

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 67 (1989)

**Heft:** 2

**Rubrik:** Verschiedenes = Divers = Notizie varie

### **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:** 10.01.2026

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

## Technisches Presse-Colloquium '88

Daniel SERGY, Bern

In einem ersten Beitrag, der in der letzten Nummer der «Technischen Mitteilungen PTT» erschienen ist, wurde schon über einige Vorträge des TPC '88 berichtet. Mit diesem Artikel sollen die Leser noch über die restlichen Referate informiert werden.

Unter dem Titel

### GaAs-HEMTs für rauscharme GHz-Kommunikationstechnik

referierte *Heinrich Dämkes*, Leiter der Abteilung Höchstfrequenzbauelemente, im Forschungsinstitut Ulm.

Die Mikrowellentechnik hat in vielen Bereichen des täglichen Lebens Einzug gehalten. Telefon- und Bildsignale werden über Richtfunkstrecken übertragen, Millionen von Fernseh- und Rundfunkteilnehmern empfangen ihr Programm bereits direkt von Satelliten. Ein sicherer Luftverkehr wäre ohne Radartechnik und Mikrowellenkommunikation unvorstellbar. In der Industriegesellschaft ist Höchstfrequenztechnik zum Bestandteil des Alltags geworden.

Zwei Probleme entstehen beim Einsatz von GHz-Kommunikationseinrichtungen: Die natürliche Dämpfung der Atmosphäre und die zunehmende Überflutung mit elektromagnetischen Strahlen. Beide Effekte führen zur Forderung, empfindlichere Systeme zu verwenden und mit möglichst geringen Sendeleistungen auszukommen. Für eine Empfängerschaltung bedeutet dies, dass man Verstärker einsetzen muss mit möglichst niedrigem Rauschen und möglichst hoher Verstärkung (Fig. 1). Die Verminderung des Empfängerrauschens gestattet das Signal/Rauschverhältnis zu verbessern und die Empfindlichkeit des Systems zu steigern.

#### Rauschen durch Geschwindigkeitsänderung

Die Verstärkung schneller Signale in aktiven Bauelementen ist vom Ladungsträgerstrom abhängig. Es sollen möglichst viele Ladungsträger mit möglichst hoher Geschwindigkeit das Bauelement durchlaufen und nur durch das Eingangssignal moduliert werden (Fig. 2). Die wesentliche Ursache des Hochfrequenzrauschens in Mikrowellentransistoren ist die Geschwindigkeitsänderung der Elektronen im Kanal, von der Wechselwirkung der Ladungsträger mit den Atomen des Kri-

stallgitters hervorgerufen. Die freien Elektronen im leitenden Kanal eines Feldefekttransistors stammen normalerweise

von Dotierstoffatomen, die bei der Bauelementherstellung gezielt in den Wirtkristall eingebaut werden (Dotierung). Durch die Abgabe eines Elektrons bleibt das Dotierstoffatom als positiv geladenes Ion auf seinem Gitterplatz. Beim Stromtransport werden die freien Elektronen durch das äussere Feld gerichtet und be-

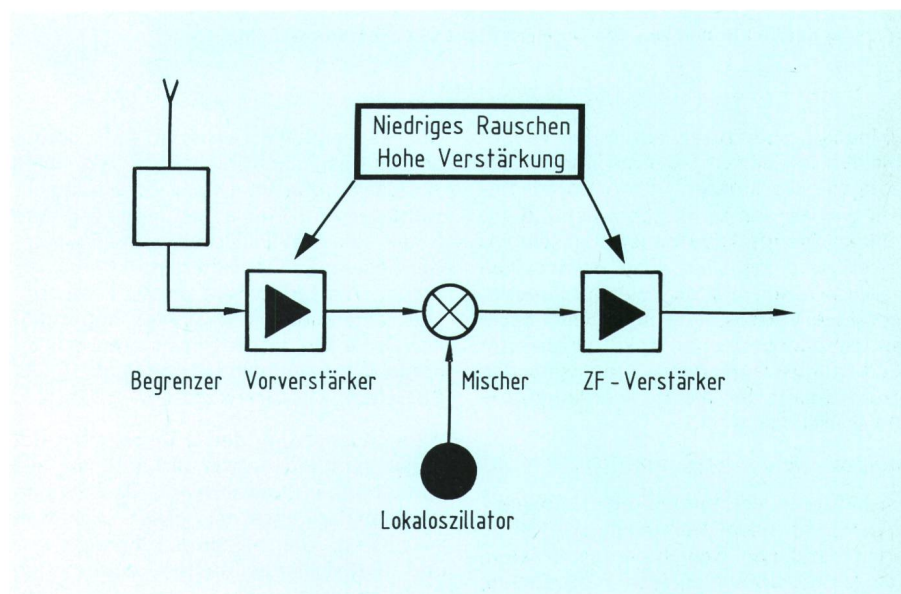


Fig. 1  
Empfängerschaltung

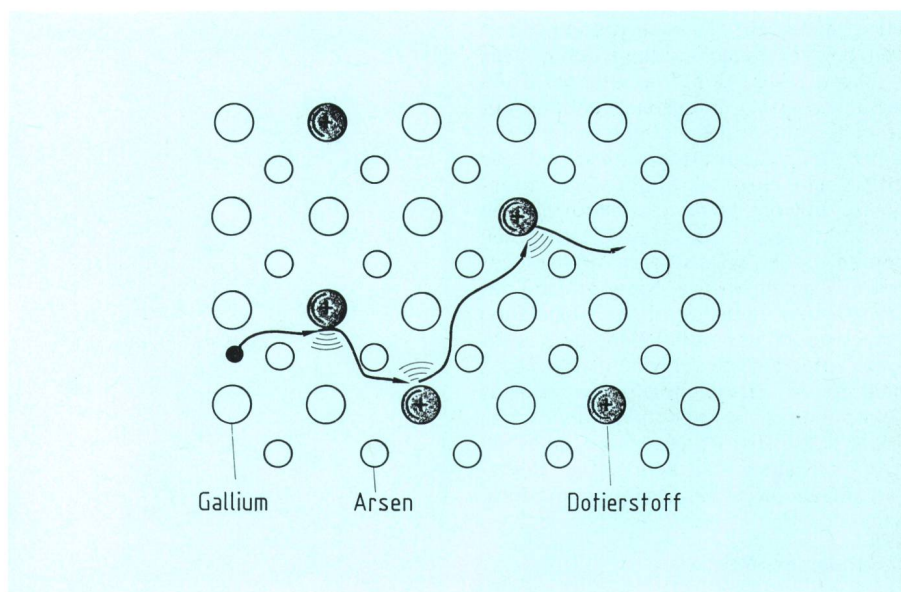


Fig. 2  
Stromfluss durch homogen dotiertes GaAs

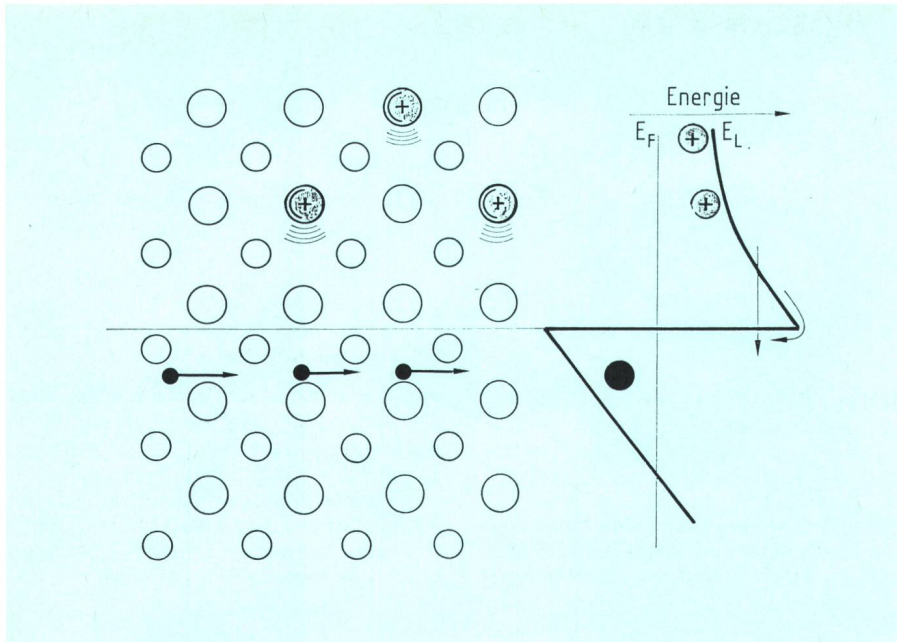


Fig. 3  
Trennung der Elektronen von den Dotierstoffionen in der Heterostruktur

schleunigt, aber zusätzlich immer wieder von den ionisierten Donatorrümpfen angezogen. Sie stoßen mit ihnen zusammen und werden somit gebremst und abgelenkt. Die effektive Vorwärtsgeschwindigkeit wird reduziert, und dem reinen Signal wird ein breites Rauschen überlagert. Eine Verringerung der Anzahl Störzentren bedeutet aber eine Reduzierung der Ladungsträgerkonzentration und des Stromes, was für die Bauelementefunktion unerwünscht ist.

#### Heterostrukturen bieten Vorteile

Ein besseres Verständnis der Halbleiterphysik und neue Herstellungsverfahren monokristalliner Schichten gestatteten, Heterostrukturbauelemente herzustellen, die völlig neue Möglichkeiten bieten.

Bei der Kombination eines Materials mit grossem Energiebandabstand (AlGaAs) mit einem solchen mit geringerem Energiebandabstand (GaAs) bildet sich an der Grenzfläche ein Energiesprung. Sorgt man bei der Schichtbildung dafür, dass n-dotiertes AlGaAs auf undotiertes GaAs gewachsen wird, bildet sich entlang der Grenzfläche eine sehr dünne Elektronenschicht (Fig. 3). In diesem Elektronengas erhält man eine sehr hohe Elektronendichte, obwohl keine Dotierstoffrümpfe vorhanden sind: Die freien Elektronen werden von ihren Donatoren räumlich getrennt. Sie können sich daher entlang der Grenzfläche nahezu ohne Kollisionen fortbewegen und erreichen eine sehr hohe effektive Geschwindigkeit. Nutzt man diesen Effekt, indem man dieses Elektronengas als leitenden Kanal eines Feldeffekttransistors verwendet, so erhält man Transistoren mit sehr hohen Grenzfrequenzen und sehr niedrigem Rauschen.

#### Molekularstrahlepitaxie

Die zur Verwirklichung der Heterotransistoren nötige Herstellung von dünnsten Schichtenfolgen mit atomar scharfen

Übergängen stellt extreme Anforderungen an das Kristallwachstum. Seit vielen Jahren werden im Ulmer Forschungsinstitut der AEG Pionierleistungen auf dem Gebiet des Wachstums von Silizium-Germanium-(SiGe)-Heterostrukturen erbracht. Als Ergebnisse dieser Forschungen entstanden mm-Wellen-Impattdioden, Heterofeldeffekttransistoren aus Silizium-Germaniumstrukturen und SiGe/Si-Heterobipolartransistoren.

Unter Ausnutzung der Möglichkeiten der Molekularstrahlepitaxie bot sich an, die vorteilhaften Eigenschaften des zweidimensionalen Elektronengases mehrfach zu nutzen. Die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden an Bauelementen mit etwa ein  $\mu\text{m}$  Gatelänge durchgeführt, die mit Hilfe optischer Lithografie strukturiert wurden. Mit diesen Transistoren werden im Ulmer

Forschungsinstitut der AEG Grenzfrequenzen von 50 GHz bis 60 GHz erreicht.

Neben besseren Rauscheigenschaften und hohen Grenzfrequenzen zeigt der Hetero-FET einen für Schaltungsanwendungen wichtigen Vorteil: Das minimale Rauschen hängt nicht sehr stark vom Arbeitspunkt ab und die optimale Rauschanpassung liegt nahe am Arbeitspunkt für maximale Verstärkung. Dieses Verhalten ergibt eine hohe Flexibilität bei der Auslegung von Verstärkern.

Zur Integration dieser Transistoren in das laufende Programm der M<sup>3</sup>ICs wurden die technologischen Prozesse so entwickelt, dass eine Einbindung nahtlos geschehen kann. Durch die Kombination der Heteroschichtenfolge mit bereits entwickelten Technologien entsteht eine völlig planare Schaltung mit Hetero-FETs (Fig. 4). Wie im M<sup>3</sup>IC-Prozess geschieht auch hier die Isolation der aktiven Bauelemente durch Implantation von Bor in die Epitaxieschicht. Identisch ist die Herstellung der passiven Elemente. Wichtige Voraussetzung für die Auslegung von Hetero-ICs war, dass die spezifischen Eigenschaften der Hetero-FETs durch die technologischen Herstellungsprozesse nicht nachteilig beeinflusst wurden, was auch möglich war.

Somit steht eine flexible Technologie für künftige rauscharme Komponenten im GHz-Bereich zur Verfügung. Erste Schaltkreise werden gezielt die Vorteile der neuen Bauelemente in rauscharmen Vorverstärkern zum Einsatz im X-Band (10 GHz bis 12 GHz) ausnutzen.

#### CASE: Vom Software-Handwerk zur Software-Technik

war das Referat von Jürgen Schmitz, Leiter der Marketing-Unterstützung GEI in Aachen.

In seinen Ausführungen hob er hervor, dass die Software-Produktion in der Vergangenheit von Verhältnissen geprägt war, die denen in der Zeit vor der industriellen Revolution des 19. Jahrhunderts

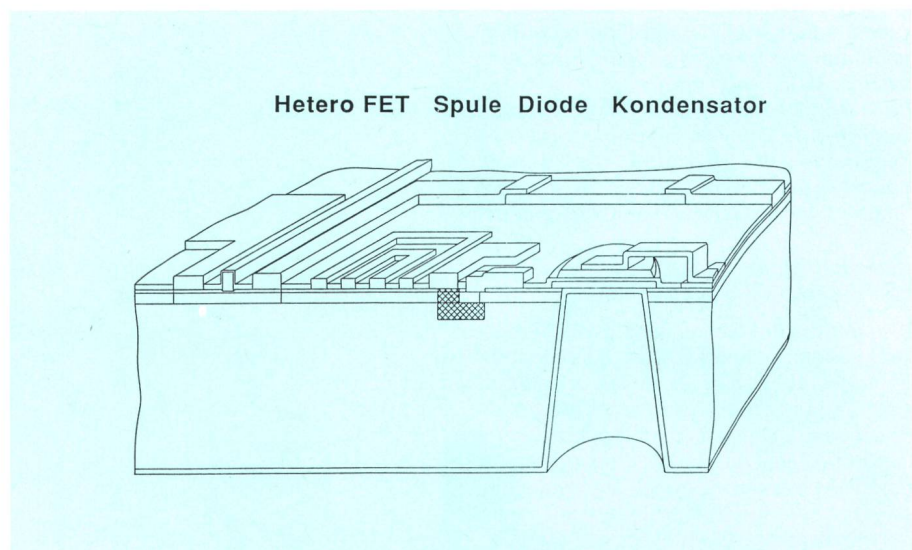


Fig. 4  
Schematischer Aufbau eines M<sup>3</sup> ICs mit Hetero-FET, Diode und passiven Elementen

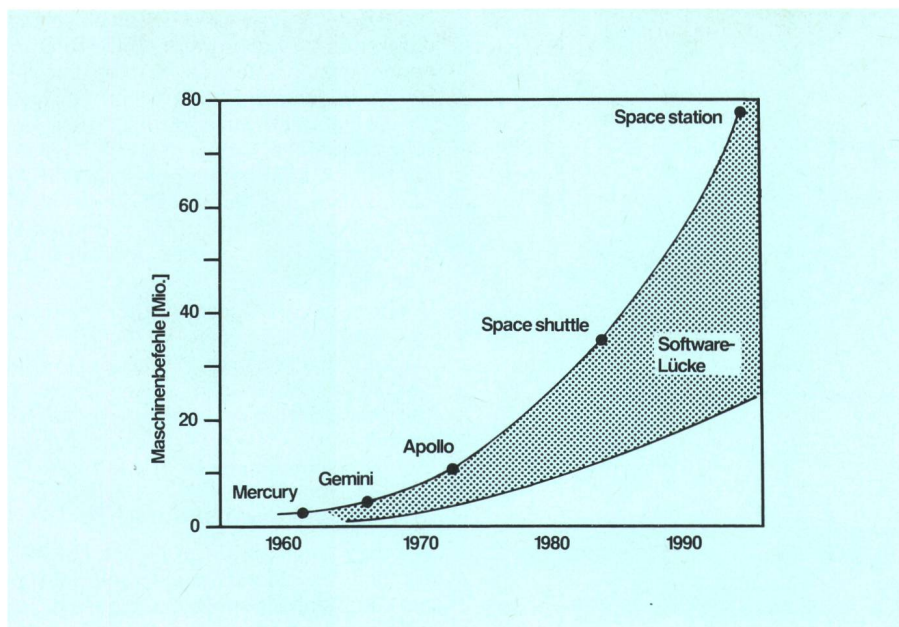


Fig. 5  
Software-Kapazität und -Bedarf

glich. Bestenfalls wurden Ergebnisse vorgelegt, die nach den Produktionsverhältnissen einer Manufaktur entstanden. «Handarbeit» mit den ihr anhaftenden Nachteilen war damals die Norm. Die Produktivität war mangels geeigneter Hilfsmittel gering, die Qualität der Ergebnisse unbeständig. Ebenso war die Planarbeit der anstehenden Aufgaben kaum möglich, da Mittel zur Termin- und Kostenüberwachung nur in beschränktem Umfang und in ungenügender Qualität zur Verfügung standen. Software-Entwicklung im Stil der Manufaktur bedeutete fehlende Systematik, mangelnde Struktur und kaum Vergleichbarkeit. Dokumentation existierte vielfach in den Köpfen der mehr intuitiv schaffenden Entwickler.

#### Folgen traditioneller Software-Entwicklung

Solche und andere Missstände mussten zwangsweise zu einer Krise in der Software-Entwicklung führen, die zudem dadurch begründet war, dass neben mangelnder Qualität der Bedarf nach neuer Software zunehmend stieg. Zur Verschärfung der Lage trägt noch die Tatsache bei, dass dieser Bedarf schneller steigt als die Produktionskapazität (Fig. 5). Im Gegensatz zur industriellen Revolution ist es im Software-Produktionsbereich nicht möglich, eine deutliche Steigerung bis zur Potenzierung der zu erstellenden Ware durch bloße Erweiterung des «Maschinenparks» zu erreichen. Die Ursache der stagnierenden Produktivität liegt auch in der ständig zunehmenden Komplexität der Software-Systeme. Dies bedingt die Aufteilung von Globalaufgaben in mehrere in sich geschlossene und überschaubare Einheiten, die wiederum als Ganzes nahtlos zusammenpassen. Die Arbeit in mehreren Teams ist also angezeigt, um der Komplexität Herr zu werden. Dabei treten aber einige neue Fragen auf:

- Wie ist die Arbeit mehrerer Gruppen untereinander zu koordinieren, damit

die erstellten Entwicklungsbausteine quasi als Fertigteile zusammenpassen?

- Wie behält das Management Überblick und Einfluss auf Projekte, die nicht als unkritisches Ein-Mann-Projekt zu führen sind, sondern Planung, Durchführung und Kontrolle in sehr differenzierter Weise verlangen?
- Welche sind die einzuhaltenden bzw. zu erzielenden Normen, die eine uniforme und somit effektive Kommunikation ermöglichen?

Die Kosten für Fehlerkorrekturen oder -beseitigung können bei Software-Projekten den Rahmen einer Kalkulation sprengen. Je früher sich ein Fehler in das Projekt einschleicht und je länger er unentdeckt bleibt, desto stärker hat er sich verzweigt und sich in zahlreiche Projektkom-

ponenten eingeschlichen. Zur Beseitigung solcher Fehler müssen dann grosse Programmenteile überprüft und möglicherweise geändert werden. Teilweise erfordern diese Änderungen weitere Nachbesserungen. Die Kosten werden um so höher, und dem Projektleiter, der in einer späten Phase feststellt, dass die Systemanalyse falsch ist, geht es wie dem Bauleiter, der während des Innenausbaus einen Fehler im Fundament entdeckt. Die Entscheidungsfreiheit des Projektmanagers schwindet also mit zunehmendem Projektfortschritt (Fig. 6).

#### Die Lösung heisst CASE

Hinter diesem Kürzel verbirgt sich die englische Bezeichnung der computerunterstützten Software-Entwicklung (Computer Aided Software Engineering), eine Methode, die es erlaubt, den Entwickler von Routinetätigkeiten zu entlasten. Editieren, überprüfen, verwalten und dokumentieren von Software-Bauelementen werden durch den Computer schneller und zuverlässiger erledigt. Somit können manchen kostspieligen Pannen vorgebeugt werden, sowohl bei der Programmierung als auch bei der Wartung und Weiterentwicklung der Software. CASE ist kein Instrument nur für die Fehlersuche, sondern eine Entwicklungsumgebung, die gewisse Fehler von vornherein ausschaltet. Qualitätssicherung findet also bereits bei der Entwicklungsarbeit statt und die angewendeten Methoden tragen dazu bei, die Kosten zu senken (Fig. 7).

Der Leiter der Abteilung Technik im Fachgebiet Netzanlagen, Frankfurt, Herr Jürgen Kuntermann, sprach über die

#### Netzbetriebsführung durch integrierte Leittechnik in Schaltanlagen ILS

Mit der Einführung moderner leittechnischer Systeme ergeben sich für die Netzbetriebsführung verbesserte Möglichkei-

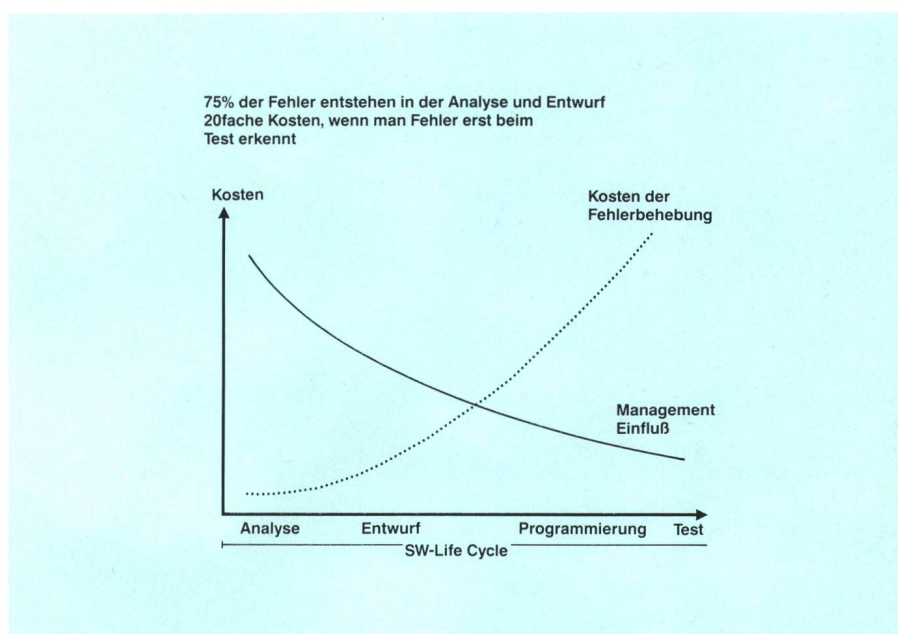


Fig. 6  
Fehlerkosten – Zeitpunkt der Fehlererkennung

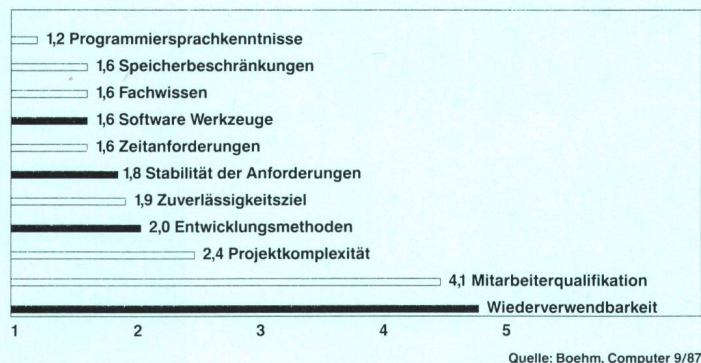


Fig. 7  
Kostensenkungsfaktor in der Software-Entwicklung

ten und neue Aspekte. Man steht erst am Anfang einer neuen Entwicklung, aber es lässt sich heute schon erkennen, dass sich aus diesen Ansätzen erhebliche Vorteile ergeben. Nicht zuletzt wird in den kommenden Jahren der Fortschritt in der Automatisierungstechnik und in der digitalen Kommunikationstechnik die in der elektrischen Energietechnik eingesetzten Produkte, Systeme und Verfahren massgeblich beeinflussen. Voraussetzung für ein wirtschaftliches Arbeiten sind disziplinübergreifende Systemlösungen, wie sie vom ILS geboten werden.

### AEG in Kassel

Das TPC '88 fand in Kassel statt.

Mit rund 2400 Beschäftigten ist die AEG drittgrösster Arbeitgeber in Kassel. Umgekehrt rangiert Kassel als AEG-Standort bei 87 000 Mitarbeitern im Konzern Welt und 70 000 im Konzern Inland an 7. Stelle. Der Gesamtumsatz der Firma in Kassel betrug 1987 über 500 Mio. DM. Überdurchschnittlich stark wurde in den letzten Jahren in Kassel investiert: Über 120 Mio. DM an Sachanlageinvestitionen sind seit 1985 in die Betriebsstätten geflossen.

Die Produkte aus Kassel geben einen Eindruck von der Spannweite der Geschäftsfelder des Konzerns: Im Fachbereich Hochspannungstechnik werden Anlagen für die Energietechnik, im Werk des Geschäftsbereichs Hausgeräte werden Kühl- und Gefriergeräte gefertigt, und die AEG Isolier- und Kunststoff GmbH (AIK) stellt Basismaterialien für gedruckte Schaltungen für die elektronische Industrie her.

Hochspannungs-Schaltanlagen werden zu über 75 % exportiert, im wesentlichen nach Europa, Fernost, Südamerika oder Nordafrika. Aber auch ein wesentlicher Teil aller anderen in Kassel hergestellten Produkte wird exportiert, sowohl nach Europa als auch nach Übersee.

### Erfolgreiche Veranstaltung

Wie dies Tradition geworden ist, hat AEG mit dem TPC '88 zahlreichen Journalisten aus der Bundesrepublik Deutschland und aus dem Ausland wieder eine Fülle an interessanten Informationen geboten. Auch war die Organisation wie immer tadellos, und Frau E. M. Demuth, Direktorin der Stelle für Öffentlichkeitsarbeit sowie alle ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die zum Erfolg der Veranstaltung – auch hinter den Kulissen – beigetragen haben, verdienen die Anerkennung der Teilnehmer. Bei dieser Gelegenheit schätzten die Journalisten, alte Bekannte wieder zu treffen oder neue Verbindungen zu knüpfen. Dies trägt sicher nicht nur zur besseren Erfassung technischer Probleme, aber auch zum besseren Verständnis zwischen Menschen aus verschiedenen Ländern bei.