungsfähig und wegen der Verwendung von Halbleiterspeichern auch nicht sehr zuverlässig war, bot er doch eine stets gleichbleibende Leistung. Es war ein Rechner, der im Gegensatz zu Time-Sharing-Systemen tagsüber nicht mehr langsamer lief als nachts [9,19].

Vielleicht noch wichtiger war ein anderer Umdenkungsprozeß, der mit dem Namen Alan Kay verbunden ist. Kay hatte schon als Student während der sechziger Jahre einen Computer erdacht, der transportabel und vor allem auch von Computern intuitiv zu bedienen war. Der Computer sollte einen hochauflösenden Grafkbildschirm besitzen und über die direkte Manipulation von grafischen Objekten zu bedienen sein [8]. Dazu mußte man allerdings die bisherige maschinenorientierte Sichtweise aufgeben und die Produktivität des menschlichen Benutzers innerhalb des Mensch-Maschine-Systems angemessen berücksichtigen. Um aber die menschlichen Möglichkeiten zur Informationsaufnahme in Form von formatiertem, leicht lesbarem Text, Grafiken oder Bildern nutzen zu können, mußte man es sich leisten können (bzw. leisten wollen), einen erheblichen Teil der Computerleistung für scheinbar unproduktive Aufgaben wie die Bedienung einer grafisch-orientierten Benutzerschnittstelle aufzuwenden [17].

Erkennt man diese veränderten Randbedingungen an, was große Hard- und Softwarehersteller wie IBM bis in die achtziger Jahre nicht getan haben, so ist der PC eine richtige Schlußfolgerung, zumal sich integrierte Schaltkreise schon bald als Technologie herausstellten, die man wegen der rapide sinkende Preise verschwenden konnte [7]. Trotzdem hatte der Time-Sharing-Computer im Bereich der Kommunikation zwischen den Benutzern und bei der gemeinsamen, also wirtschaftlich vernünftigen Verwendung von Peripheriegeräten wie z. B. Druckern „natürliche“ Vorteile, die der PC nicht vorweisen konnte.

### 4. Wachsende Kosten für Software und Netze

Auch für dieses Problem hatte man bei PARC rasch eine Lösung parat, die *Personal Distributed Computing* genannt wurde. Aufbauend auf der Technologie der Paketvermittlung, die bereits für den Aufbau des ARPANET verwendet worden war, ent-



**Abb. 4** Entwicklung der Hard- und Softwarekosten

wickelte Robert Metcalfe bei PARC unter der Bezeichnung Ethernet ein lokales, dezentral organisiertes Netzwerk, an das die Alto-Computer und die Peripheriegeräte angeschlossen wurden. So wurde eine ökonomische Nutzung teurer Peripherie wie der neuentwickelten Laserdrucker möglich [19].

Mit einem System von vernetzten PCs konnte auch ein weiterer Schwachpunkt des Alto kompensiert werden. Obwohl er nur eine geringe Speicherkapazität hatte (128 kB Hauptspeicher inklusive des Speichers, der als Bildschirmspeicher benötigt wurde, und 2,5 MB Cartridge Disk), standen jedem Benutzer über das Netzwerk alle für den Alto entwickelten Programme zur Verfügung. Es ist eine Ironie der Geschichte, daß Xerox selbst nicht in der Lage war, das bei PARC entwickelte System kommerziell auszuwerten, der Markt war offenbar 1981 für den Nachfolger des Alto, die ambitionierte Star-Workstation, noch nicht reif. Das bei PARC angesammelte Know-how fand erst mit einiger Verzögerung, über den Apple Macintosh, Microsofts Windows und das X-Window-System Eingang in den Mainstream kommerzieller Computer [17].

Zur gleichen Zeit als man bei PARC den Schritt vom Time-Sharing Computer zum Arbeitsplatzrechner bzw. PC tat, deutete sich ein weiterer tiefgreifender Wandel an. Wegen des rapiden Preisverfalls bei der Hardware und der steigenden Komplexität der Software wurden die Softwarekosten und später die Personalkosten des Netzbetriebes zu den bestimmenden Kostenfaktoren des Computereinsatzes [5].

Mit der Entwicklung kleiner, vernetzter Computer mit leistungsfähiger Software nahm also die Bedeutung von Groschs Gesetz für Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ab. Schließlich wurde es durch die veränderte Nutzung von Mikrocomputern als Schreibmaschinenersatz und als Kommunikationsmedium insofern uninteressant, als es bei diesen Anwendungen nicht mehr so sehr auf die Rechenleistung des Computers ankommt. ☺



Michael Friedewald studierte Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Technische Informatik sowie Wirtschaftswissenschaften an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Seit 1994 ist er dort als wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Geschichte der Technik tätig. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung der interaktiven Computernutzung und des "Personal Computing" in den sechziger und siebziger Jahren.

## Literatur

- Boehm, B.W.: Software and Its Impact: A Quantitative Assessment. *Datamation* 19(5), 48-59 (1973)
  - Clark, W. A.: Interviewed by Judy O'Neill for the ARPA/IPTO History Project. Transcript of Tape Recording OH 195, Minneapolis: Charles Babbage Institute (1990)
  - Fano, R. M., Corbató, F. J.: The Time-Sharing of Computers. *Scientific American* 215(3), 128-140 (1966)
  - Flamm, K.: *Creating the Computer: Government, Industry and High Technology*. Washington: The Brookings Institution (1988)
  - Grosch, H. R. J.: Grosch's law revisited. *Elektronische Rechenanlagen* 25(6), 56-57 (1983)
  - Grosch, H. R. J.: High Speed Arithmetic: The Digital Computer as a Research Tool. *Journal of the Optical Society of America* 53, 306-310 (1953)
  - Isaacson, P.: Personal Computing. *Datamation* 23(10), 210-211 (1977)
  - Kay, A., Goldberg, A. Personal Dynamic Media. *IEEE Computer* 10(3), 31-41 (1977)
  - Lampson, B.: Guest Editorial. *Software - Experience & Practice* 2, 195-196 (1972)
  - Licklider, J. C. R.: Man-Computer Symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics HFE-1*, 4-11 (1960)
  - McCarthy, J.: Memorandum to P. M. Morse proposing Time Sharing. (1. Januar 1959<sup>2</sup>) Verfügbar im Internet unter <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/timesharing-memo.dvi>
  - McCarthy, J.: Reminiscences on the History of Time Sharing. (Winter 1983) Verfügbar im Internet unter <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/timesharing.dvi>
  - Meuer, H. W., Wacker, H. M.: Gilt noch das Grosch'sche Gesetz. *Elektronische Rechenanlagen* 25(5), 234-240 (1983)
  - Moore, G. E.: Cramming More Components Onto Integrated Circuits. *Electronics Magazine* 38(8), 114-117 (1965)
  - Sharpe, W. F.: *The Economics of Computers*. New York and London: Columbia Univ. Press (1969)
  - Schaller, R. R.: Moore's Law: Past, Present, and Future. *IEEE Spectrum* 34(6), 52-59 (1997)
  - Smith, D. K., Alexander, R. C.: *Fumbling the Future: How Xerox Invented, Then Ignored the First Personal Computer*. New York: William Morrow (1988)
  - Strachey, C.: Time sharing in large fast computers. In: *Proceedings of the International Conference on Information Processing, Unesco, Paris 15-20 June 1959* (S. 336-341) München: Oldenbourg (1960)
  - Thacker, C. P.: Personal Distributed Computing: The Alto and Ethernet Hardware. In: Goldberg, A. (Hrsg.): *A History of Personal Workstations* (S. 267-289) Reading, Mass.: Addison-Wesley (1988)
  - Weizenbaum, J.: *Die Macht des Computers und die Ohnmacht der Vernunft*. 8. Aufl., Frankfurt am Main: Suhrkamp (1990)
- Eingegangen in überarbeiteter Form am 27.08.1997

<sup>2</sup> Nach McCarthy's eigener Aussage ist es wahrscheinlich, daß das Memorandum vom 1. Januar 1960 stammt und fälschlich noch mit 1959 datiert wurde.