

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	67 (1976)
Heft:	10
Artikel:	Elektronik und die Grenzen des Wachstums
Autor:	Speiser, A. P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915164

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Elektronik und die Grenzen des Wachstums¹⁾

Von A. P. Speiser

621.38 : 65.012.23

Eine Beunruhigung um die Grenzen des Wachstums erscheint heute wesentlich weniger dringend als noch vor zwei oder drei Jahren. Damals waren viele von uns ob der erschreckenden Zuwachsraten alarmiert, und man fragte sich, wohin das alles führen würde. Die exponentielle Extrapolation war ein beliebtes Spiel; mittels dieser Methode konnte man beispielsweise das Jahr genau vorausberechnen, in welchem die Menschen so viel Energie verbrauchen werden, dass die erzeugte Wärme alle Weltmeere zum Verdampfen bringt.

Heute kommen uns solche Rechenübungen eher belustigend als beunruhigend vor; denn wir haben gelernt, dass nichts – wirklich nichts! – während allzu langer Zeit exponentiell wachsen kann. Die Ereignisse der vergangenen Jahre haben zahlreiche Wachstumskurven unterbrochen, und eine Rückkehr zum ursprünglichen Trend ist äußerst unwahrscheinlich. Heute beschäftigt uns weniger das übermässige Wachstum, sondern im Gegenteil das schrumpfende Sozialprodukt. Das Nullwachstum ist zur Realität geworden – freilich nicht genau so, wie es manche Menschen gewünscht haben – und die Aufmerksamkeit der Regierungen ist eher auf die Wiederankurbelung als auf die Bremsung des Wachstums gerichtet.

Über die Grenzen des Wachstums in der Elektronik nachzudenken ist eine unerlässliche Aufgabe für jene, die elektronische Forschung betreiben, und die auf diesem Gebiet Entscheidungen zu fällen und dafür die Verantwortung zu tragen haben. Wer solche Entscheidungen trifft, ist gezwungen, sich eine möglichst genaue Vorstellung von der Zukunft zu machen.

Die Aufgabe, die ich heute abend übernommen habe, hat aber auch ihre Tücken. Es ist eine allgemeine Tatsache, dass die Menschen die Zeit, in der sie selbst leben, am allerwenigsten verstehen. Das Verständnis kommt erst später, wenn die Dinge in einer historischen Schau gesehen werden. Erst dann ist es möglich, wichtige von unwichtigen Ereignissen zuverlässig zu unterscheiden, oder – um die Redeweise der Nachrichtentechniker zu verwenden – Signal und Geräusch von einander zu trennen!

1) Ansprache anlässlich des offiziellen Nachtessens des «1976 International Zurich Seminar on Digital Communications», am 9. März 1976.

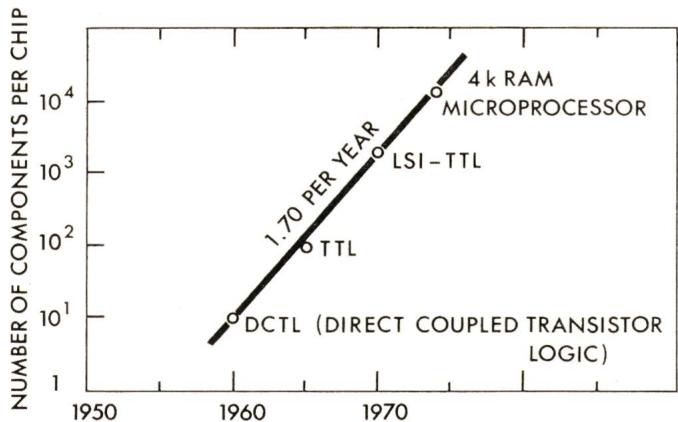


Fig. 1 Anzahl Komponenten auf dem Chip einer integrierten Schaltung

1. Vorhersage der Zukunft

Immer wieder verlangt man von den Ingenieuren, dass sie die Zukunft der Technik vorhersagen: Geschäftsleute wünschen Szenarios als Grundlage für ihre unternehmerischen Entscheidungen, und Politiker möchten wissen, ob die schlimmen Dinge, die manche Wissenschaftler voraussagen, wirklich eintreten werden. Ein Ingenieur, der einen ernsthaften Versuch macht, ein Szenario beispielsweise für das Jahr 1990 zu zeichnen – ein Szenario, das alle Gebiete der Technik erfasst – wird bald erkennen, dass der Gang der Dinge in gewissen Gebieten viel leichter vorauszusagen ist als in anderen. So haben die Konstrukteure von *Jet-Flugzeugen* oder von *Dampfturbinen* eine recht klare Vorstellung von den Maschinen, die sie in 14 Jahren ihren Kunden abliefern werden, und ich bin überzeugt, dass diesen Prognosen nur eine geringe Unsicherheit anhaftet. Auf der anderen Seite wird ein Szenario für 1990 auf dem Gebiet der *Computer* und *integrierten Schaltungen* höchst spekulativ sein und einen hohen Grad von Unsicherheit enthalten. Im allgemeinen sind Voraussagen leichter und genauer auf den Gebieten *Energie* und *Verkehr* als in *Elektronik*, *Nachrichtentechnik* und *Datenverarbeitung*. Woher kommt dieser Unterschied? Die übliche Erklärung ist die, dass der Fortschritt in der ersten Kategorie langsam ist, weil es sich um wenig forschungsintensive Technologien handelt; und was sich langsam entwickelt, lässt sich leichter voraussagen. Diese Deutung kann aber nicht stimmen. Die Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen, ausgedrückt in Prozenten vom Umsatz, sind nämlich auf dem Gebiet der Dampfturbinen ungefähr gleich gross wie auf jenem der Computer; für Jet-Triebwerke sind sie sogar drei- bis viermal höher! Der wahre Grund kann also nicht in einem Unterschied zwischen «hoher» und «niederer» Technologie liegen.

2. Geschwindigkeit des technischen Fortschritts

In den meisten Gebieten der Technik lassen sich numerische Parameter finden, die es gestatten, den technischen Fortschritt in Zahlen zu messen. Fig. 1 ist eine Darstellung über den Gang der Dinge in der Elektronik: Gezeigt wird, wie sich die Anzahl Komponenten auf dem Chip einer integrierten Schaltung über die Jahre hinweg vergrössert hat. Die Kurve hat, in halblogarithmischer Darstellung, die Form einer geraden Linie mit einer Steigerung von 1,7 pro Jahr – das sind 70 % Zuwachs pro Jahr!

Wenden wir uns nun dem Gebiet der Energie und der Maschinen zu. Fig. 2 ist ein unter Gasturbinen-Konstrukteuren beliebtes Diagramm. Es veranschaulicht die Betriebstemperatur der Schaufeln in Gasturbinen und Jet-Triebwerken, wiederum aufgetragen als Funktion der Zeit. Der Fortschritt in solchen Maschinen hängt – zumindest teilweise – von der Temperatur ab: Höhere Temperatur bedeutet höheren Wirkungsgrad. Daher ist die Schaufeltemperatur ein wichtiger Indikator zum Stand der Technik. Auch hier lässt sich eine gerade Linie zeichnen, die sich über mehr als 30 Jahre erstreckt. Aber ihre Steigerung ist geradezu aufreizend gering, nämlich etwa 6,5 °C pro Jahr; das entspricht 0,6 % pro Jahr. (Um Prozente auszurechnen, muss man die Temperatur in Kelvin und nicht in Celsiusgraden ausdrücken.)

0,6 % pro Jahr für Turbinenschaufeln verglichen mit 70 % für integrierte Schaltungen, das ist ein gewaltiger Unterschied – ein Unterschied, der mehr als zwei Zehnerpotenzen ausmacht. Man könnte daraus schliessen, dass sich die Ingenieure auf der Gasturbinenseite das Leben leicht gemacht haben, während die andern sich enorm anstrengten. Das ist sicher nicht richtig. Der Grund ist vielmehr der, *dass der Fortschritt um so schwieriger wird, je näher man an die Grenzen herankommt, die durch die Naturgesetze gegeben sind*. Im Maschinenbau sind die Schranken gegeben durch die Hauptsätze der Thermodynamik und durch die Eigenschaften der Materialien, insbesondere den Schmelzpunkt und die Vorgänge der Korrosion bei hohen Temperaturen. Es zeigt sich, dass der heutige Stand der Technik schon sehr nahe bei diesen Grenzen angekommen ist. In der Elektronik hingegen sind die fundamentalen nicht überschreitbaren Schranken in der Kommunikationstheorie und der Quantenmechanik begründet, und selbst eine grobe Abschätzung lehrt, dass die heutige Technik noch mehrere Zehnerpotenzen davon entfernt ist. Je näher man zu diesen Schranken kommt, desto mühsamer muss jede Verbesserung erkämpft werden.

3. Grenzen des Wachstums

Aber die Handlungsfreiheit des Ingenieurs wird nicht nur durch die Grundgesetze der Natur eingeengt; andere Kräfte machen sich jetzt bemerkbar. Das berühmte Buch «Grenzen des Wachstums» hat den Menschen die Augen gegenüber der Tatsache geöffnet, dass dem Ingenieur in seiner Tätigkeit auch äussere Schranken gesetzt sind: Die Vorräte der Erde erschöpfen sich, und die Fähigkeit unserer Umwelt, Abfälle zu absorbieren, ist manchenorts bereits am Ende angelangt. Dadurch wird im besondern das gesamte Gebiet der Energie betroffen, denn die Erzeugung und Verwertung von Energie verbraucht Naturvorräte und erzeugt Abwärme und Abfallstoffe.

Wieviel besser geht es dem Elektronik-Ingenieur! Sein Rohstoff ist das *Silizium*. Wir wissen, dass die Erdkruste zu 28 % aus diesem Element besteht. Eine Erschöpfung der

Naturvorräte ist also nicht zu erwarten, selbst wenn die Elektronik über alle Masse wachsen sollte! In den Augen jener, die um die Umwelt besorgt sind – und wir alle sollten zu dieser Kategorie gehören –, verdient die Elektronik eine gute Note. Weder Herstellung noch Betrieb von Elektronik verschmutzen die Umwelt, und die Energiemengen, die in der Nachrichtentechnik gebraucht werden, sind klein. Daraus lässt sich schliessen, dass der Elektronik praktisch keine externen Grenzen des Wachstums gesetzt sind. Als «extern» bezeichnen wir jene Einflüsse, die sich ausserhalb des Kreises der Hersteller und Benutzer befinden.

4. Hardware und Software

Die Begriffe «Hardware» und «Software» haben ihren Ursprung in den Computerwissenschaften. Hardware sind die Maschinen, Software die Programme. Man ist oft geneigt anzunehmen, diese Zweiteilung sei eine Eigenheit der Computertechnik. Das ist nicht der Fall. Auf allen Gebieten der Technik existiert in Form von Instruktionen und Betriebsvorschriften eine erhebliche Menge Software, auch wenn sie nicht immer als solche erkannt wird. Freilich ist der Aufwand zur Erzeugung der Software, gemessen an jenem für die Hardware, nirgends auch nur annähernd so gross wie im Gebiet der Computer.

Diese Zweiteilung hat eine interessante Entsprechung in den Künsten, und zwar in der Musik: Die Hardware sind die *Instrumente*, die Software die *Kompositionen*. Wie in der Computertechnik, so besteht auch hier eine enge Wechselwirkung zwischen der Neuerung auf den beiden Seiten, auch wenn die Zeitmaßstäbe ganz verschieden sind. Die Lebenszeit von *J. S. Bach* (1685–1750) brachte bedeutende Fortschritte auf dem Hardware-Gebiet. Die folgenden 200 Jahre (1750–1950) hingegen waren gekennzeichnet durch einen fast völligen Stillstand: Ganz wenige neue Instrumente wurden eingeführt, und die bestehenden wurden nur unwesentlich verbessert. Für die Software hingegen waren diese zwei Jahrhunderte ausserordentlich fruchtbar; sie haben uns einen grossen Teil der Musik geschenkt, die wir heute in Konzerten hören und geniessen. Mit der *Einführung der Elektronik* in die Musikinstrumente kam der Stillstand in der Hardware zu einem abrupten Ende. Damit meine ich freilich nicht die enorme Erhöhung der Lautstärke, die gewiss eindrücklich ist, die wir aber doch oft als schmerzlich (wenn nicht schmerhaft) empfinden; ich meine vielmehr die *elektronischen Musikinstrumente*, welche neuartige Töne und Klänge in fast beliebiger Vielfalt erzeugen und welche dem Komponisten enorme neue Möglichkeiten eröffnen. Wie wurde die Software dadurch beeinflusst? Haben die Komponisten von den neu gewonnenen Freiheiten guten Gebrauch gemacht? Manche Zeitgenossen zweifeln daran; aber ein endgültiges Urteil werden erst spätere Generationen abgeben können.

5. Annäherung von Elektronik und Energietechnik

Zwischen Elektronik und Energietechnik gibt es viele grosse Unterschiede; sie äussern sich nicht nur in der Grösse und dem Gewicht der Komponenten, sondern auch in der Denkweise und Geisteshaltung derjenigen, die sich mit der Neuerung befassen. Aber das sind nicht die einzigen Effekte, die für die Trennung der beiden Gemeinschaften verantwortlich sind. Trennende Kräfte waren auch auf der institutionellen Ebene am Werk. Es herrschte eine deutliche Tendenz,

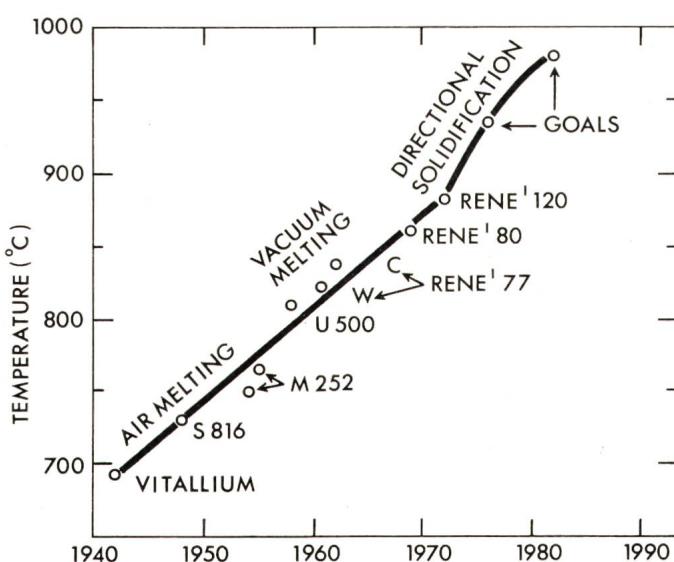


Fig. 2 Temperatur der Schaufeln in Gasturbinen und Jet-Triebwerken

Die Namen und Code-Nummern sind Bezeichnungen von Legierungen

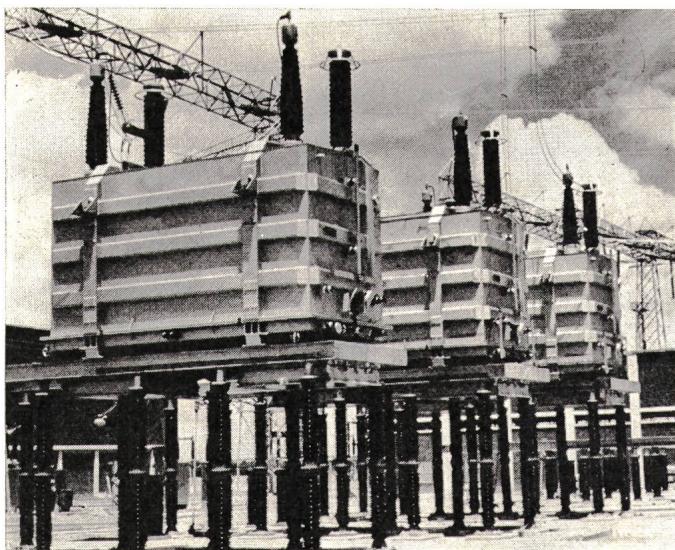


Fig. 3 Umrichterstation einer HGÜ-Anlage

Ausbildung und Forschung auf dem Gebiet der elektrischen Energietechnik an den grossen technischen Hochschulen zurückzubinden und das Hauptgewicht auf Elektronik, Nachrichtentechnik und Computerwissenschaften zu legen. Diese Tendenz wurde in einem Leitartikel in den IEEE-Proceedings noch vor 11 Jahren ausdrücklich als wünschbar und richtig bezeichnet. Ausbildungsprogramme in der Energietechnik wurden in den USA reduziert oder sogar aufgehoben; man bezeichnete es als genügend, die zugrundeliegenden wissenschaftlichen Prinzipien zu unterrichten. So gab es Kurse mit dem Titel «Mechano-elektrische Wandler»; dazu gehören Mikrophon, Galvanometer, Druckfühler, Relais – und beiläufig auch elektrische Maschinen. Eine solche Gruppierung mag ästhetisch befriedigend sein, aber sie hemmt jedenfalls den Fortschritt.

Die Konzentration von so vielen Kräften auf Elektronik und Nachrichtentechnik war einer der Faktoren, die für den grossen Vorsprung der USA auf den Gebieten Weltraumtechnik, grosse Mikrowellensysteme, Computer und integrierte Schaltungen verantwortlich sind. An manchen europäischen Hochschulen ist die elektrische Energietechnik ebenfalls vernachlässigt worden, und die Studentenzahlen waren klein, aber diese Tendenz war weniger ausgeprägt als in Amerika. Das Resultat ist, dass von einem Vorsprung der Amerikaner heute nicht gesprochen werden kann: Es existiert kein «technological gap» in der Energietechnik.

6. Elektronik in der Energieerzeugung und -verteilung

Die Energiekrise hatte neben ihren unangenehmen Auswirkungen auch ihre günstigen Seiten. Eine davon ist, dass das Prestige der Energieforschung, das vormals eher niedrig war, nun wieder auf den richtigen Platz gehoben worden ist, und dass sich die Hochschulen bemühen, Vernachlässiges aufzuholen. Aber Elektronik und Energietechnik rücken sich

nicht nur auf der institutionellen Ebene näher: Die Elektronik dringt in die Energietechnik ein. Die Schutz- und Steuerungstechnik in der Elektrizitätsversorgung enthält mehr und mehr Elektronik, und Halbleiter werden sogar in den Energiefluss selbst eingeschaltet. *Thyristoren* finden sich in vielen Haushaltgeräten und anderen elektrischen Antrieben; kein anderes Steuerungselement erreicht auch nur annähernd die Fähigkeiten des Thyristors. Eine geradezu dramatische Ausdrucksform dessen, was mit Elektronik alles bewältigt werden kann, ist die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ). Im Prinzip besteht eine solche Anlage einfach aus einem Gleichrichter und einem Wechselrichter. In Wirklichkeit aber handelt es sich um höchst komplizierte Gebilde (siehe Fig. 3): Ein solcher «Tank» enthält über 1000 Thyristoren, und zusammen mit den Steuerungs- und Überwachungsorganen befinden sich in jedem dieser ölfüllten Behälter etwa 15 000 elektronische Komponenten. Dieses Bild entspricht freilich nicht der Vorstellung, die man sich normalerweise von einem elektronischen Gerät macht!

Aufgrund dieser und anderer Anwendungen ist wohl die Voraussage nicht abwegig, dass bis im Jahr 2000 jede erzeugte Kilowattstunde durch einen Halbleiter fliessen wird!

7. Grenzen der Elektronik

Was bedeutet das alles nun im Hinblick auf die Grenzen des Wachstums in der Elektronik? Die vielbesprochenen Grenzen des Wachstums, die so viel öffentliche Aufmerksamkeit auf sich ziehen, sind begründet

- in einer Erschöpfung der Naturvorräte,
- in der Notwendigkeit, unsere Umwelt lebenswert zu erhalten und
- in den Schranken, die die Naturgesetze dem technischen Fortschritt entgegenstellen.

In der Elektronik ist der heutige Stand der Technik noch weit entfernt von diesen Grenzen, und die Türen zur Neuerung stehen weit offen. Kein Umweltbesorger und keine Bürgerinitiativen setzen sich gegen Taschenrechner oder elektronische Armbanduhren zur Wehr. Glückliche Welt! Die Grenzen des Wachstums in Elektronik und Nachrichtentechnik sind durch die *Fähigkeit der Benutzer, komplizierte Systeme nutzbringend einzusetzen*, gegeben. Weitere Schranken liegen in der Schwierigkeit und im enormen Aufwand, eine Software zu erzeugen, die es erlaubt, die komplizierte Hardware wirklich voll auszunützen, ferner in der Aufgabe, Hardware und Software während der ganzen Lebensdauer der Anlage zu unterhalten und instandzustellen. Elektronik, Nachrichtentechnik und Computerwissenschaften sind also in der beneidenswerten Lage, dass sich die Grenzen des Wachstums, mit denen sie sich auseinanderzusetzen haben, *innerhalb ihrer eigenen Gemeinschaft befinden*.

Adresse des Autors

Prof. Dr. A. P. Speiser, Forschungsdirektor der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.